Geologian tutkimuskeskus

2026

Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena

Summary: Siikalatva graphite, a raw material for the green transition

Juha Stenberg, Tiina Ruotsalainen, Jukka Konnunaho, Seppo Leinonen, Tero Korhonen, Anne Tuomela, Anssi Rauhala, Markku Seitsaari, Tomi Luoto, Ilkka Lahti, Thair Al-Ani, Atte Halmesaari, Pasi Heikkilä, Katariina Issukka, Teemu Karlsson, Maria Korpela, Sari Lukkari, Marke Oinonen, Heikki Pirinen, Mari Pölönen ja Kirsi Sallinen

GTK:n tutkimustyöraportti 54/2026



Euroopan unionin osarahoittama

Siikalatva Suomen keskipisteessä

POHJOIS-POHJANMAA COUNCIL OF OULU REGION

OULUN YLIOPISTO

GTK

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

Tutkimustyöraportti 54/2026

Juha Stenberg, Tiina Ruotsalainen, Jukka Konnunaho, Seppo Leinonen, Tero Korhonen, Anne Tuomela, Anssi Rauhala, Markku Seitsaari, Tomi Luoto, Ilkka Lahti, Thair Al-Ani, Atte Halmesaari, Pasi Heikkilä, Katariina Issukka, Teemu Karlsson, Maria Korpela, Sari Lukkari, Marke Oinonen, Heikki Pirinen, Mari Pölönen ja Kirsi Sallinen

Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena

Summary: Siikalatva graphite, a raw material for the green transition

Ne kuvat, joissa ei mainita tekijää, ovat raportin kirjoittajien tekemiä.

Kansikuva: Kuvassa kairasydännäyte Siikalatvan grafiitista.
Kuva: Seppo Leinonen, GTK.

Taitto: PunaMusta Oy

Espoo 2026

Stenberg, J., Ruotsalainen, T., Konnunaho, J., Leinonen, S., Korhonen, T., Tuomela, A., Rauhala, A., Seitsaari, M., Luoto, T., Lahti, I., Al-Ani, T., Halmesaari, A., Heikkilä, P., Issukka, K., Karlsson, T., Korpela, M., Lukkari, S., Oinonen, M., Pirinen, H., Pölönen, M. & Sallinen, K. 2026. Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena. Summary: Siikalatva graphite, a raw material for the green transition. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 54/2026*, 124 sivua, 80 kuvaa, 32 taulukkoa ja 8 liitettä.

Vuosien 2024–2026 aikana Siikalatvalla toteutettiin Euroopan unionin oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (JTF) osarahoittama *Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena* -ryhmähanke. Päätoteuttajana oli Siikalatvan kunta ja osatoteuttajina Geologian tutkimuskeskus (GTK) ja Oulun yliopisto. Hankkeen tavoitteena oli selvittää Siikalatvan alueella grafiitin mineraalipotentiaalia ja tutkia alueella esiintyvän grafiitin rikastettavuutta, soveltuvuutta akkuihin ja muihin tuotteisiin, kaivannaisjätteiden ympäristövaikutuksia ja hyötykäyttöä sekä mahdollisen kaivoksen ympäristö- ja aluetaloudellisia vaikutuksia. Lisäksi tavoitteena oli kartoittaa paikallisen elinkeinoelämän mahdollisuuksia vastata mahdollisen kaivostoiminnan tarpeisiin ja selvittää grafiittituotannon nykytilaa Pohjoismaissa ja globaalisti. Tavoitteena oli myös koostaa tutkimustulokset loppuraportiksi tukemaan päätöksentekoa, mahdollista grafiitin hyödyntämistä ja vastaamaan grafiitin tuotantoon liittyviin kysymyksiin.

Grafiitti on luokiteltu Euroopan unionissa sekä kriittiseksi että strategiseksi raaka-aineeksi. Se on katsottu myös NATOn toimesta keskeiseksi puolustusteknologioiden raaka-aineeksi. Teollisuuden käyttämä grafiitti on luonnongrafiittia tai synteettistä grafiittia. Sen perinteisiä käyttökohteita ovat tulenkestävät materiaalit, teräksen valmistus, valimoteollisuus sekä voitelu- ja kitkamateriaalit. Luonnongrafiitin kysynnän kasvun ajurina on useita vuosia ollut Li-ioniakkujen lisääntynyt kysyntä, sillä grafiittia käytetään merkittäviä määriä sähköajoneuvojen akkujen anodimateriaalina. Luonnongrafiitin tuotanto ja anodigrafiitin jalostus ovat keskittyneet pääasiassa Kiinaan, ja tuontiriippuvaisuuden vuoksi tuotantoa ja jalostusta pyritään lisäämään länsimaissa. Synteettisellä grafiitilla voidaan korvata luonnongrafiittia osassa käyttökohteista, mutta sen tuotannon energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat luonnongrafiitin tuotantoa suuremmat. Myös grafiitin kierrätyksen kehitys on kiihtymässä, mutta materiaalin epäpuhtaudet ja prosessoinnin vaatimukset rajoittavat kierrätettävän grafiitin käyttöä uusien anodien valmistuksessa.

Mahdollinen grafiitin hyödyntäminen Siikalatvalla toisi merkittäviä talousvaikutuksia. Kaivoshankkeet Suomessa tuovat useille kunnille työpaikkoja ja merkittäviä verotuloja. Kaivoksen rakentamisvaihe vaatisi tilapäisesti paljon työvoimaa ja voisi siten tuoda liiketoimintamahdollisuuksia mm. vähittäiskaupan, majoitus- ja ravintolapalvelujen sekä maanrakennus- ja kuljetusalan yrityksille. Haasteena olisi siirtymävaihe rakentamisesta tuotantovaiheeseen, jolloin palvelutarve ja työvoiman kysyntä vähenevät, mikä on tärkeää ottaa huomioon investoinneissa. Tuotantovaihe toisi helpommin ennakoitavia ja pitkäkestoisempia paikallisvaikutuksia. Paikallisvaikutuksiin vaikuttavat suuresti työntekijöiden asuinpaikkakunta sekä kaivoksen hankintojen paikallinen osuus. Kunnan tehtävät kaivoshankkeissa liittyvät kaavoitukseen, vaikutusarviointeihin, lupamenettelyistä tiedottamiseen sekä asumisen ja infrastruktuurin suunnitteluun.

Kaivostoiminnasta voi aiheutua maiseman muuttumisen lisäksi muun muassa melua, pölyn leviämistä ja tärinää sekä mahdollisia suotovesiä. Lisäksi se vaikuttaa yhteisöihin, ja usein esimerkiksi työpaikkojen muodostuminen koetaan myönteisesti ja muutokset ympäristössä kielteisesti.

Siikalatvan alueella esiintyy runsaasti grafiittipotentiaalisia paragenissivyöhykkeitä. Nämä tulevat esiin esimerkiksi laajoina sähkömagneettisina anomalia vyöhykkeinä. Grafiitin lisäksi paragneisseissä esiintyy sulfidimineraaleja ja silikaattimineraaleja kuten plagioklaasia, kvartsia ja biotiittia. Grafiittisuomut ovat pituudeltaan keskimäärin 200–300 µm ja suurimmat yli 1000 µm. GTK:n Vihanti-Pyhäsalmi-tutkimusprojektin ja tämän hankkeen tuloksia tarkastelemalla voidaan arvioida, että Siikalatvan alue omaa huomattavaa grafiittipotentiaalia teollista hyödyntämistä ajatellen.

Grafiittiesiintymän taloudelliseen hyödynnettävyyteen vaikuttavat esiintymän koon ja grafiittipitoisuuden lisäksi suomukoko, puhtaus, kiteisyys ja rikastettavuus. Hienosuomuisen grafiittirikasteen markkinahinta on ollut suhteellisen alhainen, kun taas karkeammista suomujakeista ja pidemmälle jalostetuista tuotteista hinta on korkeampi. Akkujen anodimateriaaliksi tarkoitettu luonnongrafiitti on rikastamisen jälkeen puhdistettava, mikronisoitava, pallotettava ja pinnoitettava. Anodimateriaalina lopputuotteen arvo on huomattavasti kaivoksella tuotettavaa rikastetta suurempi.

Alustavissa rikastuskokeissa selvitettiin Siikalatvan grafiitin rikastamiseen soveltuvat prosessiolosuhteet ja rikasteiden hiilipitoisuudet ja saannit. Rikastetta käytettiin jatkotutkimuksiin (anodimateriaalin valmistus) ja rikastushiekkaa ympäristöominaisuuksien karakterisointiin. Tuotetun grafiittirikasteen hiilipitoisuus oli noin 90–95 % ja saanti 90 %.

Rikasteesta valmistettiin anodigrafiittia, jolle tehtiin akkutestit Oulun yliopiston Kokkolan kampuksen akkutestauslaboratoriossa. Akkutesteissä kaikki näytteet olivat varauskapasiteetiltaan kaupallista referenssiä parempia.

Rikastushiekan rikkipitoisuutta saatiin laskettua 3–5 %:sta 0,2–0,3 %:iin grafiitin vaahdotuksen jätteen magneettierotuksella ja sulfidivaahdotuksella. Siikalatvan rikastushiekkanäytteitä ei voida pitää kaivannaisjäteasetuksen tarkoittamana pysyvänä kiviaineksena, sillä näytteiden rikkipitoisuus ylitti 0,1 %, ja NP/AP-luku oli alle 3. Mineralogisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella näytteet ovat todennäköisesti happoa tuottavia. Lisäksi kaikilla näytteillä PIMA-asetuksen kynnysarvo ylittyi jonkin haitta-aineen osalta.

Teollisuuden grafiittipitoisten sivuvirtojen hyödynnettävyyttä tutkittiin seuraavien materiaalien osalta: terästeollisuuden tulenkestävät MgO-C-tiilet, bioliuotettu sulfidimalmi (mustaliuske), masuunipöly ja masuuniliete sekä rikinpoistokuona. LECO-mittauksen mukaan grafiittista hiiltä oli MgO-C-tiilissä 12,50–13,50 p-%, masuunipölyssä 40,00 p-%, masuunilietteessä 18,30 p-%, rikinpoistokuonassa 0,20 p-% ja mustaliuskemalmissa 5,73 p-%.

Tutkimustulosten perusteella voidaan osoittaa, että Siikalatvan alueella on merkittävää potentiaalia akkulaatuisen grafiitin tuotannolle ja kunnan alueelta on löydettävissä vielä uusia grafiittiesiintymiä tunnettujen lisäksi

Asiasanat: grafiitti, malminetsintä, mineraalit, potentiaali, elinkeinoelämä, palvelut, aluetalous, Siikalatva, Pohjois-Pohjanmaa, Suomi

Juha Stenberg / Tiina Ruotsalainen
Siikalatvan kunta
Pulkkilantie 4
92600 Pulkkila

Sähköposti: juha.stenberg@icloud.com
Sähköposti: tiina.ruotsalainen@siikalatva.fi

Jukka Konnunaho
Geologian tutkimuskeskus
PL 77
96101 Rovaniemi

Sähköposti: jukka.konnunaho@gtk.fi

Anne Tuomela
Oulun Yliopisto /
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
PL 4300
90014 Oulu

Sähköposti: anne.tuomela@oulu.fi

Markku Seitsaari
Oulun Yliopisto / OMS-Tutkimuskeskus
PL 4300
90014 Oulu

Sähköposti: markku.seitsaari@oulu.fi

Euroopan unionin osarahoittama
Siikalatva Suomen keskipisteessä
POHJOIS-POHJANMAA COUNCIL OF OULU REGION
OULUN YLIOPISTO

Stenberg, J., Ruotsalainen, T., Konnunaho, J., Leinonen, S., Korhonen, T., Tuomela, A., Rauhala, A., Seitsaari, M., Luoto, T., Lahti, I., Al-Ani, T., Halmesaari, A., Heikkilä, P., Issukka, K., Karlsson, T., Korpela, M., Lukkari, S., Oinonen, M., Pirinen, H., Pölönen, M. & Sallinen, K. 2026. Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena. Summary: Siikalatva graphite, a raw material for the green transition. *Geological Survey of Finland, Open File Research Report 54/2026*, 124 pages, 80 figures, 32 tables and 8 appendices.

The joint project *Siikalatva graphite, a raw material for the green transition* was implemented in Siikalatva between 2024 and 2026 with co-funding from the European Union's Just Transition Fund (JTF). The Municipality of Siikalatva acted as the lead implementer, with the Geological Survey of Finland (GTK) and the University of Oulu as project partners. The project aimed to assess the graphite mineral potential of the Siikalatva area and to investigate the beneficiation characteristics of the graphite occurring in the area, its suitability for battery applications and other products, the environmental impacts and potential utilisation of extractive waste, and the environmental and regional economic impacts of a potential mine. Further objectives were to assess the capacity of local businesses to meet the needs of potential mining operations and to review the current state of graphite production in the Nordic countries and globally. The project also aimed to compile the research findings into a final report to support decision-making and the potential utilisation of graphite, and to address questions relating to graphite production.

Graphite is classified by the European Union as both a critical and a strategic raw material. Graphite used in industrial applications is either natural or synthetic. It has also been recognised by NATO as a strategically important raw material for defence technologies. Its established applications include refractory materials, steelmaking, foundry products, lubricants and friction materials. For several years, growth in demand for natural graphite has been driven by the increasing demand for lithium-ion batteries, as substantial quantities of graphite are used as anode material in electric vehicle batteries. The production of natural graphite and the processing of anode-grade graphite are mainly concentrated in China. Owing to dependence on imports, efforts are being made to expand production and processing capacity in Western countries. Synthetic graphite can replace natural graphite in certain applications, but its production consumes more energy and generates higher carbon dioxide emissions than the production of natural graphite. Graphite recycling is also developing at an accelerating rate, although impurities in the recovered material and the associated processing requirements restrict the use of recycled graphite in the manufacture of new anodes.

Regarding the situation if graphite is utilized in Siikalatva it could have significant economic effects. Mining projects in Finland generate jobs and substantial tax revenues for several municipalities. The construction phase of a mine would temporarily require a large workforce and could therefore create business opportunities for enterprises in the retail, accommodation, food service, earthworks and transport sectors. The transition from construction to production would present a challenge, as demand for services and labour would decrease. This would need to be considered when making investment decisions. The production phase would generate more predictable and longer-lasting local effects. The extent of these effects would largely depend on the municipalities in which the employees reside and on the proportion of the mine's procurement sourced locally. Municipal responsibilities in mining projects include land-use planning, impact assessments, communication concerning permit procedures, and the planning of housing and infrastructure.

In addition to altering the landscape, mining may cause noise, dust dispersion, vibration and potentially seepage. Mining also affects local communities. The creation of employment, for example, is often perceived positively, whereas changes in the environment may be perceived negatively.

The Siikalatva area contains numerous graphite-bearing paragneiss zones with graphite potential, characterised by extensive electromagnetic anomalies. In addition to graphite, the paragneiss's contains sulphide minerals and silicate minerals such as plagioclase, quartz and biotite. The graphite flakes have an average length of 200–300 µm, while the largest exceeded 1,000 µm. Based on the results of GTK's Vihanti–Pyhäsalmi research project and the present project, it is estimated that the Siikalatva area has significant potential for the industrial utilisation of its graphite resources.

The economic viability of a graphite deposit depends not only on its size and graphite grade but also on the graphite flake size, purity, crystallinity and beneficiation characteristics. The market price of fine-flake graphite concentrate has been relatively low, whereas

coarser flake fractions and more highly processed products command higher prices. Following beneficiation, natural graphite intended for use as anode material in batteries must be purified, micronized, spheroidised and coated. The value of graphite processed into anode material is substantially higher than that of the concentrate produced at the mine.

Preliminary beneficiation tests were conducted to determine suitable process conditions for the beneficiation of Siikalatva graphite and to assess the carbon grades and recoveries of the resulting concentrates. The concentrate was used in further studies, including the production of anode material, while the environmental properties of the tailings were characterised. The graphite concentrate produced had a carbon grade of approximately 90–95% and a graphite recovery of 90%.

The concentrate was processed into anode graphite and subjected to battery testing at the battery testing laboratory of the University of Oulu's Kokkola campus. In the battery tests, all samples achieved higher charge capacities than the commercial reference material.

The sulphur content of the tailings was reduced from 3–5% to 0.2–0.3% by subjecting the material remaining after graphite flotation to magnetic separation and sulphide flotation. The Siikalatva tailings samples cannot be classified as inert waste under the Finnish Government Decree on Extractive Waste, as the sulphur content of the samples exceeded 0.1% and their neutralisation potential to acid potential ratio (NP/AP) was below 3. Based on their mineralogical and chemical properties, the samples are likely to be acid-generating. In addition, the concentration of at least one harmful substance in each sample exceeded the threshold value specified in the Finnish Government Decree on the Assessment of Soil Contamination and Remediation Needs.

The project also investigated the potential utilisation of graphite-bearing industrial side streams. The materials examined comprised spent MgO-C refractory bricks from the steel industry, bioleached sulphide ore (black schist), blast-furnace dust and sludge, and desulphurisation slag. According to LECO analysis, the graphitic carbon content was 12.50–13.50 wt% in the MgO-C bricks, 40.00 wt% in the blast-furnace dust, 18.30 wt% in the blast-furnace sludge, 0.20 wt% in the desulphurisation slag and 5.73 wt% in the black schist ore.

The research findings demonstrate that the Siikalatva area has significant potential to produce battery-grade graphite. The area remains prospective for the discovery of new graphite deposits in addition to the currently known occurrences.

Keywords: graphite, mineral exploration, minerals, potential, commerce and industry, services, regional economy, Siikalatva, Northern Ostrobothnia, Finland

Juha Stenberg / Tiina Ruotsalainen
Municipality of Siikalatva
Pulkkilantie 4
FI-92600 Pulkkila, Finland

E-mail: juha.stenberg@icloud.com
E-mail: tiina.ruotsalainen@siikalatva.fi

Jukka Konnunaho
Geological Survey of Finland
P.O. Box 77
FI-96101 Rovaniemi, Finland

E-mail: jukka.konnunaho@gtk.fi

Anne Tuomela
University of Oulu / Civil Engineering
(CIV) Research Unit
P.O. Box 4300
FI-90014 Oulu, Finland

E-mail: anne.tuomela@oulu.fi

Markku Seitsaari
University of Oulu / OMS Research Centre
P.O. Box 4300
FI-90014 Oulu, Finland

E-mail: markku.seitsaari@oulu.fi

Co-funded by the European Union
Siikalatva Suomen keskipisteessä
POHJOIS-POHJANMAA COUNCIL OF OULU REGION
OULUN YLIOPISTO

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 9
1.1 Hankkeen lähtökohdat 9
1.2 Toteuttajien roolit ja hankkeen organisointi 9
1.3 Hankkeen tavoitteet ja toteutus 10
1.4 Hankkeen toteutusaika ja rahoitus 11

2 GRAFIITIN GLOBAALI MARKKINA JA SUOMEN GRAFIITTIPOTENTIAALI 11
2.1 Johdanto 11
2.2 Grafiitti 11
2.2.1 Luonnon- ja synteettinen grafiitti 12
2.2.2 Käyttökohteet ja grafiitin kysyntä 13
2.2.3 Anodigrafiitti 15
2.3 Tuotanto 15
2.3.1 Tuotanto maantieteellisesti 15
2.3.2 Tuotannon kehitysnäkymiä 16
2.3.3 Jalostus 17
2.3.4 Rikasteen puhdistus 20
2.3.5 Tuotevalmistus 21
2.3.6 Pallotettu grafiitti 21
2.3.7 Laajennettu grafiitti 22
2.3.8 Mikronisoitu grafiitti 25
2.3.9 Grafiitin jalostuksen johtavat maat 25
2.4 Markkina 26
2.4.1 Grafiitin maailmankauppa 26
2.4.2 Grafiitin hinta 27
2.4.3 Grafiitti kriittinen raaka-aine 27
2.4.4 Grafiitin markkinat tuotteittain 29
2.4.5 Varannot 30
2.4.6 Markkinan kehitysnäkymät 31
2.5 Suomen grafiittipotentiaali 34
2.5.1 Tunnetut kohteet 34
2.5.2 Grafiittipotentiaali Suomessa 35
2.5.3 Näytteiden rakenne ja grafiittipitoisuus 37
2.5.4 Grafiittipitoisuus alueellisesti 38
2.5.5 Grafiitin kehittämishankkeet 38
2.6 Yhteenveto 39

3 GRAFIITTI JA SEN HYÖDYNTÄMINEN: ANALYYSI SUOMEN NÄKÖKULMASTA 40
3.1 Johdanto 40
3.2 Grafiittikaivostoiminnan nykytila pohjoisilla alueilla 40
3.2.1 Kaivostoiminnan alueelliset vaatimukset 40
3.2.2 Jätehuolto 42
3.3 Grafiittikaivostoiminnan ympäristövaikutukset 42
3.3.1 Ympäristövaikutukset 42
3.3.2 Vaikutukset alueen yhteisöön 43
3.3.3 Grafiitin käytön elinkaarivaikutukset 43
3.4 Grafiittikaivostoiminnan tulevaisuus 43

4 NÄKÖKULMIA GRAFIITIN HYÖDYNTÄMISEEN SIIKALATVAN KUNNASSA 44
4.1 Johdanto 44
4.2 Keskeiset havainnot kunnan näkökulmasta 44

4.3 Siikalatvan grafiittipotentiaali 44
4.3.1 Liikenneyhteydet 48

5 KAIVOSTOIMINNAN PAIKALLISTALOUDELLISET VAIKUTUKSET JA LIIKETOIMINTAPOTENTIAALI SIIKALATVALLA 49
5.1 Johdanto 49
5.2 Tarkasteltavat kaivoksen elinkaaren vaiheet 49
5.2.1 Malminetsintä 49
5.2.2 Kaivoksen rakentaminen 50
5.2.3 Kaivoksen tuotantovaihe 50
5.3 Kaivostoiminnan paikallistaloudelliset vaikutukset ja niiden toteutumisen edellytykset Siikalatvalla 50
5.3.1 Kaivostoiminnan paikallistaloudellisten vaikutusten muodostuminen 50
5.3.2 Siikalatvan yritys- ja palvelurakenteen vahvuudet ja kehittämistarpeet 50
5.3.3 Kasvaneet palkkatulot, väestökehitys ja asuminen 51
5.4 Malminetsintään liittyvä liiketoimintapotentiaali 52
5.5 Kaivoksen rakentamiseen liittyvä liiketoimintapotentiaali 52
5.5.1 Maanrakennukseen liittyvä liiketoimintapotentiaali 53
5.5.2 Kuljetukseen ja logistiikkaan liittyvä liiketoimintapotentiaali 53
5.5.3 Asuntorakentamiseen, majoitusliiketoimintaan ja ruokapalveluihin liittyvä liiketoimintapotentiaali 53
5.6 Kaivoksen tuotantovaiheeseen liittyvä liiketoimintapotentiaali 54
5.7 Yhteenveto 55

6 SIIKALATVAN GRAFIITTIPOTENTIAALIIN LIITTYVÄT GEOLOGISET JA GEOFYSIKAALISET TUTKIMUKSET 56
6.1 Johdanto 56
6.2 Tutkimusalueen geologiset pääpiirteet ja tutkimuskairaukset 56
6.2.1 Tutkimusalueen ja kohteiden sijainti sekä tutkimuksen tarkoitus 56
6.2.2 Tutkimusalueen geologiset pääpiirteet 57
6.2.3 Suoritetut tutkimuskairaukset 59
6.2.3.1 Kairattujen näytteiden laadunvalvonta eli QA/QC 59
6.2.3.2 Grafiittisen hiilen pitoisuudet 59
6.2.3.3 Kairaus- ja analyysitulosten tarkastelu 60
6.2.3.4 Mineralogiset tutkimukset polarisaatiomikroskoopilla 63
6.2.3.5 Mineralogiset tutkimukset SEM-EDS 65
6.2.4 Loppupäätelmät 67
6.3 Siikalatvan alueen geofysikaaliset tutkimukset 68
6.3.1 Mallinnus 70

7 ALUSTAVAT GRAFIITIN RIKASTUSKOKEET SIIKALATVAN KOMPOSIITTINÄYTTEILLÄ 71
7.1 Johdanto 71
7.2 Näytteet 72
7.3 Jauhatuskokeet 73
7.4 Vaahdotuskokeet 75
7.4.1 Esivaahdotuskokeet 76
7.4.2 Kertausvaahdotuskokeet 79
7.4.3 Rikasteen tuotanto 84
7.5 Yhteenveto 86

8 RIKASTENÄYTEANALYYSIT 88
8.1 Tutkimuksen materiaali 88
8.2 Analyysimenetelmät 88
8.3 Tulokset 88

8.3.1 Mineraalien liberaatioanalyysit (MLA) 91
8.4 Yhteenveto ja pohdintaa 97

9 SIIKALATVAN KAIRASYDÄNTEN JA RIKASTENÄYTTEIDEN
SEKÄ TEOLLISTEN SIVUVIRTOJEN MINERALOGISET TUTKIMUKSET 98
9.1 Johdanto 98
9.2 Näytteet 98
9.3 Menetelmät 99
9.3.1 Kemian analyysit 99
9.3.2 Mineralogiset tutkimukset 99
9.4 Tulokset 100
9.4.1 Syöte- ja rikastenäytteet 100
9.4.2 MgO-C tulenkestävät tiilet 101
9.4.3 Masuunipöly ja -liete 101
9.4.4 Rikinpoistokuona 102
9.4.5 Bioliuotettu mustaliuskemalmi 103
9.5 Yhteenveto 105

10 SIIKALATVAN RIKASTUSHIEKKANÄYTTEIDEN YMPÄRISTÖOMINAISUUDET 106
10.1 Johdanto 106
10.2 Tutkimuksen tarkoitus 106
10.3 Aineisto ja tutkimusmenetelmät 106
10.3.1 Mineralogiset analyysit 106
10.3.2 Kemialliset analyysit 107
10.4 Tulokset 107
10.4.1 Näytteiden mineraloginen koostumus XRD-tutkimukseen perustuen 107
10.4.2 FE-SEM-EDS-tutkimukset 108
10.4.3 Näytteiden kemiallinen koostumus 108
10.5 Yhteenveto Siikalatvan grafiitin ympäristöominaisuuksista 111

11 ANODIMATERIAALIN VALMISTUS SIIKALATVAN GRAFIITISTA
– PALLOTUS JA HIILELLÄ PÄÄLLYSTÄMINEN 112
11.1 Johdanto 112
11.2 Materiaali 112
11.3 Pallottaminen ja puhdistus 113
11.3.1 Mikronisointi 114
11.3.2 Pallotus 114
11.3.3 Puhdistus 114
11.4 Hiilellä päällystäminen 115
11.5 Anodigrafiitti 115
11.6 Akkutestin tulokset 116

LÄHDE- JA KIRJALLISUUSLUETTELO 117

LIITTEET 125
Liite 1. Komposiittinäytteet 125
Liite 2. Komposiittinäytteiden kemialliset analyysit 127
Liite 3. Jauhatuskokeiden pöytäkirjat. 129
Liite 4. Vaahdotuspöytäkirjat. 139
Liite 5. Vaahdotuskokeiden kemialliset analyysit. 157
Liite 6. Mineralogisen tutkimuksen raportti (GTK). 193
Liite 7. Kemialliset analyysitulokset (Eurofins Oy) 204
Liite 8. GTK Anodimateriaalitestausraportti. 210

1 JOHDANTO

1.1 Hankkeen lähtökohdat

Yhtenä oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (JTF) erityistavoitteena Suomen osalta on vähintään puolittaa turpeen energiankäyttö vuoteen 2030 mennessä. Samoin rahaston tehtävänä on tukea moninaisia toimia vähähiilisen siirtymän haittavaikutusten kompensoimiseksi ja korostaen elinkeinojen monipuolistamista.

Siikalatva kuuluu niihin alueisiin, joihin turvetuotannon alasajon vaikutukset ovat kohdistuneet voimakkaimmin. Turpeen käytön väheneminen on heikentänyt erityisesti kuljetus-, kunnossapito-, huolto- ja alihankintatoimintaa sekä muuta paikallista palveluliiketoimintaa. Siikalatvan elinkeinorakenne on monipuolinen, ja alueella toimii maatalouden lisäksi metalli-, elintarvike- ja puuteollisuuden yrityksiä sekä kuljetus- ja logistiikka-alan toimijoita. Yrityskanta koostuu kuitenkin pääosin pienistä yrityksistä, joiden tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta on vähäistä. Uusien kasvualojen syntymistä rajoittavat myös korkeakoulutuksen, tutkimusinfrastruktuurin ja laajemman TKI-toiminnan puute. Työllisyystilanne on heikentynyt viime vuosina, eikä turvealan työpaikkojen tilalle ole syntynyt korvaavaa työllisyyttä. Alueen elinvoiman vahvistamiseksi yhtenä uutena mahdollisuutena voidaan Siikalatvalla nähdä grafiittiin liittyvä malminetsintä ja kaivostoiminta.

Grafiitti on Euroopan unionin kriittiseksi ja strategiseksi määrittelemä raaka-aine, jonka merkitys kasvaa erityisesti akkujen, vihreän siirtymän teknologioiden sekä huoltovarmuuden kannalta. Se on katsottu myös NATOn toimesta keskeiseksi puolustusteknologioiden raaka-aineeksi (NATO 2024).

Suomessa grafiitin tuotantoa ei tällä hetkellä ole, mutta malminetsintää ja jatkojalostuksen kehittämistä tapahtuu muutaman päätoimijan toimesta (Grafintec Oy ja Kupukan Grafiitti Oy). Grafiittiin liittyvässä tuotannossa ja kysynnässä on havaittavissa merkittävää kasvupotentiaalia. Alan kehitys Pohjoismaissa ja Euroopassa on kiihtyvää, ja se johtuu sekä pyrkimyksistä vähentää tuontiriippuvaisuutta Kiinasta että kysynnän kasvuennusteista. Tällä hetkellä Kiinalla on globaali valta-asema niin grafiittiin liittyvässä akkujen anodimateriaalin tuotannossa kuin teknologisessa osaamisessakin.

Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena -hanke (R-01318) toteutettiin vuosien 2024–2026 aikana, ja sen lähtökohtana olivat Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) kaksi tutkimushanketta, joissa oli todettu, että Siikalatvan alueella saattaisi esiintyä akkukelpoista suomugrafiittia: 1) GTK:n valtakunnallinen grafiittipotentiaalin kartoitus (Leinonen 2024a,b) sekä Vihanti-Pyhäsalmi-kartoitusprojekti (Konnunaho ym. 2026a tekeillä). Näistä etenkin viimeksi mainitun projektin tutkimusaineistoja on hyödynnetty tässä hankkeessa.

1.2 Toteuttajien roolit ja hankkeen organisointi

Hanke toteutettiin Siikalatvan kunnan, Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja Oulun yliopiston yhteisenä ryhmähankkeena, jonka päätoteuttajana toimi Siikalatvan kunta.

Siikalatvan kunta vastasi hankkeen hallinnosta, koordinoinnista ja tutkimustulosten koostamisesta yhdessä osatoteuttajien kanssa. Lisäksi kunnan tehtäviin kuului selvittää mahdollisen kaivostoiminnan tuomia vaikutuksia paikalliselle elinkeinoelämälle ja kartoittaa tähän liittyvää liiketoimintapotentiaalia ja paikallisen elinkeinon valmiuksia vastata uudenlaisiin palvelutarpeisiin. Hankkeen projektipäällikkönä ja loppuraportin koostamisvastuussa oli projektipäällikkö Juha Stenberg. Lisäksi Siikalatvan kunnan osalta hankesuunnittelussa ja toteutuksessa oli mukana Tiina Ruotsalainen ja hankkeen hallinnoinnissa auttoi Piia Kangas.

GTK toimi hankkeessa grafiitin hyödyntämisen, mineraalipotentiaalin, geologian, mineralogian, malminetsinnän, rikastustekniikan, kaivannaisjätteiden ja malminetsinnän- ja kaivostoiminnan asiantuntijaroolissa.

Oulun yliopisto toimi hankkeessa niin ikään asiantuntijaroolissa liittyen mineralogiaan ja kaivostoiminnan ympäristö- ja aluevaikutuksiin.

GTK:n hankkeessa toteuttamaan tutkimustyöhön osallistui useita sisäisiä tulosyksiköitä, joilla oli omat tutkimukselliset vastuualueensa:

- MTR – Mineraalitalouden ratkaisut

- GFR – Geofysiikan ratkaisut
- KTR – Kiertotalouden ratkaisut
- VER – Vesitalouden ratkaisut.

Geologian tutkimuskeskuksen tutkimusryhmässä mukana olivat Jukka Konnunaho, Seppo Leinonen, Heikki Pirinen, Thair Al-Ani, Ilkka Lahti, Tero Korhonen, Pasi Heikkilä, Sari Lukkari, Teemu Karlsson, Tomi Luoto, Atte Halmesaari, Katariina Issukka, Marke Oinonen, Mari Pölönen ja Kirsi Sallinen.

Lisäksi kiitämme muita GTK:n työntekijöitä, jotka ovat olleet mukana mahdollistamassa hankkeen toteutumista: Akseli Torppa, Emmi Hemminki, Mira Hiljanen, Santtu Janttonen, Terhi Kirkkala, Toni Kolari, Mira Peurala, Timo Saarimäki, Riitta Turunen, Päivi Kuikka-Niemi, Teija Veikkolainen ja Juha Vuohelainen.

Oulun yliopiston tutkimustyöt rikasteanalyysien osalta suoritettiin kaivannaisalan yksikön tutkimuskeskuksessa (OMS) ja materiaalianalyysikeskuksessa (MAKE). Näistä tutkimuksista vastasi tutkija Markku Seitsaari. Grafiittikaivosselvityksestä, grafiittikaivosten ympäristö- ja aluevaikutusten ja grafiittituotannon kuntavaikutusten selvityksestä vastasi rakennus- ja yhdyskuntatekniikan (CIV) tutkimusryhmä, johon kuuluivat tutkijat Anne Tuomela, Anssi Rauhala ja Maria Korpela.

Hankkeen projektiryhmän muodostivat Juha Stenberg, Jukka Konnunaho, Anne Tuomela ja Markku Seitsaari. Ryhmä kokoontui säännöllisesti käymään läpi hankkeen ja kunkin toteuttajaorganisaation toimenpiteitä ja etenemistä.

Hankkeelle nimitettiin ohjausryhmä, jossa olivat mukana Siikalatvan kunnanjohtaja Pekka Iivari, Siikalatvan yrittäjät ry:n puheenjohtaja Petri Jarva, GTK:n Mineraalitalouden ratkaisut (MTR) -tulosyksikön päällikkö Hanna Leväniemi, Oulun yliopiston Kaivannaisalan yksikön johtaja Saija Luukkanen, sekä Oulun yliopiston rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkimusyksikön väitöskirjatutkija ja kaivannaisalan vastuuopettaja Jyrki Salmi. Ohjausryhmä kokoontui hankkeen aikana viisi kertaa.

1.3 Hankkeen tavoitteet ja toteutus

Hankkeen tavoitteena oli selvittää seuraavia asioita: 1) Grafiitin mineraalipotentiaali Siikalatvan alueella, 2) Siikalatvalla esiintyvän grafiitin hyödyntäminen akkuteollisuuden raaka-aineena, 3) grafiittituotannon ympäristö- ja aluevaikutukset sekä 4) grafiittituotannon sivuvirtojen hyödynnettävyys muilla teollisuuden aloilla. Näihin sisältyi grafiittiin liittyvä tuotanto- ja markkinakatsaus, alueen geologinen taustoitus, grafiittiesiintymille potentiaalisten vyöhykkeiden mallinnus geofysiikkaan perustuen, alustavat rikastus- ja jatkojalostuskokeet sekä teollisuuden sivuvirtojen ja hankkeessa käytetyn näyteaineiston kattavat mineralogiset ja geokemialliset analyysit.

Hankkeessa haettiin myös vastauksia mahdolliseen kaivostoimintaan liittyviin maankäytön, infrastruktuurin, aluesuunnittelun ja aluetalouden kysymyksiin sekä selvitettiin paikalliselle elinkeinoelämälle uuden mahdollisen teollisuuden haaran palvelutarpeita ja niihin liittyviä haasteita.

Hanke järjesti Siikalatvalla kaksi yleisötilaisuutta:

- ”Kaivostoiminnan ja malminetsinnän mahdollisuudet elinkeinoelämälle”, jossa olivat mukana vieraina Mining Finland ry, Kaivosteollisuus ry, Sodankylän kunta, Kupukan Grafiitti Oy, Arctic Infra Oy sekä Titanor Oy.
- ”Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena” -loppuseminaari, jossa olivat mukana vieraina Kaivosteollisuus ry, Grafintec Oy, ja Kupukan Grafiitti Oy.

Lisäksi hanke vieraili Torontossa järjestettävässä kaivos- ja malminetsintäalan PDAC-konferenssissa tutustumassa grafiittiin kansainvälisiin näkymiin. Lisäksi GTK:n edustajat kävivät esittelemässä hankkeen tuloksia EGU2026 tapahtumassa Wienissä, Itävallassa. Näiden lisäksi osallistuttiin myös muihin pienempiin kotimaisiin tapahtumiin.

Hankkeessa tehdyistä tutkimuksista ja selvityksistä koostettiin tämä loppuraportti, jonka tarkoitus on toimia kattavana tietolähteenä tukemaan päätöksentekoa, aluesuunnittelua ja vastata osaltaan mahdollisen Siikalatvan alueelle syntyvän kaivostoiminnan toteuttamiseen liittyvään tiedontarpeeseen.

1.4 Hankkeen toteutusaika ja rahoitus

Hankkeen toteutusaika oli 1.5.2024–31.8.2026. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 526 564 euroa, ja sitä rahoitti Pohjois-Pohjanmaan liitto Euroopan unionin oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta (JTF) 80 %:n osuudella kokonaisbudjetista (421 251 euroa). 20 %:n osuus kokonaisbudjetista koostui kunkin toteuttajan omakustanteisista osuuksista: Siikalatvan kunta (37 174 euroa), Geologian tutkimuskeskus (49 575 euroa) ja Oulun yliopisto (18 566 euroa). Hankkeelle palkattiin projektipäälliköksi filosofian maisteri, geologi Juha Stenberg.

2 GRAFIITIN GLOBAALI MARKKINA JA SUOMEN GRAFIITTIPOTENTIAALI

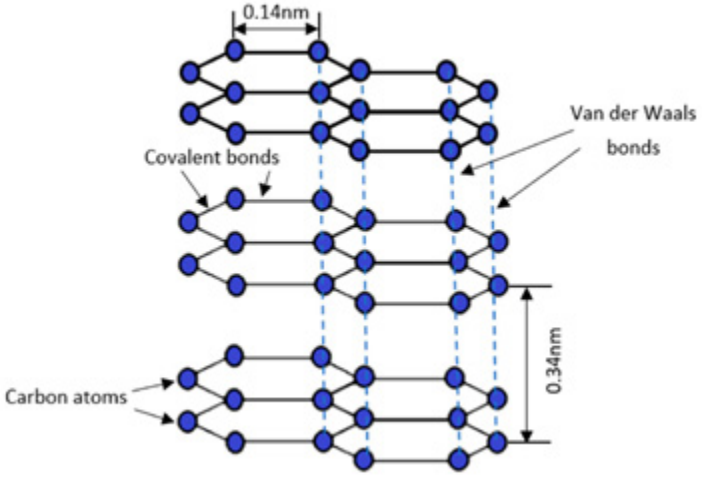
2.1 Johdanto

Tämä osa raportista luo katsauksen grafiitin tuotantoon, sen maailman markkinatilanteeseen ja Suomen grafiittipotentiaaliin. Grafiitin sähkön- ja lämmönjohtavuuden ja rasvamaisuuden ominaisuuksia hyödynnetään erilaisissa teollisissa tuotteissa ja prosesseissa. Tässä osassa tarkastellaan myös grafiitin rikastuksen periaatteita ja myös jatkojalostusta akkuanodiksi. Grafiitin tuotanto kasvaa voimakkaasti liikenteen sähköistyessä, ja myös energian varastointitarpeen moninkertaistuminen lisää kysyntää. Saatavuuden turvaamiseksi EU tavoittelee oman tuotannon lisäämistä. Tutkimushankkeita on käynnissä Romaniassa, Norjassa ja Ruotsissa, ja myös Suomen kallioperässä on hyvät edellytykset kaupallisille grafiittiesiintymille. EU:n kriittisten raaka-aineiden asetukseen (Euroopan komissio 2024) on myös kirjattu grafiitin vaatimus hyödyntää 25 % vuotuisesta tarpeesta kierrätetyistä materiaaleista.

2.2 Grafiitti

Grafiitti on kiteistä hiiltä, jota käytetään laajasti teollisissa materiaaleissa. Rakenne on kerrosmainen, jossa verkkopintojen väli on 3,35–3,44 Å (10^{-8} m) d_{002}, ideaalissa rakenteessa 3,35–3,36 Å (Kuva 1). Vaikka grafiitti on yleinen kallioperän mineraali, sitä tuodaan EU:iin lähinnä vain Kiinasta ja Afrikan maista. EU on määrittänyt grafiitin sekä kriittiseksi että strategiseksi mineraaliksi sekä tunnistanut sen erityisen merkityksen tulevaisuuden teknologioissa ja myös tarpeen turvata saatavuus akkutuotannon tarpeisiin (Euroopan komissio 2024). Lisäksi NATO on omassa listauksessaan katsonut grafiitin puolustusteknologioiden kannalta kriittiseksi raaka-aineeksi (NATO 2024).

Grafiitin ominaisuuksia hyödynnetään moninaisissa teknisissä materiaaleissa ja sovelluksissa, kuten kuumuutta kestävissä tiivisteissä ja tulenkestävissä tiilissä. Lämmönjohtavuudelle on käyttöä myös elektroniikassa, kun taas sen sähkön johtavuudelle valokaarilampuissa ja terästeollisuuden valokaariuunien elektrodeissa. Suomumainen rakenne mahdollistaa kerrosten helpon liukumisen toistensa suhteen. Tämä ominaisuus tekee grafiitista erinomaisen voiteluaineen ja kitkamateriaalin (jarrupalat ja kytkinlevyt), ja se vähentää myös liikkuvien autonosien kulumista metalleihin seostettuna (laakerit, nokka-akselit jne.). Kemiallisesti inerttinä grafiitti kestää sekä happamia että emäksisiä olosuhteita. Se kuitenkin hapettuu hiilidioksidiksi korkeissa lämpötiloissa ja reagoi myös voimakkaisiin hapettimiin. Grafiitin kovuus on 1 Mohs ja tiheys 2,09–2,26 g/cm^3.



Kuva 1. Grafiitin kidekemiallinen rakenne (Yap ym. 2023).

Grafiitilla on suomukoon mukaan kolme kaupallista luokkaa: 1) amorfinen, 2) pienisuomuinen ja 3) karkeasuomuinen (Mitchell 1992). Amorfinen grafiitti on mikrokiteistä, < 70 µm, kun taas pienisuomuinen esiintyy raekoossa < 150 µm ja karkea > 150 µm raekoossa. Isokiteinen, jopa yli 4 cm:n raekoko tunnetaan myös palagrafiittina. Vaahdotuksella rikastetut jumbosuomut ovat kookkaimmillaan > 500 µm. Amorfista muotoa esiintyy matalan metamorfoosin mustaliuskeissa, ja vastaavasti suomuista muotoa löydetään korkean metamorfoosin liuskeista, gneisseistä ja karbonaattikivistä. Palagrafiitti esiintyy hydrotermisissä juonissa ja on erittäin kiteistä ja puhdasta (käyttö sellaisenaan sähkömoottoreiden hiilissä ja muissa sähkönjohteiden komponenteissa). Juonigrafiitin esiintymiä on louhittu lähinnä Sri Lankassa.

2.2.1 Luonnon- ja synteettinen grafiitti

Teollisuuden käyttämä grafiitti on joko luonnongrafiittia tai synteettistä grafiittia. Luonnongrafiitti esiintyy usein korkean metamorfoosiasteen läpikäyneissä sedimentogeenisissä kivilajeissa, kuten kiillegneisseissä ja -liuskeissa. Grafiittiesiintymiä louhitaan avolouhoksista mutta myös maanalaisista kaivoksista. Tuotantoprosessissa malmi murskataan, jauhetaan ja rikastetaan, jolloin tavanomainen 5–20 p-%:n C-pitoisuus saadaan nostettua vaahdottamalla jopa 95 p-%:iin. Mikäli käyttökohteessa tarvitaan erityisen korkeaa C-pitoisuutta (> 99 p-% C), rikaste on vielä puhdistettava kemiallisesti.

Luonnongrafiitin käyttö on kasvanut merkittävästi Li-ioniakkujen anodeissa. Akkuanodeihin yleisimmin soveltuva grafiitti on niin sanottua 195:sta (rikasteen suomukoko < 100 mesh/149 µm ja hiilipitoisuus 95 p-%). Kysyntää on lisännyt myös laajentuva grafiitti, jota käytetään vaativien kohteiden palonestoaineena ja erilaisissa tiivisteissä. Laajentuvalla grafiitilla saadaan yhä kehittyneempiä ominaisuuksia voiteluaineisiin sekä hyötyä myös metallurgiassa, elektroniikassa ja kemian teollisuudessa. Akkuanodien valmistusprosessiin kuuluu grafiitin hapettaminen ja sitä seuraava happokäsittely, mikä säilyttää hapettavien, ts. aktiivisten aineiden, jäämisen kerrosten välisiin tiloihin. Laajentuvan grafiitin sovelluksiin käytetään vain luonnongrafiittia, jossa rikasteen suomukoko vaihtelee tuotteen mukaan 44 µm:sta 500 µm:iin, kun taas puhtaus 90,00–99,99 %:iin grafiittista hiiltä. Karkeista suomuista valmistettu tuote laajenee tilavuudeltaan jopa 300 %.

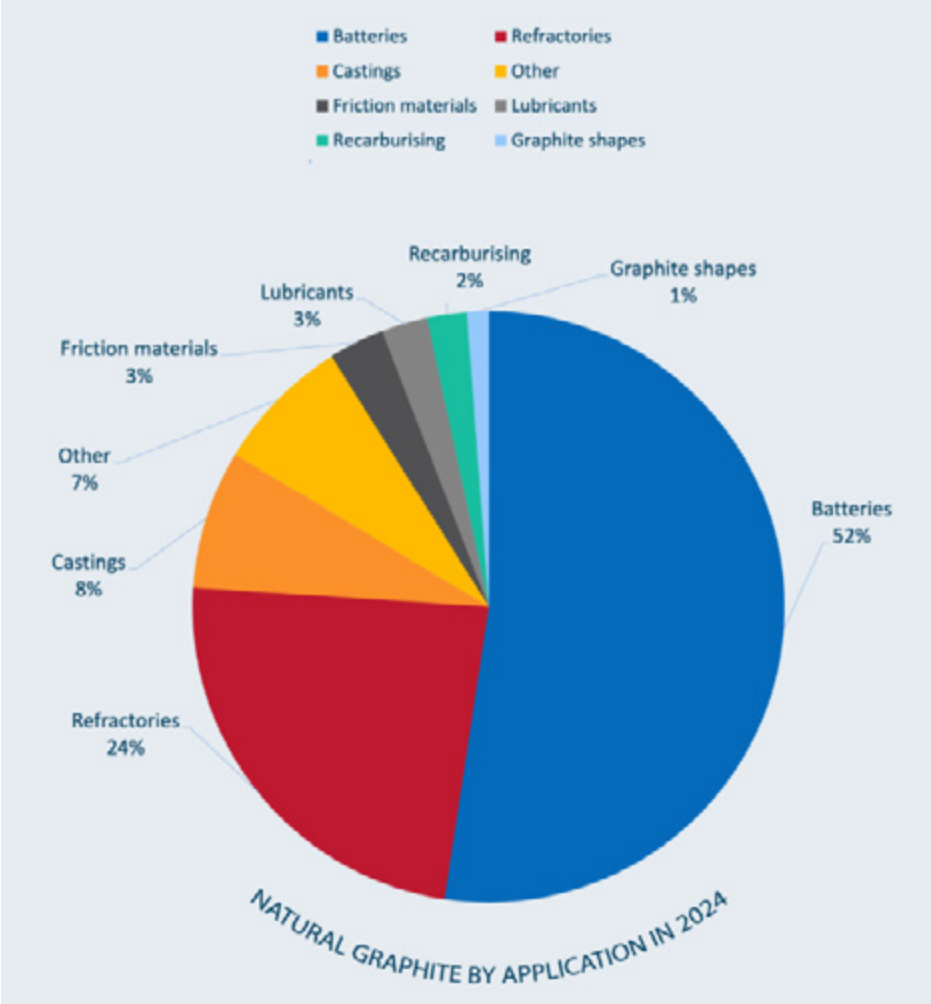
Synteettistä grafiittia käytetään yleisesti valokaariuunien elektrodeissa ja yhä enemmän myös Li-ioniakkujen anodeissa. Sitä voidaan valmistaa keinotekoisesti korkeassa lämpötilassa hiilipitoisista petrokemian teollisuuden jätteistä (esim. kivihiilitervan piki, öljykoksi tai öljy). Runsaasti sähköenergiaa vaativan valmistusprosessin ensimmäisessä vaiheessa kappalemuotoinen raaka-aine murskataan, jauhetaan ja seulotaan haluttuun raekokoon. Tähän seostetaan sideaine, esimerkiksi synteettinen hartsi tai kivihiilitervapiki. Ennen lämpökäsittelyjä massaa muokataan mekaanisesti puristamalla tai valamalla muotteihin. Lämpökäsittely aloitetaan noin 1000 °C:ssa ja sen jälkeen tehdään kalsinointi yli 2000 °C:n lämpötilassa. Kalsinoinnilla poistetaan epäpuhtauksia ja muut haitalliset haihtuvat aineet (lämpöhajoaminen). Kalsinoinnissa saadaan synteettiseen materiaaliin grafiitille luonteenomainen korkea

sähkön- ja lämmönjohtavuus. Kolmannessa vaiheessa hiili muuttuu kiteiseksi grafiitiksi yli 3000 °C:n lämpötilassa. Hiilen kiteytyessä materiaalin mekaaninen lujuus, lämpöstabiilisuus ja sähkönjohtavuus lisääntyvät. Synteettisen grafiitin Acheson powder route -valmistusmenetelmän CO_2-päästöt vastaavat energiaintensiivisen alumiinituotannon hiilijalanjälkeä, 42,2 tn CO_2eq./t_{BAM} (BAM, battery anode material). Energian käytön päästöt on laskettu pallotetulle grafiitille, jonka nettomassa on noin 50–60 % valmistusta edeltävän materiaalimäärän, ts. syötteen massasta (Carrère ym. 2024).

2.2.2 Käyttökohteet ja grafiitin kysyntä

Grafiitti on tärkeä erityisesti vihreän siirtymän tekniikoissa, kuten akkukäyttöisissä laitteissa. Grafiittia tarvitaan esimerkiksi sähköautojen akustossa useita kymmeniä kiloja.

Tulenkestävät materiaalit ovat perinteisesti olleet suurin luonnongrafiitin käyttökohde, vastaten noin puolta vuosittaisesta kysynnästä. Luonnongrafiitin käyttö akuissa on kasvanut huomattavasti kymmenessä vuodessa, vuonna 2014 se oli vain 8 %, kun vuonna 2024 jo 20 %. Tilastojen mukaan EU:ssa luonnongrafiitin kysynnän osuus akkuihin (52 %) ylittikäytöntulenkestävissätuotteissa (24 %) vuonna 2024 (ECGA 2025). Valimoiden osuus kysynnästä oli 8 % ja hiilen lisäykseen 2 %. Voiteluaineet ja kitkamateriaalit vastasivat molemmat 3 % kysynnästä (Kuva 2). Tulenkestävissä materiaaleissa ja akuissa käytetään yleisemmin suomugrafiittia, kun taas amorfista valualustoissa ja kitkamateriaaleissa (kytkimet, jarrupalat) sekä hiilenlisäykseen teräksen valmistuksessa.

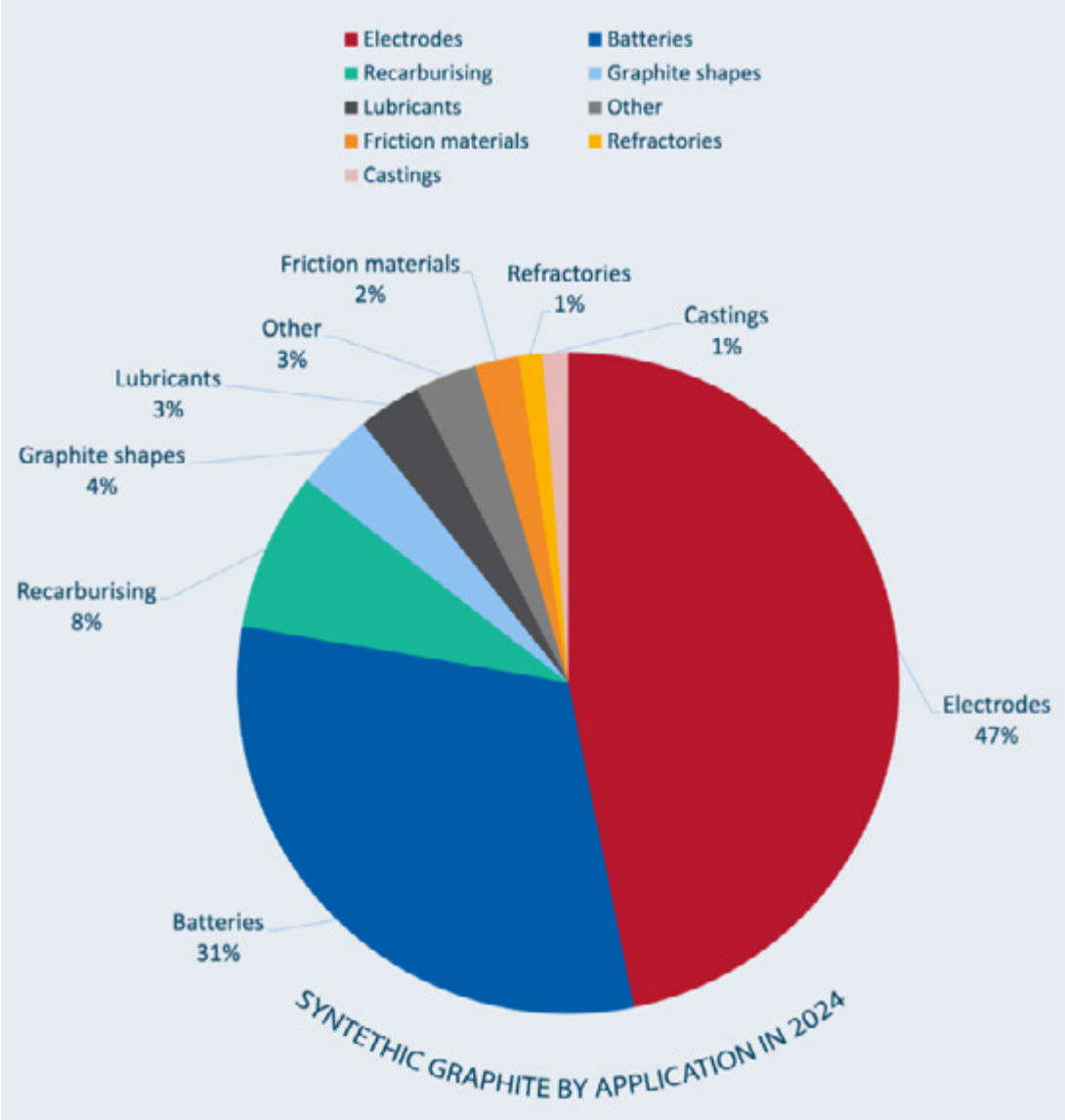


Kuva 2. Luonnongrafiitin käyttökohteet EU:ssa vuonna 2024 (ECGA 2025).

Luonnongrafiitilla voidaan lisätä myös aurinkopaneelien tehokkuutta. Muita uuden teknologian käyttökohteita ovat energian varastointi, polttokennot, upokkaat, tiivisteet ja kalvot, eristeet ja komponentit, palonsuoja-aineet ja pulverimetallurgia. Kysyntää lisäävät tulevaisuudessa myös grafiittia sisältävien komposiittien käyttö 3D-tulostustekniikoissa ja sähköä johtavissa musteissa.

Synteettistä grafiittia käytetään EU:ssa vuoden 2024 tilastolukujen mukaan eniten valokaariuunien elektrodeissa 47 %:n osuudella, kun taas akkuanodien osuus oli 31 %. Terästeollisuuden hiilen lisäykseen menee 8 % (ECGA 2025). Kysyntä on kasvanut myös muotoon puristettujen kappaleiden valmistuksessa, ja myös ominaisuuksien lisääminen voiteluaineissa, kitkamateriaaleissa ja tulenkestävissä materiaaleissa on merkittävää. Synteettisellä grafiitilla on käyttöä myös valimoteollisuudessa (Kuva 3).

Synteettisen grafiitin kysyntä akuissa (720 kt) oli vuonna 2023 lähes kolmikertainen (2,8 x) verrattuna luonnongrafiittiin käyttöön (255 kt). Luonnongrafiitin kysyntä on lähes kaksikertaistunut vuoteen 2025 mennessä 450–500 kt:iin (Research and Markets 2025). Ennusteen mukaan, luonnongrafiitin kysyntä akkuanodeissa kasvaisi lähes viisinkertaiseksi 1,2 milj. tonniin vuodesta 2023 vuoteen 2030 ja synteettisen grafiitin käyttö samalla ajanjaksolla kaksin kertaistuisi 2,3 milj. tonniin (Benchmark 2023). Li-ioniakuissa käytetään nykyään luonnon- ja synteettisen grafiitin sekoitteita. Tämän lisäksi grafiittiin lisätään yhä enemmän piitä parantamaan anodin varauskapasiteettia suhteessa katodiin (Wood Mackenzie 2024).



Kuva 3. Synteettisen grafiitin käyttökohteet EU:ssa (ECGA 2025).

2.2.3 Anodigrafiitti

Grafiitti on tärkein Li-ioniakkujen anodimateriaali. Sen käyttö on yleistynyt myös energian varastointijärjestelmissä. Korkea sähkönjohtavuus ja hyvin palautuva varautuvuus tekee suomugrafiitista kriittisen aineen ladattavissa akuissa. Toistuva ja pitkäaikainenkaan lataus (ts. purkusykli) eli litiumionien liikkuminen verkkopintojen sisään ja ulos ei merkittävästi vähennä akun varauskykyä. Luonnongrafiitti soveltuu myös kehittyvien teknologioiden Na- ja K-ioniakkujen (suola-akut) anodeihin sekä Al-ioniakkujen katodiin. Li-ionitekniikassa (Li-ioni on pienempi kuin Na-ioni) anodina käytetään hiilipäällysteistä pallomaista grafiittia, kun taas Na-akuissa kovahiiltä (hapeton poltto 1000 °C, raaka-aineena esimerkiksi ligniini ja sakkaroosi) tai laajennettua luonnongrafiittia (Wen ym. 2014). K- ja Al-akkujen anodeissa voidaan käyttää grafiittia (K-ioni on pienempi kuin Na-ioni). Grafiitin massa on yleisesti noin 50 % akun painosta.

Anodeissa käytetty pallomainen grafiitti koostuu noduleista, joiden D50-koko on 16–18 mikrometriä (µm), toisin sanoen 50 % massasta läpäisee ko. seulakoon. Pyöristynyt partikkeli tehdään mekaanisesti erityisillä iskumyllyillä. Valmistus aloitetaan mikronisoimalla grafiittirikaste sopivaan partikkelikokoon ja sen jälkeen tehdään pallomaiseen muotoon prosessointi. Materiaali on vielä puhdistettava kemiallisesti hiilipitoisuuteen 99,95 p-%. Pallotettua grafiittia valmistetaan sekä luonnon- että synteettisestä grafiitista. Anodiin käytettävän konsentraatin lähtövaatimuksia ovat ≤ 100 meshin raekoko (< 149 µm) ja vähintään 95 %:n hiilipitoisuus (niin sanottu 195 grafiitti).

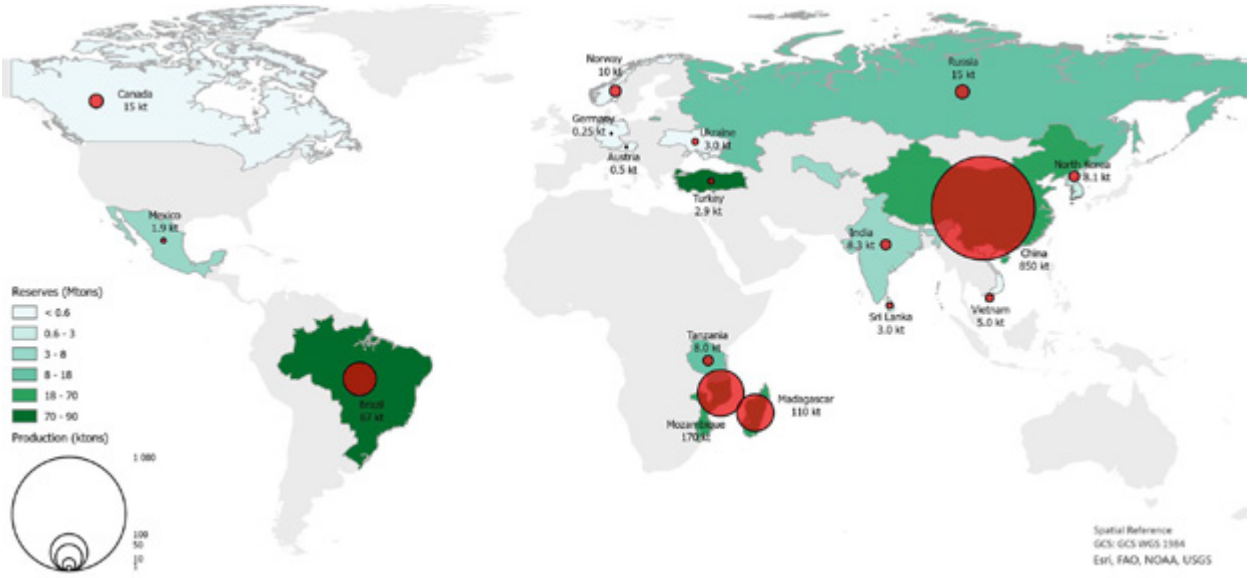
Mikäli akuissa käytettäisiin vuoteen 2030 mennessä 1,2 milj. tn luonnongrafiittia (pallotuksessa vain 60 %:n saanto), tarvitaan tuon määrän tuottamiseen noin 2,0 milj. tn rikastetta. Vastaavasti kyseisen rikastemäärän tuottamiseen olisi louhittava noin 20 milj. tn 10 % grafiittia sisältävää malmia. Merkittävästi enemmän energiaa kuluttavan synteettisen grafiitin pallottamisen hyötysuhde on samaa luokkaa, noin 50 %, kuin luonnongrafiitin rikasteen pallottamisessa. Synteettisen grafiitin luonnongrafiittia korkeammat CO_2-päästöt korostuvat entisestään anodigrafiitissa, kun valmiille tuotteelle on lisättävä myös prosessijätteen päästöt.

2.3 Tuotanto

Grafiitin kaivostuotanto oli vuonna 2023 noin 1,6 milj. tn. Globaali käyttö oli noin 5,2 milj. tn, josta luonnongrafiitin osuus oli 33 % ja synteettisen 67 %. Grafiitin malmivarat eli tuotettavissa olevat reservit olivat 280 milj. tn vuonna 2023 (Graphite facts 2023). Mineraalivarannot ovat laajempi osa esiintymää, jossa taloudellisesti kannattava toiminta voi olla mahdollista. Varannoiksi on ilmoitettu 800 milj. tn (USGS 2024); toisaalta grafiitin varannoiksi on arvioitavissa jopa 3 540 milj. tn (Graphite 2025). Reserveihin ja varantolukuihin tulee suhtautua varauksella. Eri lähteistä saatavilla olevat aineistot eivät ole tasapuolisia. Ne on usein laadittu eri tarkoituksia varten, ne nojaavat myös eri lähteisiin ja vain osa arvioista täyttää kansainvälisesti hyväksytyn koodin kriteerit (JORC tai NI 43-101).

2.3.1 Tuotanto maantieteellisesti

Kiina vastaa noin 70 %:sta sekä luonnon- että synteettisen grafiitin tuotannossa. Erityisen huomionarvoista on se, että Kiina on markkinajohtaja myös akkuanodeissa käytetyn pallotetun grafiitin valmistajana ja viejänä (Advanced Energy Technologies 2023). Pallotetusta luonnongrafiitista valmistetaan Kiinassa 85–90 % ja synteettisestä pallotetusta grafiitista tätäkin enemmän, 95 %. Kiinan Li-ioniakkujen tuotantokapasiteetin arvioidaan vuonna 2025 olevan 2,93 TWh, mikä vastaa noin 80 % yhteenlasketusta kapasiteetista, kun myös Yhdysvaltojen 0,44 TWh (12 %) ja Euroopan tuotanto otetaan huomioon 0,33 TWh (9 %), IEA 2025a. Euroopan tuotanto vuonna 2025 ei välttämättä yllä ilmoitettuun lukuun. Kiinan lisäksi louhintaa on merkittävässä määrin myös Mosambikissa, Madagaskarilla ja Brasiliassa (Kuva 4). Huomionarvoista grafiitin tuotantoa on myös Kanadassa, Venäjällä, Intiassa, Etelä-Koreassa, Pohjois-Koreassa ja Vietnamissa. Euroopassa tuotantoa on Norjassa (10 000 tn) ja Ukrainassa (3 000 tn) ja vähäisessä määrin Saksassa ja Itävallassa. Vaikka Kiina on tällä hetkellä suurin tuottaja, Brasilialla ja Turkilla on suurimmat varannot. Myös Kiinassa ja Venäjällä on merkittäviä varantoja (Barre ym. 2024). Etelä-Korean tuotanto kasvaa voimakkaasti, ja vuonna 2023 se oli 27 000 tn. Varantojen määrä on 1,8 milj. tn (Sunlight 2024).



Kuva 4. Luonnongrafiitin tuotanto ja varannot vuonna 2023 (Barre ym. 2024). Kartta perustuu USGS-esiintymät aineistoihin (USGS 2023).

2.3.2 Tuotannon kehitysnäkymiä

Vuosikymmenen vaihteeseen mennessä Afrikan osuus maailman laajuisesta tuotannosta on erityisesti kasvamassa (Benchmark 2025). Afrikan maat toivat vuonna 2024 EU:n tarvitsemasta luonnongrafiitista (85 000 tn) noin 40 % (33 471 tn), mikä oli hieman enemmän kuin ostot Kiinasta, 30 140 tn (35,8 %). Madagaskarista tuonti oli 17 756 tn ja Mosambikista 15 715 tn (Graphite 2025). Muita esiintymiään aktiivisesti selvittäviä Afrikan maita ovat Botswana, Ghana, Guinea, Namibia, Tansania, Uganda ja Zambia. Uusien grafiittivarantojen kehittäminen on tosin edennyt tuotantoon saakka vain Namibiassa ja Tansaniassa (Mitchell & Deady 2021, Mitchell 2023).

Luonnongrafiitti on kriittinen mineraali muun muassa EU:ssa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa, ja tästä syystä oman maanosan tuotantoa (rikastus ja pallotusprosessointi) pyritään lisäämään oman akkutuotannon turvaamiseksi. EU lisäsi synteettisen grafiitin kriittisten mineraalien listalle vuonna 2023. Tällä hetkellä EU:n omaa luonnongrafiitin tuotantoa on vain Itävallassa (100 tn vuodessa), eikä muissakaan Euroopan maissa tuotanto yllä 10 000 tn:a suuremmaksi (Norja 10 000 tn ja Ukraina 3 000 tn). Norjan ja Ukrainan tuonti EU:n markkinoille on alle 10 % kokonaiskysynnästä (Graphite 2025).

Kriittiset mineraalit ovat erittäin tärkeitä teknologioiden kehittämisessä ja EU:n kilpailukyvyn ylläpitämisessä. Kriittiseksi luokitellun raaka-aineen saaminen markkinoilta nähdään haasteelliseksi. Euroopan komission vuoden 2020 raportin (Euroopan komissio 2020) mukaan tärkeimmät kriittisten mineraalein tuottajamaat ovat Kiina (69 %), Intia (12 %) ja Brasilia (8 %), kun taas tuontimaat EU:hun ovat Kiina (47 %), Brasilia (12 %), Norja (8 %) ja Romania (2 %). EU:n tuontiriippuvuus luonnongrafiitista on noin 97 %.

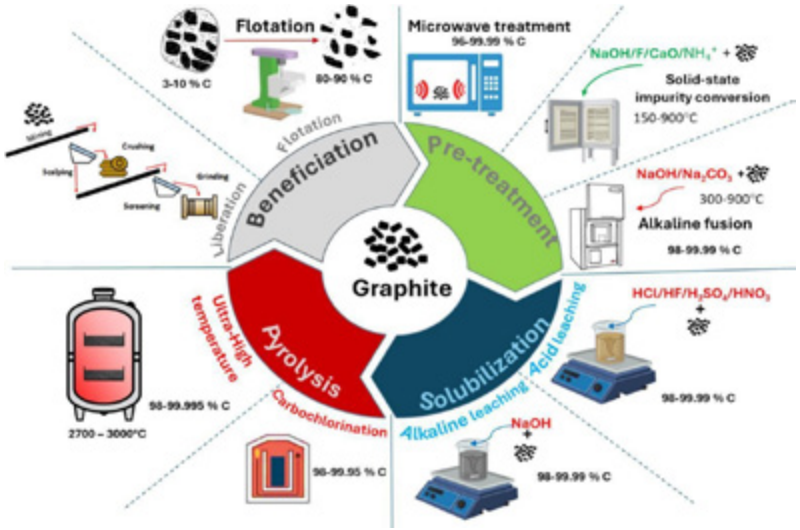
Grafiittia jalostetaan EU:ssa erityyppisiin teollisiin materiaaleihin varsin runsaasti. Erityisen huomionarvoista on se, että EU on lähes täysin riippuvainen Kiinan akkuanodimateriaalin tuonnista, sillä unionin oma tuotanto on vasta käynnistymässä. Kiina on käytännössä 10–15 vuotta edellä anodivalmiin grafiitin ja yleensä akkukennojen valmistuksessa (Fastmarkets 2023). Tästä syystä esimerkiksi Hebestreit (2021) mukaan luonnongrafiitin saatavuutta EU:ssa olisi kehitettävä lisäämällä investointeja koko arvoketjuun, myös kohdistamalla tukia uusien esiintymien etsintään. Tämän lisäksi olisi nopeutettava lupamenettelyä kaivosten avaamiseksi.

EU:n oman tuotannon tavoitteeksi on ilmoitettu vähintään 10 %, mikä olisi nykyisellä kysynnällä noin 10 000 tn vuodessa. Lisäksi EU:n 23. toukokuuta 2024 voimaan tulleen kriittisten raaka-aineiden asetuksen (Euroopan komissio 2024) mukaan tulisi oman jalostuksen kattaa 40 % kulutuksesta. Tilanne on erityisen huolestuttava akkugrafiitin osalta, vaikka EU:ssa on useita hankkeita meneillään anodimateriaalin valmistamiseksi. Raaka-aineena on tarkoitus käyttää pääasiassa synteettistä grafiittia. Luonnongrafiittia

on saatavilla muun muassa Norjan (Skaland) ja Ruotsin varannoista (Vittangi) (IPCEI 2024).

2.3.3 Jalostus

Luonnongrafiitin jalostusprosessi sisältää rikastuksen, puhdistuksen ja tuotevalmistuksen. Rikastukseen kuuluvat louheen murskaus, jauhatus, vaahdotus, kuivaus ja seulonta. Puhdistus lähes 100-prosenttiseksi grafiitiksi tehdään kemiallisesti ja termisesti (Kuva 5). Tuotevalmistus anodiksi sisältää mikronisoinnin, pallotuksen ja partikkelien päällystämisen orgaanisella hiilikerroksella ja hiilipinnan termisen käsittelyn sähköä johtavaksi 1000 °C:n lämpötilassa.



Kuva 5. Grafiitin rikastus ja puhdistus Merchichi ym. 2026 mukaan.

Jauhatuksen (liberation) ja vaahdotuksen (flotation) jälkeen rikaste puhdistetaan liuottamalla, alkalipaahto- ja happoliuotusmenetelmällä (alkaline baking and acid leaching). Puhdistusta on mahdollisuus jatkaa lähes 100 %:n grafiittipitoisuuteen termisellä käsittelyllä (pyrolysis).

Murskaus ja jauhatus ovat grafiitin rikastuksen ensimmäiset työvaiheet. Erilaisilla murskaimilla ja kuula- ja tankojauhimilla tavoitellaan saada mahdollisimman suuri osa grafiitista irtoamaan muista mineraaleista puhtaina suomuina säilyttäen samalla ne mahdollisimman kookkaina. Jauhatus ja rikastus tehdään useassa vaiheessa tavoitteena saada talteen karkeimmat suomukoot ennen lopulliseen vaahdotushienouteen työstämistä. Puhtaat suomut seulotaan eri jakeiksi ja ovat myytävissä sellaisenaan asiakkaalle. Hinta on sitä korkeampi, mitä suurempi on raekoko (Taulukko 1).

Taulukko 1. Suomukokojen tonnihintoja grafiittirikasteille (Merchichi ym. 2026).

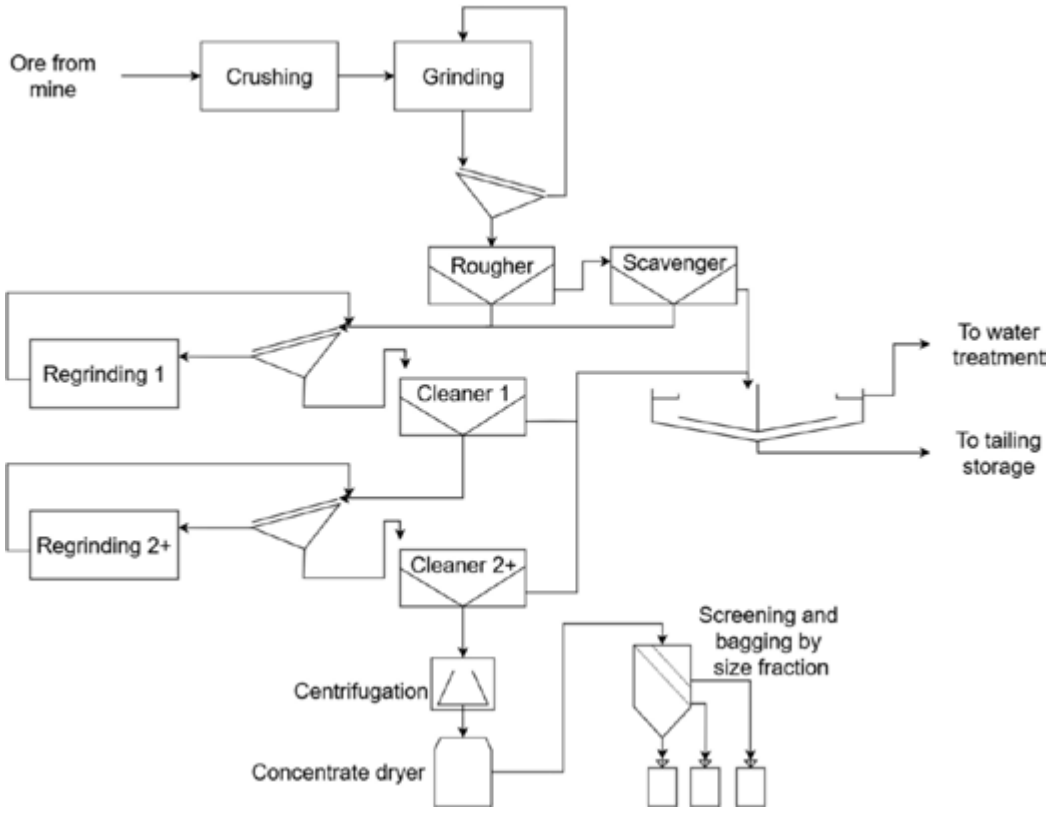
mesh	µm	US$/t
+32XXL	>500	2300
+50XL	>300	1750
+80 suuri suomuinen	>180	1400
+100 keskimääräinen	>149	1200
+150 pieni	>105	800
-150 hieno	<105	500

Jauhatuksessa pyritään aluksi karkeaan raekokoon, joka on 80-prosenttisesti pienempää kuin 250–700 µm (P80-arvo). Kuula- ja tankomyllyjen sijaan suositaan korkeapainejauhatusvalssien (HPGR) tai stirring mill -jauhimien käyttöä. Korkeapainevalsseilla saadaan partikkeleihin runsaasti mikrohalkeamia, mikä parantaa arvomineraalien irtoamista muista mineraaleis-

ta. Näistä taas hiertämällä materiaalia työstävää stirring-menetelmää käytetään useimmiten hienojauhatuksessa. Kuulamyllyssä on mahdollisuus käyttää keraamisia kuulia lisäämään grafiitin irtoamista kiviaineksesta ja säästämään karkeampia suomuja rikkoutumasta. Myös hidasnopeuksien kuulamyllyjauhatus lisää grafiitin irtoamista epäpuhtauksista (Merchichi ym. 2026). Kaavio rikastusprosessin etenemisestä on kuvassa 6.

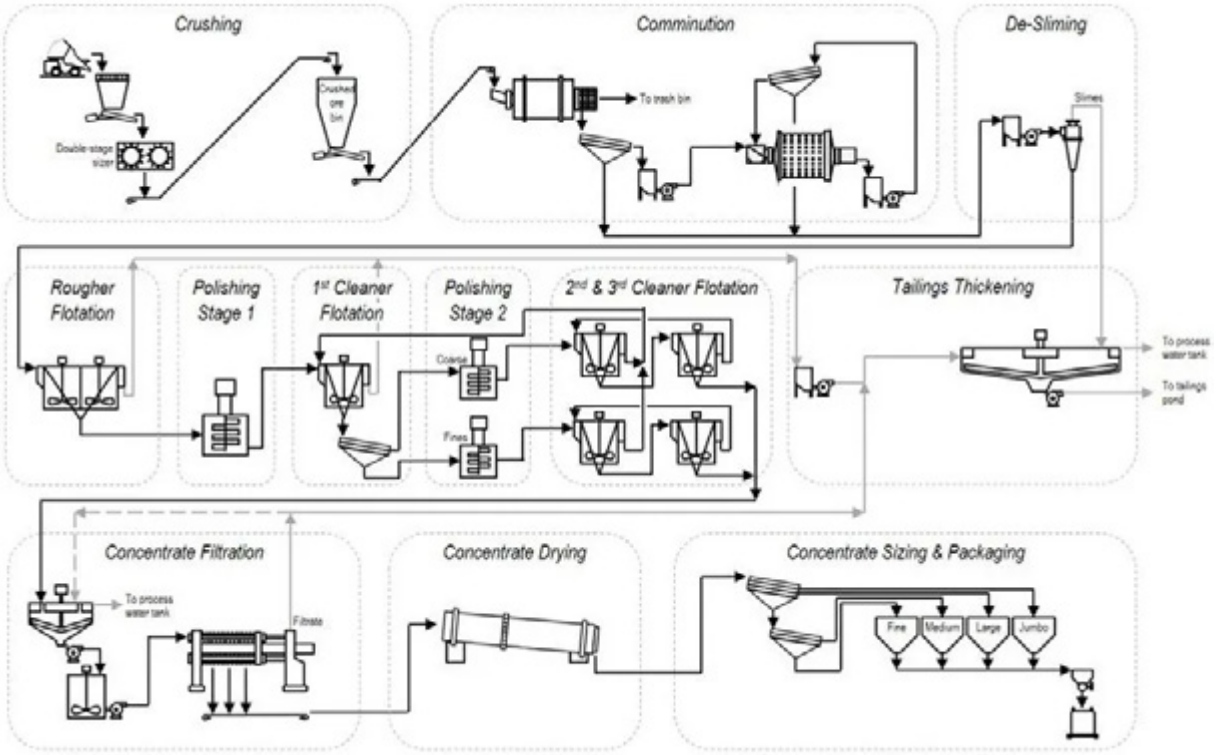
Vaahdotuksella nostetaan syötteen grafiittipitoisuutta 85–95 p-%:iin. Vaikka grafiitti on luonnostaan vettä hylkivä mineraali (hydrofobinen), sen erottamiseen vettä puoleensa vetävistä mineraaleista (hydrofiilinen) käytetään nostajana kerosiinia tai dieselöljyä. Tyypillinen annostelu on 200–600 g/tn. Lietteen pH säädetään soodalla (Na_2CO_3) hieman emäksiseksi (pH-arvo 7–9). Yleisimmin käytetty vaahdote on metyyli-isobutyyli-karbinoli (MIBC). Vaahdotusprosessia on mahdollisuus muunnella muun muassa pienentämällä kiintoaineen määrää vaahdotettavassa suspensiossa (Merchichi ym. 2026).

Rikastuksessa haluttuun partikkelikokoon jauhettu malmi lietetään veteen, minkä jälkeen vesi-kiintoainesseos johdetaan karkeavaahdotukseen. Tätä seuraavalla ripekennolla (Scavenger flotation cell) erotetaan karkeasta rikastushiekasta hyödynnettävä aines. Rikastushiekka jatkaa selkeyttimeen ja hyödynnettävä osa lisäjauhatukseen ja kertausvaahdotukseen (cleaner cell). Kertausvaahdotusten välillä rikastetta jauhetaan pienempään partikkelikokoon grafiitin saannon lisäämiseksi (Merchichi ym. 2026).

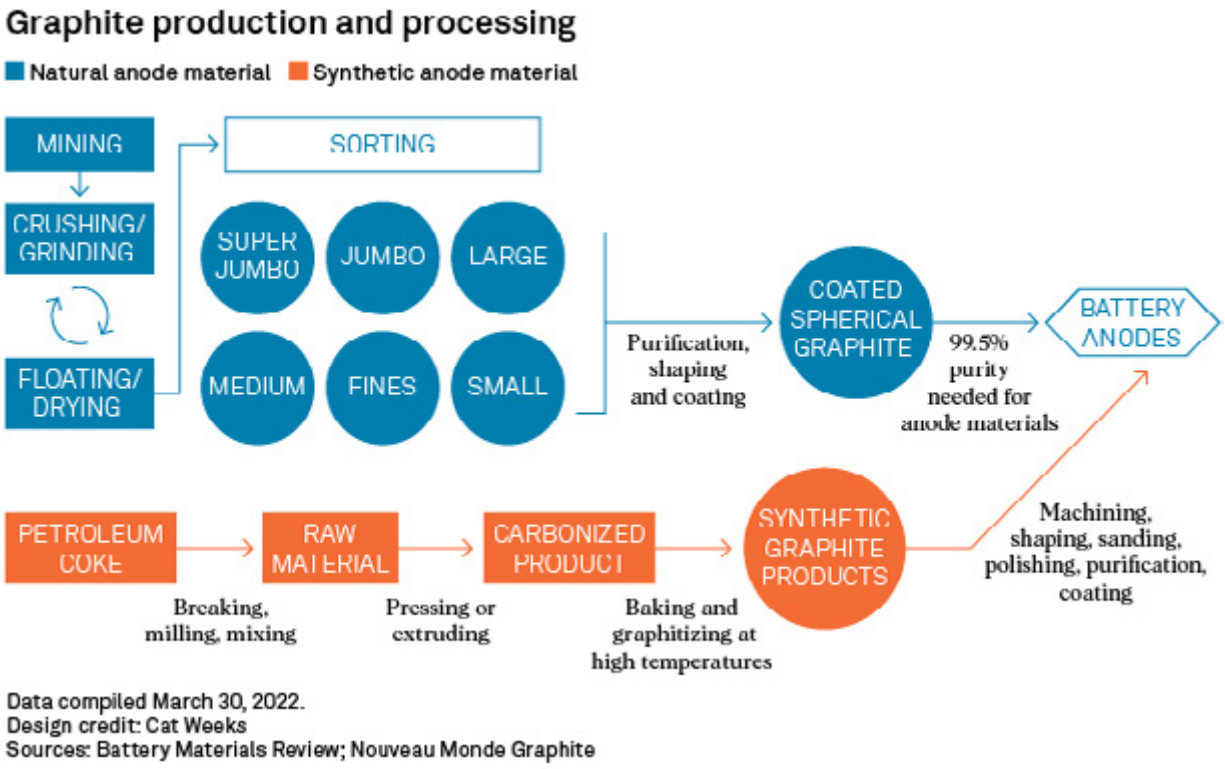


Kuva 6. Rikastuskaavio lisäjauhatuksista ennen kertauksia (Merchichi ym. 2026).

Rikastuksessa otetaan talteen kaikki kokojakeet, joita jauhatusten jälkeen on saatavilla. On kuitenkin huomioitava se, että mitä pitemmälle malmia jauhetaan, sitä hienommaksi grafiittisuomut rikkoutuvat (Kuva 7). Vaahdotuksen jälkeen rikaste kuivataan ja seulotaan raekokoluokkiin. Hienofraktio pelletöidään. Pallotus tehdään tarvittaessa erityisillä impaktimyllyillä. Rikasteen puhdistus muusta mineraaliaineksesta (3–5 p-%) tehdään kemiallisesti (alkalipaahto ja happoliuotus tai vetyfluorihapolla käsittely). Kuvassa 8 nähdään luonnon- ja synteettisen grafiitin tuotantoprosessin päävaiheet.

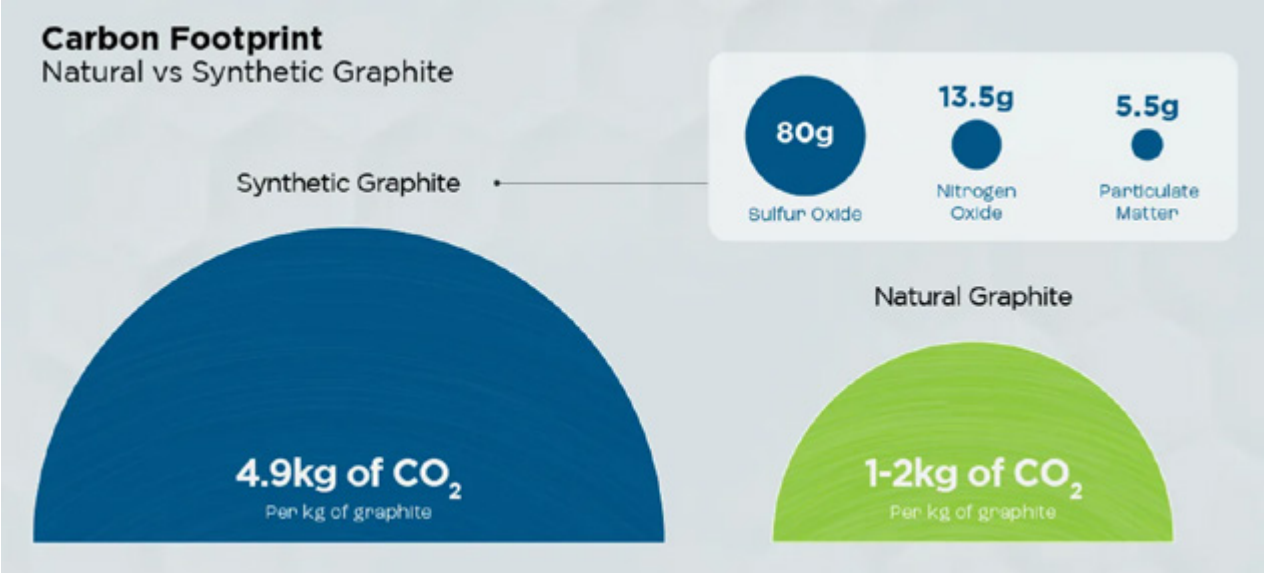


Kuva 7. Esimerkki grafiitin rikastamisesta, prosessikaavio (AMC Consultants 2025).



Kuva 8. Kaavio anodigrafiitin valmistuksesta – luonnongrafiitti ja synteettinen grafiitti (Intercalation Station 2024).

Hiilijalanjälki on merkittävästi pienempi luonnongrafiitilla kuin synteettisellä grafiitilla (Kuva 9). Synteettisen grafiitin CO_2-päästöt syntyvät sekä raaka-aineena käytettävän öljyteollisuuden jätteen, petrokoksin, kalsinoinnista että itse grafiitin valmistamisesta korkeassa kuumuudessa. Petrokoksin kalsinoinnin yhteydessä muodostuu myös metalli- ja rikkidioksidipäästöjä (EIP 2024).



Kuva 9. Hiilidioksidipäästöt synteettiselle (4,9 kg CO_2/kg tuotetta) ja luonnongrafiitille (1–2 kg CO_2/kg). (Intercalation Station 2024).

2.3.4 Rikasteen puhdistus

Rikasteen grafiittipitoisuutta on yleensä lisättävä ennen loppukäyttöä. Useissa sovelluksissa epäpuhtaudet on saatava alle 500 mg/kg (grafiittipitoisuus 99,95 p-% C). Vastaavasti korkean vaatimuksen tuotteissa pitoisuus on nostettava lähes 100 %:iin (99,99 p-% C). Kemiallisen puhdistuksen menetelmistä alkalipaahto- ja happoliuotuskäsittely (NaOH+ H_2SO_4) on yleistynyt. Kiinassa grafiittirikasteiden epäpuhtaudet on perinteisesti liuotettu pois vetyfluorihapolla (HF), esimerkiksi huippupuhtaan akkuanodin valmistuksessa. Muita puhdistusmenetelmiä ovat kuumaklooraus ja terminen käsittely.

Alkalipaahtomenetelmässä puhdistaminen aloitetaan sekoittamalla rikasteeseen natriumhydroksidia (NaOH). Seosta pidetään uunissa tunnin verran noin 250 °C:n lämpötilassa. Tätä käsittelyvaihetta seuraa vesipesu ja happoliuotus 10-prosenttisella rikkihappoliuoksella (H_2SO_4). Kyseisellä prosessilla rikasteen hiilipitoisuus 87–88 p-% voidaan puhdistaa noin 99,4 p-%:iin. Menetelmällä saadaan vähennettyä sekä silikaattien että sulfidisten mineraalien pitoisuuksia (Lu & Forssberg 2002). Kemiallisessa reaktiossa silikaateista muodostuu natriumhydroksidin kanssa vesi- ja happoliukoisia suoloja. Nämä epäpuhtaudet poistetaan vesihuuhtelulla. Alkalipaahdolle refraktoriset mineraalit, kuten metallioksidit, reagoivat hapon kanssa ja muuttuvat liukoisiksi suoloiksi. Nämä epäpuhtaudet huudellaan myös pois vedellä (Xinhai 2020).

Vetyfluorihapolla (HF) puhdistaminen soveltuu pääasiassa korkean hiilipitoisuuden rikasteille. Grafiitilla on hyvä haponkestävyys, myös fluorivetyhapon kestävyys. Voimakkaan hapon vaikutuksesta silikaateista muodostuu vesiliukoisia suoloja, tietyssä lämpötilassa tapahtuneen reaktion jälkeen. Metalli-ionien (Ca, Mg ja Fe) saostumisen välttämiseksi fluorivetyhappoon lisätään usein pieni määrä laimennettua rikkihappoa, laimennettua suolahappoa tai laimennettua typpihappoa. Happoliuotuksen jälkeen epäpuhtaudet poistetaan vesipesulla (Xinhai 2020).

Vetyfluorihappo on tehokas liuottamaan mineraaliset epäpuhtaudet (metallien suolat) grafiitista, lukuun ottamatta kalsiumia, joka voidaan poistaa suolahappokäsittelyllä (HCl) ennen varsinaista HF-liuotusta (Kamal 2024). Happoliuotus on tarkkaan kontrolloitua ja tehdään useassa vaiheessa. Optimaaliset liuotusolosuhteet ovat 20 % HCl + 4 % HF-happojen pitoisuudet, 85 °C:n liuotuslämpötila ja 4 tunnin liuotus. Fluorivetyhapon (HF) ja suolahapon (HCl) lisäksi voidaan käyttää myös typpihappoa (HNO_3). Toisaalta korkeisiin hiilipitoisuuksiin (94,71 %:sta 99,68 %:iin) päästään happo-emäs-happo (H_2SO_4/H_2O_2-NaOH-HCl) -kemiallisella puhdistuksella. Lisä HF-liuotuksella hiilipitoisuus saadaan vielä nostettua 99,72 %:iin (Zdnaturalgraphite 2025).

Grafiittia puhdistetaan myös kuumaklooraauksella ja termisesti. Korkean lämpötilan kloorauspasutuksessa mineraalisista epäpuhtauksista muodostuvat oksidit (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO jne.) reagoivat kloorin (Cl_2) kanssa haihtuviksi kom-

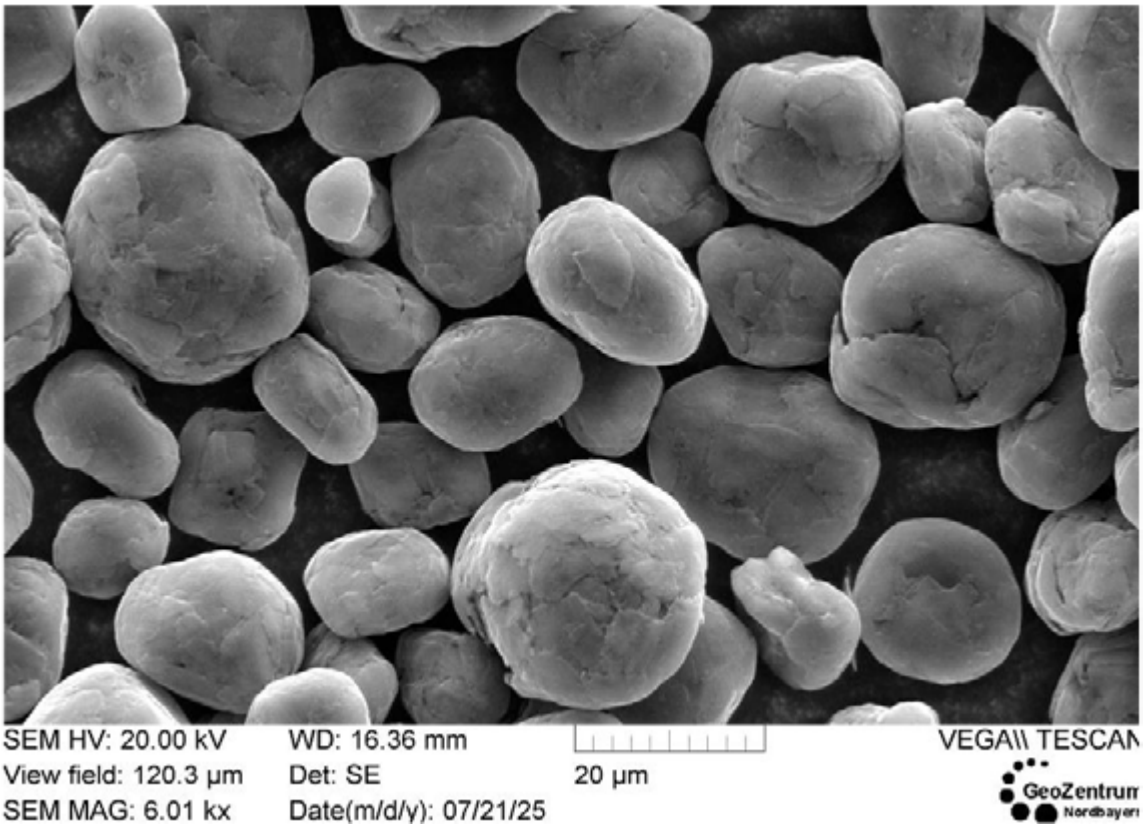
ponenteiksi. Tällä menetelmällä saadaan erittäin puhdasta grafiittia. Termisessä käsittelyssä pelkistävässä atmosfäärissä grafiittirikaste kuumennetaan yli 2700 °C:een, jolloin epäpuhtautena esiintyvät mineraalit hajoavat kaasumaiseen muotoon ja poistetaan prosessista (Xinhai 2020). Tälläkin menetelmällä rikasteesta tai tuotteesta saadaan erittäin puhdasta (99,99 p-% C).

2.3.5 Tuotevalmistus

Grafiittirikaste prosessoidaan käyttötarpeen mukaan esimerkiksi pallomaiseen muotoon tai laajentuvaksi grafiitiksi tai se mikronisoidaan. Pallotettua grafiittia käytetään akkuanodeihin, laajentuvaa grafiittia esimerkiksi palontorjuntaan ja mikrosuomuista grafiittia muun muassa voiteluaineissa ja antistaattisena materiaalina. Pallotetulle grafiitille pyritään saamaan erittäin kapea partikkelikoon jakauma lisäämään anodin energiatiheyttä (massaa pinta-alalle). Valmistamiseen käytetään sekä luonnon- että synteettistä grafiittia. Laajentuvan grafiitin tuotteisiin käytetään yleensä luonnongrafiittia. Suomukoko vaihtelee tuotteen mukaan kookkaasta suomukoosta pienisuomuisiin materiaaleihin. Grafiitti laajenee enimmillään jopa kolminkertaisesti. Mikronisoitua grafiittia valmistetaan sekä luonnon- että synteettisestä grafiitista, ja vaatimuksina tuotteille ovat grafiitin kiteisyys, kapea partikkelikoon jakauma ja puhtaus.

2.3.6 Pallotettu grafiitti

Pallotetun grafiitin valmistus alkaa hienojauhatuksella mahdollisimman tasaisen jakauman partikkelikokoon, jossa tuotteen massasata 50 p-% on alle 15–25 µm (D50). Tähän mikronisointiin käytetään erityistä impaktimyllyä. Halutuun partikkelikokoon jauhetulle rikasteelle tehdään seuraavaksi varsinainen pallotus (Kuva 10). Pallottamisessa pyritään partikkelien korkeaan pyöristyneisyyteen, yli 85 %:iin (esimerkiksi lyhyimmän lävistäjän mitan suhde pisimpään). Partikkelien muotoa pyritään edelleen parantamaan niin, että pyöristyneisyys nousee yli 90 %:iin. Anodivalmiin grafiitin syötteenä käytetään raekooltaan alle 100 meshin rikastetta (< 149 µm), jonka hiilipitoisuus on vähintään 95 % (niin kutsuttu 195-rikaste). Mekaanisen työstön jälkeen pallotettu grafiitti puhdistetaan kemiallisesti akkukäytön vaatimuksen mukaiseen hiilipitoisuuteen, vähintään 99,95 % C.



Kuva 10. SEM-kuva 20 µm pallotettua Siikalatvan grafiittia (Leinonen 2026).

Pallomaisella muodolla ja kapealla partikkelikoon jakaumalla lisätään grafiittianodin energiatiheyttä akkukäytössä. Pakkautumistiheyttä mitataan TAP Density -arvolla ja se kasvaa optimaaliselle muodolle ja jakaumalle lähes lukuarvoon 1. Menetelmässä partikkelit tiivistetään mekaanisesti ennen irtotiheyden mittaamista.

Pallotetun tuotteen saanto jää tyypillisesti vain 30–50 %:iin syötteen massasta. Erityisillä myllyillä partikkeleja pyöristävässä prosessissa merkittävä osa grafiittisuomuista jauhautuu hienojakoiseksi pölyksi ja poistetaan laitteesta. Kehittyneemmillä laitteilla päästään jopa 80 %:n saantoon. Itse pallottamiseen menee vähemmän aikaa (5–15 minuuttia) verrattuna mikronisointiin (15–30 minuuttia). Tuotteen hiukkaskoon säätämiseen käytetään ilmaluokitinta, jotta optimaaliselle D50-alueelle saadaan mahdollisimman kapea 16–20 µm:n raekokoon jakauma (Zdnaturalgraphite 2025).

Anodimateriaalin sähkökemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia parannetaan pinnoittamalla pallomaiset partikkelit orgaanisella hiilellä. Pinnoittaminen vähentää käytönaikaista SEI:n (solid electrolyte interphase) muodostumista (Oka ym. 2022). Hiilikerroksella hidastetaan myös grafiittipallosten eroosiota, joka aiheutuu varaus-purkusyklien tilavuuden muutoksista. Kerroksen paksuus on yleensä 2–5 nm. Orgaanisesta hiilestä saadaan sähköä johtavaa korkeassa lämpötilassa 900–1200 °C. Valmiista materiaalista poistetaan vielä magneettiset mineraalit ja partikkelikoko seulotaan kapealle jakaumalle D50 16–20 µm ennen tuotteen pakkaamista.

Hiilikerroksen valmistamiseen käytetään esimerkiksi neulakoksia ja pikeä. Neulakoksi on ensiluokkainen, erittäin kiteinen hiilimateriaali, jolla on kuituinen ja neulamainen rakenne. Neulakoksi on valmistettu tietyistä öljyjäämistä tai kivihiilitervasta. Sitä arvostetaan sen alhaisen lämpölaajenemisen ja korkean sähkönjohtavuuden vuoksi. Neulakoksia hyödynnetään myös teräksen valmistuksessa käytettävissä valokaarikaariuunien grafiittielektrodeissa ja myös yhä enemmän Li-ioniakkujen grafiittianodeissa. Pallotetun grafiitin hiilestyksessä korkea lämpötila muuttaa orgaanisen hiilen stabiiliksi suojakerrokseksi. Hiiletyskäsittely tehdään kontrolloidussa 900–1200 °C:n lämpötilassa inertissä atmosfäärissä (typpi- tai argonkaasu), jolloin orgaaniset hiiliketjut hajoavat ja hiiliatomit järjestäytyvät vähitellen muodostaen pysyviä amorfisia rakenteita. Korkean lämpötilan hiiletyksellä orgaanisesta hiilestä saadaan täysin sähköä johtavaa, ja samalla itse pallotettu grafiitti säilyy muuttumattomana (Zdnaturalgraphite 2025).

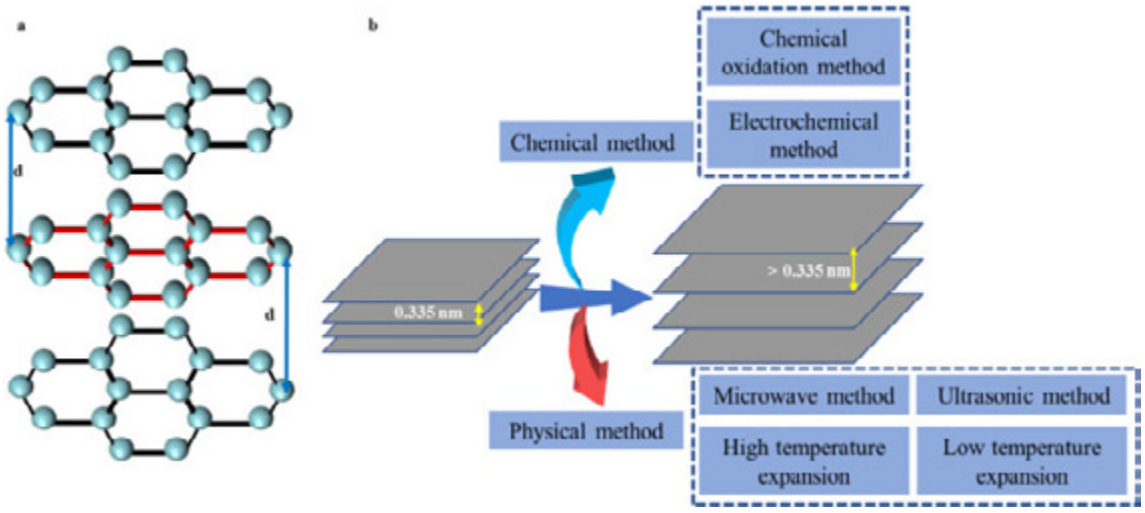
Magneettisten epäpuhtauksien, pääasiassa raudan ja sen yhdisteiden poistamiseksi tuotteesta käytetään voimakasta magneettikenttää (> 1 T, Tesla). Vaikka magneettista ainesta on yleensä hyvin vähän, metallijäämät voivat aiheuttaa ongelmia akkujen pitkäaikaisessa käytössä. Magneettisia epäpuhtauksia tulisi olla alle 50 ppm, jotta akku toimisi luotettavasti ja vakaasti. Metallijäämiä esiintyy yleisimmin kiertomateriaaleissa.

2.3.7 Laajennettu grafiitti

Grafiitti on ympäristöystävällinen palonsuojamateriaali. Laajentuvan grafiitin valmisteita on mahdollista käyttää myös Li-ioni- ja uuden teknologian Na-ioni- suola-akkujen anodeissa. Joutuessaan alttiiksi tulipalon aiheuttamalle kuumuudelle palonsuoja-aineeksi käsitelty grafiittipinnoite laajenee moninkertaisesti ja muodostaa paisuvan, huokoisen kerroksen materiaalin pinnalle. Tämä hidastaa palon leviämistä ja ehkäisee samalla savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Vastaavasti akkuteknologioissa laajentuva grafiitti mahdollistaa varautuneiden ionien helpon liikkumisen ja suuremman varauskapasiteetin verrattuna käsittelemättömään grafiittiin. Hiiliverkkopintojen suurempi etäisyys laajentuneessa grafiitissa mahdollistaa myös halkaisijaltaan litiumia suuremman natriumin käyttämisen elektrolyytissä. Na-ioni ei kulkeudu helposti käsittelemättömän grafiitin rakenteeseen, ja tästä syystä Na-akkujen anodeissa käytetään myös huokoista kovahiiltä.

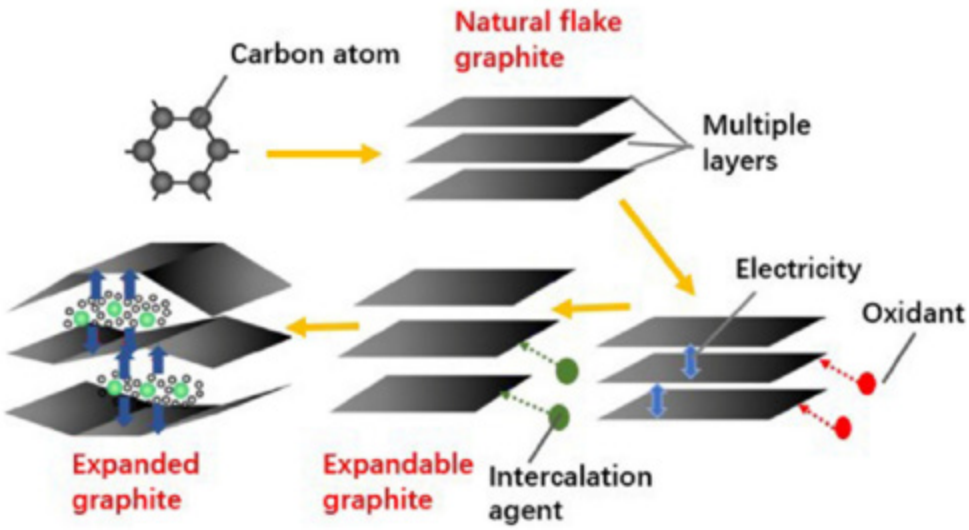
Laajentuvan grafiitin valmistusmenetelmät ovat joko fysikaalisia tai kemiallisia. Kemiallisiin menetelmiin kuuluvat pääasiassa sähkökemialliset ja kemialliset hapetusmenetelmät. Näistä sähkökemiallinen valmistustapa on nopea, myös ympäristöystävällisempi kuin voimakkaiden hapettimien käyttö kemiallisesti. Fysikaalisiin menetelmiin kuuluvat pääasiassa mikroaalto- ja ultraäänimenetelmä sekä matalan/korkean lämpötilan lämpölaajenemismenetelmä (Kuvat 11 ja 12). Matalan/korkean lämpötilan käyttö grafiitin laajentamiseen on yleisimmin käytetty fysikaalinen menetelmä. Tämä menetelmä on varsin energiaintensiivinen. Toisaalta inertin kaasun käytössä on myös haasteita ja laitteiden on kestettävä korkean

lämpötilan lisäksi korkeaa painetta (Zhang ym. 2023). Kemiallisella hapetuksella laajentuvan grafiitin valmistaminen sisältää kaksi päävaihetta - hapetuksen ja lämpöön reagoivien aineiden imeytymisen rakenteeseen (interkalaatio). Hapetus tehdään joko vetyperoksidilla (H_2O_2) tai kaliumpermanganaatilla ($KMnO_4$). Kun grafiittisuomut on hapetettu, lisätään rikkihappo miedosti lämmitettyyn grafiittiin (40°C). Tämän jälkeen tuote pestään hieman happamalla vedellä (pH on 5–7). Materiaali kuivataan lopuksi 600°C:n lämpötilassa (East Carbon 2024).



Kuva 11. Laajentuvan grafiitin valmistusmenetelmät (Zhang ym. 2023).

Laajentuvan grafiitin puhtausaste vaihtelee 90 %:sta 99,99 %:iin. Suomukoko vaihtelee 500 µm:sta alle 44 µm:iin. Laajentumisen suuruus vaihtelee merkittävästi raekoon ja grafiittityypin mukaan 100–300 %:iin. Käyttösovelluksia ovat palonestoaineiden lisäksi kemianteollisuudessa muun muassa maalien valmistus. Metallurgiassa laajentuvaa grafiittia käytetään valumuottien pinnoittamisessa ja eristeenä. Laajentuvasta grafiitista valmistettuja kalvoja käytetään vaativien kohteiden tiivistämisessä, esimerkiksi kemianteollisuudessa (East Carbon 2024). Palonestoaineissa grafiitti muodostaa palaessaan hiiliesteen tulen leviämisen esteeksi. Tämä perustuu siihen, että kuumentuessaan lisätyt molekyylit luovat kaasuuntuessaan suuren paineen (rikkihappo hajoaa vesihöyryksi ja rikkidioksidiksi), joka taas aiheuttaa kerrosten erottumisen ja grafiitin moninkertaisen laajentumisen (Kmeťová ym. 2022).



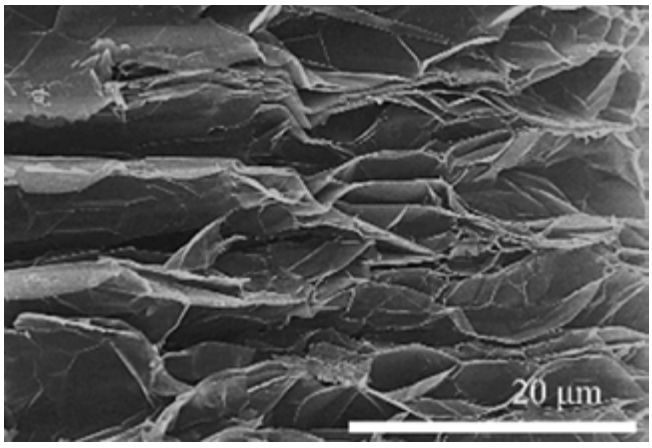
Kuva 12. Laajentuvan grafiitin valmistuksen päävaiheet (East Carbon 2024).

Koska grafiitti on stabiili aine normaaliolosuhteissa, sen laajenemisen ominaisuus on erittäin tärkeä palonsuoja-aineiden formulaation suunnittelussa. Kun laajentuvaa grafiittia käytetään palonsuoja-aineena, sen laajenemiskyky ja terminen stabiilius ovat erittäin tärkeitä parametreja. Lämpöstabiilisuuden suhteen laajentuva grafiitti voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: 1) matalan lämpötilan (80–150 °C), 2) keskilämpötilan (180–240 °C) ja 3) korkean lämpötilan palonsuojatuotteisiin (250–300 °C). Lämpöön reagoidessaan grafiitti laajenee muodostaen huokoisen fyysisen esteen suojattavan materiaalin ja liekin välille. Suojakerroksen muodostumisen aikana hiilen sisään muodostuu tyhjiä tiloja, jotka mahdollistavat ilmavirran, mikä sekä viilentää paloympäristöä että samalla pidentää suojatun, esimerkiksi selluloosamateriaalin syttymisaikaa (Mazela ym. 2020).

Prosessoitu grafiitti laajenee yleensä lämpötila-alueella 140–230 °C, kun taas laajenemisnopeus vaihtelee hiilipitoisuuden, suomukoon ja reaktio-olosuhteiden mukaan 100–400 ml/g. Grafiitin kerroksiin sekoittuneet paisutteet reagoivat kuumuuteen, kun stabiilisuuden kriittinen lämpötila saavutetaan. Ne muodostavat termisesti vakaan hiiltyneen jäännöksen, jolla on tyypillisesti venytetyn haitarin kaltainen rakenne. Puumateriaali on yleinen rakentamisessa, mutta niiden palonsuojauksessa on haasteita. Esimerkiksi tammi on tiivistä ja luokitellaan erittäin vaikeasti kyllästettäväksi palonsuoja-aineilla (Kmeťová ym. 2022). Huokoisella grafiitilla saadaan eristävä kerros, joka estää lämmön siirtymisen ja syttyvien kaasujen virtauksen (Kuva 13).

Uusissa akkuteknologioissa elektrodimateriaalien lämmönjohtavuudella on tärkeä vaikutus akun kapasiteetin parantamiseen ja akun käyttöiän pidentämiseen. Metalliyhdisteillä on erinomaiset lämmönjohtavuusominaisuudet, ja niitä voidaan käyttää laajentuvan grafiitin kanssa anodimateriaalien valmistamiseen. Metallien, epämetallien ja metallioksidien yhdistelmillä laajentuvan grafiitin kanssa on saavutettu tavalliseen grafiittiin verrattuna merkittävästi korkeampia varauskapasiteetteja. Komposiitin tilavuus kuitenkin muuttuu merkittävästi latauksen ja purkauksen aikana, mikä taas aiheuttaa huonon syklivakauvden ja nopean kapasiteetin heikkenemisen. Tämä rajoittaa vielä ko. metalleilla 'doupatun' grafiitin käyttöä akkuteknologioissa. Toisaalta grafiitin hiilipinnoite voi estää nanorakenteiden merkittävän tilavuuden laajenemisen akkua käytettäessä (Li+-ionien sisään ja pois virtaaminen). Hiilikerros puskuroi metallin tai metallioksidien ja elektrolyytin välisen suoran kosketuksen ja lisää samalla sekä elektrodin johtavuutta että anodin sähkökemiallista suorituskykyä. Vaikka laajentuva grafiitti mahdollistaa nopeamman ionien liikkeen hiilikerrosten sisään, laajentuvan grafiittimateriaalin matala tiheys verrattuna käsittelemättömään grafiittiin rajoittaa vielä niiden käyttöä erityisesti elektrodien valmistuksessa (Zhang ym. 2023).

Useimmissa tapauksissa grafiitin ominaisuuksien arviointi keskittyy vain ominaispainoon. Tutkimusten mukaan laajentuvan grafiitin ja metallien yhdistelmiä voidaan hyödyntää myös energian varastointijärjestelmissä, jotka perustuvat muihin kuin litiumtekniikkaan, kuten sinkkiin, natriumiin, magnesiumiin ja kaliumiin (Zhang ym. 2023). Laajennetun rakenteen lisäksi grafiitin "huokoisuutta" ja ionien kulkeutumista voidaan lisätä etsaamalla kerroksiin esimerkiksi voimakkaasti syövyttävällä kaliumhydroksidilla (KOH) koloja korkeassa lämpötilassa 850°C (He ym. 2025).

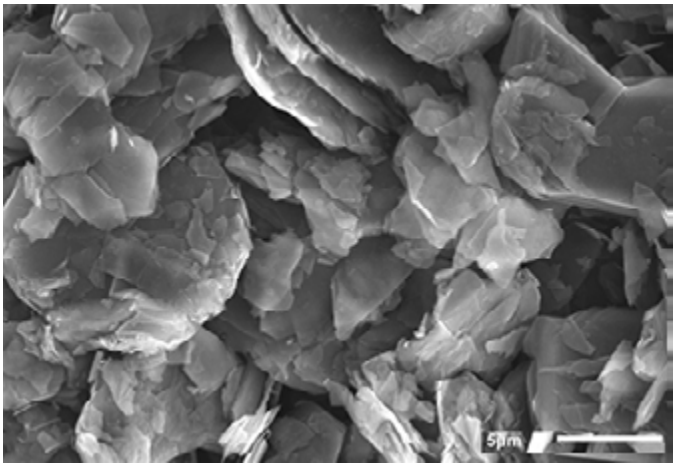


Kuva 13. SEM-kuva laajentuvasta grafiitista (Sun ym. 2023).

2.3.8 Mikronisoitu grafiitti

Mikronisoitua grafiittia käytetään monissa teollisuustuotteissa, mukaan lukien akkujen katodilisäaineet, polymeerit, muovit, liimat, keramiikka, antistaattiset aineet ja erikoisvoiteluaineet (kuivavoiteluaineet) (International Graphite 2025). Merkittävin ajuri mikronisoidun grafiitin kasvavalle kysynnälle on käyttö Li-ioniakkujen anodeissa. Mikronisoitu grafiittijauhe on hienoksi jauhettua kiteistä grafiittia, jonka suomut ovat kooltaan tyypillisesti 1–30 µm. Käytön yleistymisen haasteita ovat korkeat tuotantokustannukset. Mikronisointiprosessi vaatii edistyneitä, monimutkaisia laitteita ja energiaintensiivisiä menetelmiä, mitkä lisäävät merkittävästi tuotantokustannuksia. Vaihtoehtoisten materiaalien, kuten hiilimustan ja grafeenin, tulo markkinoille luo kilpailua ja saattaa vähentää luonnongrafiitin kysyntää. Korvaavat materiaalit tarjoavat samanlaisia ominaisuuksia, kuten johtavuuden ja voitelevuuden, mutta halvemmalla tai lisäeduilla, esimerkiksi paremman suorituskyvyn tietyissä sovelluksissa. Hiilimustaa käytetään täyteaineena kumissa, maaleissa ja pinnoitteissa, ja se on edullisempi vaihtoehto kuin mikronisoitu grafiitti (Data Bridge Market Research 2025).

Mikronisoidun grafiitin valmistaminen ei poikkea tavanomaisesta grafiitin rikastuksesta, joskin jauhamiseen tarvitaan erityisiä laitteita. Ennen grafiitin vaahdottamista malmi murskataan ja jauhetaan kuula- ja tankomyllyillä. Partikkeleihin on mahdollista saada ”pyöristyneempää” muotoa vähemmän iskevällä tärylevymyllyllä (Ulusoy ym. 2024). Grafiitin liberaatiota on mahdollista lisätä rikkomatta suomuja käyttämällä hiertäviä jauhimia, kuten attrition mill. Perinteisillä myllyillä tuotetaan vaahdotusprosessin vaatimaa 500–100 µm:n partikkelikokoa, kun taas rikasteen hienojauhatukseen on käytettävä lajittimella varustettuja ilmavirralla jauhavia myllyjä. Niillä pystytään edelleen käsittelemään grafiittirikasteita jauheiksi, joiden hiukkaskokojakauma on 5–25 µm. Ilmajauhimilla on mahdollista jauhaa grafiittia jopa erittäin hienoksi (hiukkaskoko 1–5 µm). Grafiittijauheet jaetaan markkinoilla partikkelikoon mukaan kolmen raekoon tuotteisiin (Kuva 14): 1) karkeaan 50–100 mikronin raekokoon, 2) 10–20 µm:n hienorakeiseen grafiittijauheeseen ja 3) alle 10 µm:n erittäin hienon raekoon tuotteisiin (Jinsun Carbon 2024). Tuotteiden keskihinta on alle 10 µm:n raekoossa kolme kertaa korkeampi kuin karkean partikkelikoon jauheilla (3 000–4 000 US$/tn); myös tuotteiden puhtaus vaikuttaa hintaan. Matalan hiilipitoisuuden jauheilla (80–90 % C) tonnihinta on 1 000–2 000 US$, kun taas 99 %:n ja yli hiilipitoisuuksilla hinta on 8 000–12 000 US$ tn:lta.



Kuva 14. Mikronisoitu grafiitti (99,99 p-% C) (Indiamart 2026).

2.3.9 Grafiitin jalostuksen johtavat maat

Kiina on tärkein grafiitin jatkojalostaja ja jalosteiden viejä. Toiminnan dollareissa laskettu volyymi vuonna 2023 oli 314 milj. US$. Tämä vastasi noin 50 % grafiitin maailmankaupasta, 624 milj. US$ (OEC 2023). Kiina tuottaa noin kaksi kolmasosaa (65 %) luonnongrafiitin globaalista volyymistä ja synteettisen grafiitin kysynnästä hieman jopa tätä enemmän (69 %). Pallotetun grafiitin tuotantoa Kiina hallitsee tällä hetkellä täysin (sekä luonnon- että synteettinen grafiitti) ja vastaa myös

100-prosenttisesti kemiallisen puhdistuksen kapasiteetista (Nouveau Monde Graphite 2025).

Kiina ei ainoastaan hallitse grafiitin tuotantoa ja jalostusta, vaan myös valtaosa ajoneuvojen Li-ioniakuista valmistetaan Kiinassa. Etelä-Korea on myös merkittävä grafiittituotteiden valmistaja. Se tuo raakagrafiittia ja vie jalosteita. Etelä-Korealla on myös omaa kaivostoimintaa. Tärkeimpiä maita, josta tuodaan Etelä-Koreaan rikasteita, olivat vuonna 2024 Kiina, Saksa, Japani, Sri Lanka ja Yhdysvallat, kun taas merkittävimmät maat, joihin Etelä-Korea vie jalosteita, olivat Yhdysvallat, Kiina, Vietnam ja Intia (OEC 2024). Japani on Etelä-Korean ohella keskeinen maa, joka ostaa Kiinasta anodivalmistukseen soveltuvaa grafiittia.

Kiina tosin rajoittaa akkulaatuisen valmisteen (sekä luonnongrafiitti että synteettinen grafiitti) vientiä, ja kiinalaiset toimijat ovatkin kärsineet vientilisenssien saamisen hitaudesta, myös korkeista rahtikustannuksista (Eurooppaan ja myös muualle). Tämä kauppapolitiikka aiheuttaa todennäköisesti lyhyellä aikajänteellä viivästyksiä Kiinan ulkopuolella tapahtuvaan akkujen kokoonpanoon, mutta toisaalta se voi pitemmällä aikajänteellä lisätä kilpailevan anodivalmiin grafiitin tuotantoa ja akkupakettien valmistusta muissa maissa. Kysyntä voi siirtyä myös vaihtoehtoisiin materiaaleihin, mikäli niistä löytyy vastaavia ominaisuuksia kuin luonnongrafiitista, esimerkiksi synteettinen grafiitti ja kovahiili (hard carbon). Näistä synteettinen grafiitti onkin Kiinassa lähes syrjäyttänyt luonnongrafiitin käytön akkutuotannossa. Myös useat länsimaihin suunnitteilla olevat anoditehtaat tulisivat käyttämään synteettistä grafiittia (Benchmark 2025). Kovahiilen käyttö lisääntyy muun muassa uuden sukupolven Na-ioni-akuissa (ts. suola-akuissa). Tällä hetkellä niiden varauskapasiteetti ei ole samaa luokkaa verrattuna litiumioniakkuihin (NMC). Pienemmän toimintasäteen vuoksi Na-akkuja käytetäänkin lähinnä vain kaupunkiautoihin, yleensä ajoneuvoihin, joilla liikutaan lyhyitä ajomatkoja.

Kiinan hallinnon kontrolloidessa poliittisin perustein (rajoittaessa) vientiä ovat grafiitin ostajat jo siirtyneet osittain muualle, mikä on osaltaan vaikuttanut hintojen laskuun Kiinassa. Esimerkiksi tammikuussa 2023 maksoi 94 p-% C 100 mesh (149 µm) suomugrafiitti 830 US$/tn ja 99,95 % C, 15 µm:n pallotettu grafiitti 2 650 US$/tn. Vuonna 2024 hinnat olivat huomattavasti alhaisemmat. Verrattaessa vastaavien materiaalien hintoja, 94 % C suomugrafiitin hinta vaihteli 510–538 US$/tn ja pallotettu 99,95 % C 1 900–2 200 US$/tn. Esimerkkinä toimitusten siirtymisestä muihin maihin on Etelä-Korean akkujen valmistaja DA Technologyn aloittamat luonnongrafiitin ostot Vietnamista (tuottaja Graphite Group, VGG). Lisäksi etelä-korealaisen teräsvalmistajan Poscon omistama Posco International ostaa luonnongrafiittia kanadalaiselta NextSourcelta. Samsung SDI, yksi maailman suurimmista litiumakkujen valmistajista, tekee yhteistyötä australialaisen kaivosyhtiön Syrah Resourcesin kanssa ja on aloittanut aktiivisen anodimateriaalin toimitukset Syrahin Vidaliassa Yhdysvalloissa sijaitsevalta tuotantolaitokselta (Pan 2024).

2.4 Markkina

Grafiittitoimialan kokonaisarvo oli 33,83 mrd. US$ vuonna 2024. Toimialan vuosittaiseksi kasvuksi oletetaan 5,23 %, ja näin se saavuttaisi lähes 50,86 mrd. US$ arvon vuoteen 2032 mennessä. Toimialan kokonaisarvosta vuonna 2024 suomugrafiitti vastasi noin 60 %, arvoltaan 20 mrd. US$. Amorfisen grafiitin osuus oli vajaat 25 % (8 mrd. US$), mikä oli vain 40 % suomugrafiitin markkinaosuudesta. Sekä palagrafiitin että orgaanisesta aineksesta valmistetun pyrolyyttisen, niin sanotun kovahiilen, markkinaosuudet olivat molemmilla alle 10 % (noin 3 mrd. US$) (Stellar Market Research 2024).

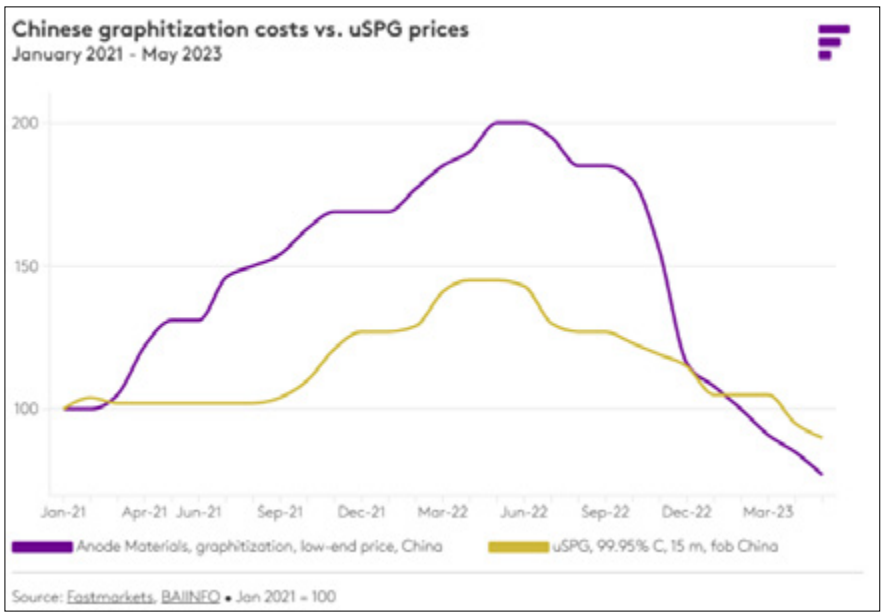
2.4.1 Grafiitin maailmankauppa

Vuonna 2023 luonnongrafiitin maailmanlaajuinen kauppa oli 624 milj. US$. Viimeisten viiden vuoden aikana kauppa on kasvanut 1,34 %:n vuosivauhdilla. Suurimmat viejät vuonna 2023 olivat 1) Kiina 314 milj. US$ (50 %:n osuus 624 milj. US$ globaalista kaupasta), 2) Mosambik 65 milj. US$ (10 %), 3) Madagaskar 38 milj. US$ (6 %) ja 4) Saksa 32 milj. US$ (5 %). Puolestaan suurimmat tuojat olivat 1) Etelä-Korea 109 (17 %) milj. US$, 2) Yhdysvallat 102 milj. US$ (16 %), 3) Japani 77 milj. US$ (12 %) ja 4) Saksa 51 milj. US$ (8 %). Saksan merkittävä viennin volyymi perustuu maahan tuodun grafiitin jatkojalostukseen ja

edelleen myyntiin tuotemarkkinoille ja valmistavalle teollisuudelle. Suomen tuonti vuonna 2023 oli 898 000 US$ ja vienti 253 000 US$ (OEC 2023).

2.4.2 Grafiitin hinta

Euroopan oman akkutuotannon grafiitista merkittävin osa on synteettistä (70–80 %). Tämä vastaa globaalia kysynnän suhdetta luonnongrafiitin ja teollisesti valmistetun grafiitin välillä (26 % luonnongrafiittia ja 74 % synteettistä). Teollisesti valmistetun grafiitin etuna on vähäisempi epäpuhtauksien määrä, mutta toisaalta se on yleensä ollut vähintään 2,5 kertaa kalliimpaa valmistukseen tarvittavan suuren sähköenergian määrän takia. Kiinassa huokea petrokemian jätevirroista saatava raaka-aine ja myös halpa sähköenergia ovat mahdollistaneet huomattavan lisäyksen synteettisen grafiitin tuotantoon ja tämän takia ylitarjonnan markkinoilla, mistä on taas ollut seurauksena erityisen matala hintataso (Kuva15). Tämä puolestaan on lisännyt teollisesti valmistetun grafiitin markkinaosuutta erityisesti kiinalaisissa akuissa. Synteettisen grafiitin matala markkinahinta on painanut alas myös luonnongrafiitin ja siitä valmistetun anodimateriaalin hintoja (Georgiev 2023). Synteettisen anodivalmiin materiaalin keskimääräinen hinta vuonna 2024 oli 4 738 US$ tn:lta ja luonnongrafiitista tehdyn 4 773 US$ tn:lta. Parempilaatuisen synteettisen akkugrafiitin hinta samaan ajankohtaan oli 7 590 US$ tn:lta (Benchmark 2024). Hintapyyntö 94–95 p-% C grafiittirikasteelle Kiinassa oli vuoden 2025 lopulla 409 US$/tn. Pallotetun grafiitin hinta oli kuitenkin lähes nelinkertainen ko. rikasteeseen verrattuna, noin 1 500 US$ tn:lta. Hinta on hieman laskenut puolessatoista vuodessa, ja heinäkuussa 2024 se oli noin 1 800 US$ tn:lta (Price ym. 2026). Samalla jaksolla 94–95-prosenttisen rikasteen hinta on ollut ylimmillään 425 US$ tn:lta ja alimmillaan 350 US$. Laajentuvan grafiitin hinta on 2 000–10 000 US$ tn:lta (laadun mukaan) ja mikronisoidun 3 000–4 700 US$ tn:lta (5 µm, 99,5 p-% C).



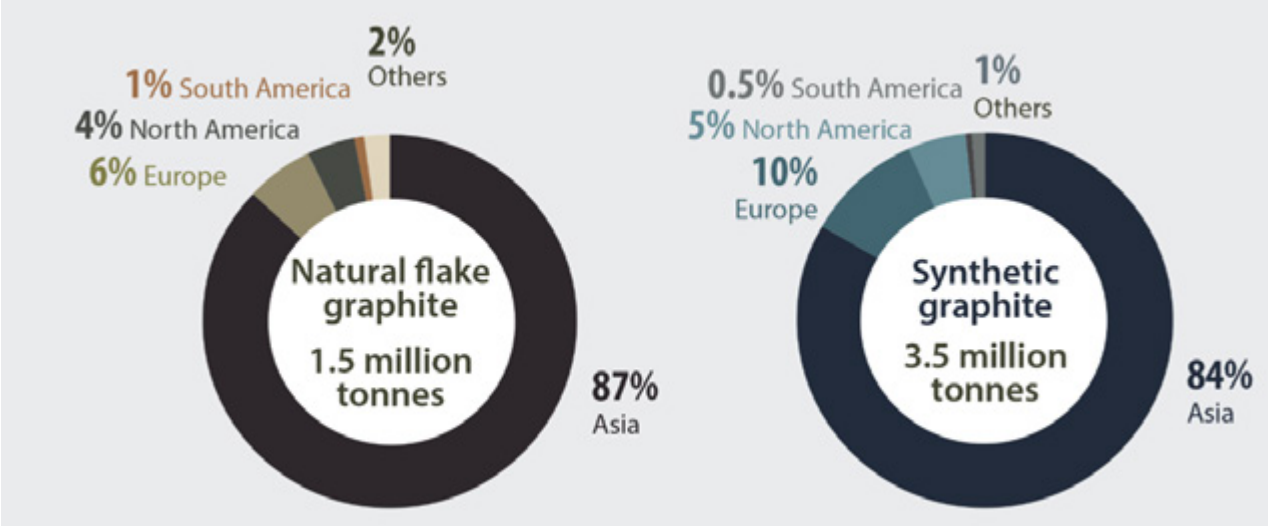
Kuva 15. Synteettisen grafiitin valmistuksen kustannus verrattuna pallotetun luonnongrafiitin kustannukseen, hintoja verrataan vuoteen 2021 (=100). Kuva: Georgiev 2023.

2.4.3 Grafiitti kriittinen raaka-aine

Euroopan unionin kriittisten raaka-aineiden asetuksen (voimassa 23.5.2024 alkaen) mukaan vähintään 10 % EU:n vuosittaisesta 100 000 tn:n grafiittitarpeesta pitäisi olla omaa tuotantoa vuoteen 2030 mennessä (Euroopan komissio 2024). Tämän vaatimukseen täyttämiseen riittäisi yksi kokoluokaltaan Norjan Skalandin noin 10 000 tn vuodessa rikastetta tuottava kaivos (tuote laskettu sisältämään 100 % grafiittia).

Synteettisen grafiitin tuotantoa on käynnistymässä globaalisti, myös EU:ssa. Tällä hetkellä petrokemian jätteistä valmistettu synteettinen grafiitti tuodaan EU:hun lähes 100-prosenttisesti Kiinasta (Ouerghi 2024). On arvioitu, että pelkästään EU:n liikenteen sähköistymiseen tarvitaan vuosittain yli 500 000 tn grafiittia vuoteen

2030 mennessä. Tämä määrä on viisinkertainen nykyiseen kysyntään verrattuna, ja 10 %:n oman tuotannon vaatimuksen täyttämiseksi pitäisi avata vähintään viisi 10 000 tonnin vuosittaiseen rikastetuotantoon yltävää uutta tuotantokohdetta akkutuotannon tarpeisiin, mikäli anodit valmistettaisiin pelkästään luonnongrafiitista. Tosin Euroopan akkutuotannon anodeista valmistetaan tällä hetkellä 70–80 % synteettisestä grafiitista, tai niiden grafiittisekoitteissa pääosa on synteettistä. Aasia kulutti maantieteellisesti 87 % maailmanlaajuisesti hyödynnetystä suomumaisesta luonnongrafiitista vuonna 2023 (1,31 milj. Tn/1,5 milj. tn) (Graphite facts 2023). Tämä merkittävä käytön volyymi kertoo siitä, että tuotevalmistus, varsinkin akkujen tuotanto, sijaitsee valtaosin Kiinassa. Vastaavalla tavalla Aasia, lähinnä Kaukoitä käyttää myös suurimman osan synteettisen grafiitin globaalista tuotannosta, 2,94 milj. tn (84 % kaikesta 3,5 milj. tonnin tuotannosta) (Kuva 16). Lukujen taustalla on se, että Kiina dominoi synteettisen grafiitin tärkeimpien käyttökohteiden, akkujen ja valokaariuunien elektrodien, valmistusta.



Kuva 16. Grafiitin globaali kulutus tyypeittäin ja alueittain, 2023 (Graphite facts 2023).

Grafiitin kysynnän ennustetaan kasvavan EU:ssa vähintään 30 % vuoteen 2033 mennessä. Grafiitin saatavuudessa nojaudutaan täysin Kiinan tuontiin. Vuoden 2023 lopulla Kiinan asettamat vientirajoitteet horjuttivat tätä rajattoman saatavuuden strategiaa. Pitkän tähtäimen raaka-ainehuolto on turvattava omalla synteettisen grafiitin ja luonnongrafiitin tuotannolla ja/tai luonnongrafiitin tuonnilla esimerkiksi Afrikasta (Fastmarkets 2023). EU:n oman luonnongrafiitin tuotannon käynnistymisen ja kasvun hidasteena ovat matalat maailmanmarkkinahinnat suurimman kysynnän rikasteille (akkutuotannon käyttämät raekoot). Vastaavasti synteettisen grafiitin tuotannon kehittämisen pullonkaulana EU:n talousalueella on petrokemian tuotannossa muodostuvien raaka-aineiden niukka saatavuus (neulakoksi, koksihiili ja kivihiilitervapiki). Akkutuotantoon hyödynnettävän grafiitin ja anodivalmiin pallotetun grafiitin huomattava hintojen alas painuminen vuodesta 2023 lähtien ei johdu suoranaisesti luonnongrafiitin ylituotannosta vaan synteettisen grafiitin valmistuksen matalista hinnoista Kiinassa. Tämä on lisännyt merkittävästi synteettisen grafiitin kysyntää ja lähes syrjäyttänyt luonnongrafiitin Kiinassa valmistetuista Li-ioniakuista.

Grafiitti on määritetty läntisillä talousalueilla kriittiseksi mineraaliksi saatavuuden turvaamiseksi, eikä pelkästään akkutuotannon tarpeisiin vaan myös muiden teollisuuden alojen raaka-ainesaatavuuden varmistamiseksi. EU:n alueella grafiitilla on myös strategisen mineraalin merkitys. Luonnongrafiitti tai grafiitti yleensä ei ole korvattavissa muilla mineraaleilla tai materiaaleilla, eikä kysyntää voida kattaa sen kierrätyksellekään. Grafiitin tuotannolla ja jalostuksella on poikkeuksetta aluetaloudellista merkitystä paikallisesti ja myös huomattavaa hyötyä kokonaisille kansantalouksille, varsinkin Afrikan maissa.

Kiinan tuotantokapasiteetin laajennukset keskittyvät synteettiseen grafiittiin, kun taas muu maailma nojaa grafiitin saatavuuden varmistamisessa uusiin luonnongrafiitin esiintymiin. Hyödyntämällä kallioesiintymien grafiittia vältetään niukkuuden muodostuminen synteettisen grafiitin valmistamisessa, mutta toisaalta grafiitin

louhinta ja rikastaminen on halvempaa ja ympäristöystävällisempää kuin energiaintensiivinen synteettisen grafiitin tuottaminen (Hotter 2023). Vaikka grafiitin kysynnän kasvu on suurinta akuissa, tuotannosta menee edelleen merkittäviä määriä terästeollisuuden käyttöön (tulenkestävät tiilet ja hiilen lisäys). Synteettisen grafiitin suurin kysyntä on valokaariuunien elektrodeissa.

Grafiitin matalat maailmanmarkkinahinnat, toisin sanoen ”Kiinan hintataso”, etenkin akuissa käytettävälle raekoolle (< 149 µm) ovat hidastaneet läntisten teollisuusmaiden grafiittihankkeiden etenemistä muun muassa USA:ssa, Kanadassa, Grönlannissa ja Australiassa. Tuotannon käynnistymistä edistetään valtiollisilla toimilla, ja esimerkiksi Kanada hyvittää matalan markkinahinnan ja 1 500 US$:n tavoitehinnan välisen eron grafiitin tuottajalle (Wu 2025). Vastaavalla takuuhintamenettelyllä olisi positiivinen vaikutus myös pohjoismaiden grafiittipotentiaalin hyödyntämiselle. Tällä hetkellä vain Norjan Skalandin grafiittikaivos on toiminnassa, ja Voxna ja Vittangi Ruotsissa ovat valmiita käynnistymään suotuisassa markkinatilanteessa. Skalandin ja Voxnan grafiitti on suomuista. Vittangin taas mikrosuomuista (mustaliuskemalmi) ja hiilipitoisuus 24 p-%. Skalandin malmissa on 20 p-%:n grafiittipitoisuus, kun taas Voxnan 10 p-%. Suomen kallioperässä on myös mahdollisuuksia grafiitin kaivostuotannolle. Tarkentavat tutkimukset ovat olleet tunnustelevia, ja niitä on tehty vain yksittäisillä esiintymillä. Jalostusasteen nostaminen pallotetuksi anodimateriaaliksi on yleistymässä grafiitin tuotantokohteissa, näin myös Skalandissa. Suomessa anodigrafiittia valmistavien hankkeiden kehittäminen Vaasassa ja Kotkassa etenevät tällä hetkellä vahvemmin kuin oman louhinnan käynnistäminen (Grafintec Oy 2026a). Raaka-aine anoditehtaisiin on tarkoitus tuoda muualta. Toisaalta Kupukan Grafiitti Oy pyrkii käynnistämään Siikalatvalle grafiitin tuotantoa ja jatkojalostusta, mikä vahvistaisi ei pelkästään Suomen vaan koko EU-omavaraisuutta (Kupukan Grafiitti Oy 2026a).

On ennustettu, että panostukset Afrikan maissa grafiitin etsintään ja varantojen tutkimuksiin tulevat nostamaan maanosan tuotannon Kiinaa suuremmaksi tulevalla vuosikymmenellä. Tällä hetkellä Afrikan osuus globaalista luonnongrafiitin louhinnasta on noin 30 % ja jo vuonna 2033 sen on ennustettu nousevan 50 %:iin. Samalla aikajänteellä Kiinan osuus tulisi laskemaan 30 %:iin nykyisen maailmanlaajuisen tuotannon 60 %:n osuudesta. Vaikkakin Kiina menettää asemaansa luonnongrafiitin suurimpana globaalina tuottajana, sen synteettisen grafiitin valmistuskapasiteetin odotetaan kaksinkertaistuvan nykyisestä noin 57 %:sta noin 70 %:iin vuoteen 2033 mennessä. Synteettinen grafiitti on tällä hetkellä Kaukoidän akkupakettien tärkein anodimateriaali. Tämä vahvistanee edelleen Kiinan ykkösasemaa sekä akkumateriaalien että valmiiden akkujen valmistajana. Nämä kehityslinjat eivät välttämättä muuta EU:n talousalueelle tuodun grafiitin saatavuuden turvaamista.

2.4.4 Grafiitin markkinat tuotteittain

Tärkeimpiä grafiittituotteita ovat pallotettu, laajentuva ja mikronisoitu grafiitti. Näistä pallotetun grafiitin kysyntää EU:ssa lisää oman akkutuotannon käynnistyminen, mikä on tärkeä edistysaskel akkuarvoketjun rakentamisessa. Tutkimus- ja kehityspanostuksia ja investointirahaa tulisi suunnata myös grafiitin omavaraisuuden lisäämiseen. EU:n alueella toimivia Li-ioniakkutehtaita ovat CATL, AESC, Verkor, PowerCo, Li-Cycle ja Natron (Srivalli 2025, Chico 2026). Muita talousalueen keskeisiä akkujen valmistajia ovat Banner Batteries, BYD, Continental AG, FIAMM Energy Technology, HOPPECKE, Leclanché, Saft ja VARTA. Ruotsissa toimintaansa käynnistänyt Northvolt ajautui konkurssiin vuonna 2025.

Karkealle suomugrafiitille (> 177 µm) on vakaa kysyntä muun muassa tulenkestävissä tiilissä, palonsuojamateriaaleissa (laajentuva grafiitti) ja tiivisteissä. Käyttöä on myös voiteluaineissa, kitkamateriaaleissa, jauhemetallurgiassa, sähkölaitteiden hiilissä, akuissa, virtausakuissa, ydinreaktoreissa, polttokennoissa ja autonosissa. Karkean suomun kysyntä on jopa vahvempaa kuin pienirakeisen grafiitin kysyntä. Tämä lisää kookkaasta suomusta tunnetun afrikkalaisen grafiitin tuotantoa (Cefai ym. 2025). Grafiitin rikastamisessa saadaan tyypillisesti akkutuotantoon toimitettavan partikkelikoon (94 % C, < 149 µm) lisäksi muita raekokojakeita. Kannattavuutta lisää merkittävästi, mikäli malmin raekoko on suurta ja rikasteisiin saadaan myös jumbokoon suomua. Mikrosuomua muodostuu sekä rikastuksessa että myös pallotetun grafiitin valmistusprosessissa.

Rajoitetusta tuotannosta (myös keskeytyksiä) sekä uutta tuotantoa käynnistävien hankkeiden hidastumisesta on seurannut lisääntyvää niukkuutta karkeasuomuisen grafiitin saatavuudessa. Tämän

seurauksena muuten omavarainen Kiina joutuu tuomaan karkeasuomuista grafiittia (> 149 µm). Tämä perustuu esiintymien luonteeseen. Kiina pystyy tuottamaan vain 15 % karkeasuomuisen grafiitin kokonaisvolyymistä, vaikka Kiinan tuotanto muodostaa lähes 85 % kiteisen grafiitin globaalista tarjonnasta (Wang 2024). Euroopan osuus maailmanlaajuisesta laajentuvan grafiitin kulutuksesta on noin 22 %, ja se on yhteensä yli 65 000 tn vuodessa palonestojärjestelmissä, tiivistemateriaaleissa, korkean lämpötilan eristyksissä ja komposiittisovelluksissa. Euroopan unionin tiukat paloturvallisuusmääräykset lisäävät edelleen laajentuvan grafiitin ja sen sovellusten käyttöä rakentamisessa (360 Research Reports 2026).

Suotuisan markkinatilanteen takia resursseja tulisi suunnata myös Suomessa karkean suomun esiintymien jatkotutkimuksiin ja tuotantoon kehittämiseen (rikasteessa > 250 µm ja > 297 µm suomua). Varsinkin erityisen karkeiden suomujen kysynnässä on nähtävissä voimakasta kysyntää (> 297 µm:n ja > 500 µm:n raekoot). Karkeaa suomugrafiittia esiintyy Suomessa muun muassa Pohjanmaan, Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaan maakunnissa. Siikalatvan grafiitti lukeutuu myös sellaiseen geologiseen alueeseen, jossa on potentiaalia karkean suomugrafiitin tuottamiseen.

Mikronisoidun grafiitin markkinoilla uusimpia valmistustekniikoita ovat tarkat jauhatustekniikat, jotka tuottavat hienompia partikkelikokoja ja niiden tasaisempia jakaumia. Tekniikat, kuten ilmasuihkujauhatus ja planeettakuulajauhatus, mahdollistavat grafiittijauheen tuotannon jopa 10 µm:n ja huomattavasti tätä pienemmällä hiukkaskoolla. Tämä parantaa grafiittipulvereiden käyttöä esimerkiksi voiteluaineiden, akkujen ja edistyneiden pinnoitteiden valmistuksessa. Muita käyttökohteita ovat polymeerit, kitkamateriaalit, jauhemetallurgia ja galvanointi. Sitä käytetään myös kuivavoiteluaineena ja johtavana täyteaineena, lämmönjohteena ja kitkaa vähentävänä aineena. Keskeinen mikronisoidun grafiittijauheen markkinoiden kasvua ajava trendi on sähköajoneuvojen akkujen kasvava kysyntä. Markkinamahdollisuuksia on myös lämmönpoistoratkaisujen kasvava kysyntä elektroniikassa ja lisääntynyt kysyntä ilmailu- ja puolustusteollisuudessa (esimerkiksi tutka-aaltoja imevät pinnoitteet, RAM, Radar-Absorbent Material).

2.4.5 Varannot

Resurssit (varannot) ovat käytettävissä esiintymän geologisesta kokonaismäärästä, kun taas reservejä ovat ne osat varannoista, jotka ovat mitattuja ja hyödynnettävissä sekä teknisesti että taloudellisesti. Kiinalla on maailman suurimmat grafiittireservit, ja sen jälkeen tulevat Brasilia, Madagaskar ja Mosambik. Näiden maiden yhteenlasketut reservit ovat noin 201 milj. tn, 71,80 %:n osuus 280 milj. tonnin totaalimäärästä (Taulukko 2).

Taulukko 2. Grafiittireservit, yhteensä 280 milj. tn vuonna 2023 (Graphite facts 2023).

jno.	Maa	koko (milj. tn)	% tot C	Esiintymätyyppi	Alueet
1	Kiina	78	27.90 %	Suomu, juonet, mikrok.	Heilongjiang , Inner Mongolia, Shandong, Jiangxi, Fujian, and Anhui
2	Brasilia	74	26.40 %	Suomu	Minas Gerais and Bahia.
3	Mosambik	25	8.90 %	Suomu	Cabo Delgado province, with mines like Balama and Ancuabe.
4	Madagaskar	24	8.60 %	Suomu	Toliara Province and eastern central region
5	Tansania	18	6.40 %	Suomu	Mozambique Belt (Arusha, Lindi, Mtwara, ym.)
6	Venäjä	14	5.00 %	Suomu ja mikrok.	Chelyabinsk, Krasnoyarsk, Jewish Autonomous Region, Ulur
7	Intia	8.6	3.10 %	Suomu, juonet, mikrok	Arunachal Pradesh, Jharkhand, Odisha, Tamil Nadu, and Chhattisgarh
8	Turkki	6.9	2.50 %	Mikrokit.	Balıkesir-Susurluk, Kastamonu, Bingöl-Genç, and Kütahya-Oysu
9	Kanada	5.9	2.10 %	Suomu, juonet, mikrok.	Quebec (Lac des Iles, Miller project) and Ontario, and New Brunswick
10	Meksiko	3.1	1.10 %	Mikrokit., suomu	Sonora State, Hermosillo region, Oaxaca (suomu)
	muut	22.5	8.00 %		
tot		280	100 %		

Brasilian, Mosambikin, Madagaskarin ja Tansanian esiintymät ovat suomugrafiittia, ja myös Kanadan merkittävimmät reservit ovat suomuista raekokoa. Kiinassa suomugrafiittia tuotetaan Heilongjiangin ja Jilin maakunnissa. Palagrafiitin reservit (lump tai juonigrafiitti) esiintyvät Heilongjiangin maakunnassa (Jixi), Sisä-Mongoliassa (Zhahanmuhulu) ja Xinjiangin autonomisella alueella (Huangyangshan), kun taas amorfisen grafiitin reservit (mikrokiteistä) sijaitsevat Sisä-Mongoliassa sekä Shandongin, Shanxin, Sichuanin ja Henan alueilla. Venäjällä, Turkissa ja Meksikossa tuotetaan myös amorfista raekokoa. Myös Intia on tunnettu palagrafiitistaan, mutta tuotantoa on myös suomuisen grafiitin esiintymistä. Grafiittia saadaan lisäksi myös heikkolaatuisista amorfisen raekoon muodostumista. Ukrainalla on myös isot varannot, noin 20 milj. tn. Tärkeimmät esiintymät ovat Balakhivka (Kirovohradi alue), Zavallia (Zavallivske) ja Zarichna. Varannot ovat pääasiassa suomugrafiittia. Romaniassa tutkitaan Baia de Fier -esiintymän käyttöönottoa, jossa esiintyy sekä amorfisesta että suomuista grafiittia. Maailmanlaajuiset varannot ovat noin 800 milj. tn (USGS 2024).

2.4.6 Markkinan kehitysnäkymät

Markkinan kehitysnäkyminä ovat luonnongrafiitin tuotannon ja jatkojalostuksen investointien lisääntyminen muuallakin kuin Kiinassa. Matalat hinnat ovat kuitenkin hidastaneet hankkeiden toteutumista, etenkin anodivalmiin grafiitin valmistukseen käytettävien rikasteiden tuotannon käynnistymistä (94–95 p-% C, < 149 µm). Saatavuuden riskien ennustetaan säilyvät vielä pitkään, sillä kolme suurinta tuottajamaata Kiina, Madagaskar ja Mosambik vastasivat vuonna 2023 grafiitin tarjonnasta 92-prosenttisesti. Vastaavasti keskeiset jalostajamaat Kiina, Japani ja Etelä-Korea vastasivat 98-prosenttisesti tuotteiden jatkojalostuksesta. Varantoja ja valmista jalostuskapasiteettia on odottamassa tuotannon käynnistymistä esimerkiksi Kanadassa, USA:ssa, Australiassa, Grönlannissa, Pohjoismaissa ja useissa Afrikan maissa. Louhinnan ja rikastuksen lisäksi näissä maissa ollaan kehittämässä myös anodigrafiitin jatkojalostusta (pallottaminen).

IEA (2024) ennusteessa markkinaosuuksien jakautuminen, toisin sanoen tuotannon keskit-

tyminen, olisi vielä samalla tasolla vuonna 2030, jolloin kolmen suurimman osuus louhinnassa olisi 88 % ja jatkojalostuksessa vielä nykyistäkin suurempi (97 %) (Taulukko 3).

Taulukko 3. Grafiitin kysyntä (x 1000, kt) vihreän siirtymän tuotteissa ja muussa käytössä viime vuosina (2021 ja 2023) sekä kehitys seuraavan viiden vuoden aikajänteellä vuoteen 2030 ja 15 vuoden päähän vuoteen 2040 (IEA 2024).

Milestones (APS)	2021	2023	2030	2040
Cleantech demand (kt)	**532**	**1 292**	**6 013**	**9 839**
Other uses (kt)	3 388	3 340	4 406	6 185
Total demand (kt)	**3 920**	**4 632**	**10 419**	**16 023**
Secondary supply and reuse (kt)	149	308	1 333	2 489
Primary supply requirements (kt)	**3 771**	**4 324**	**9 086**	**13 535**
Share of top three mining countries	89%	92%	88%	89%
Share of top three refining countries	97%	98%	97%	95%

Grafiitin saatavuuden riski säilyisi näin ollen edelleen, kun kysyntä kasvaa 10 kertaa suuremmaksi, kuin Kiina tuottaa tai vie tällä hetkellä maailman markkinoille (IEA 2024). Geopoliittiset jännitteet vahvistuivat sen jälkeen, kun Kiina ryhtyi rajoittamaan luonnongrafiitin vientiä loppuvuodesta 2023 ja myöhemmin myös synteettisen grafiitin vientiä. Vientirajoitusten takia saatavuus Japaniin laski 40 %. Yhdysvaltojen tämän ajan kauppapolitiikkaan kuuluu protektionismi, esimerkkinä 25 %:n tulli tuontigrafiitille (Intercalation Station 2024).

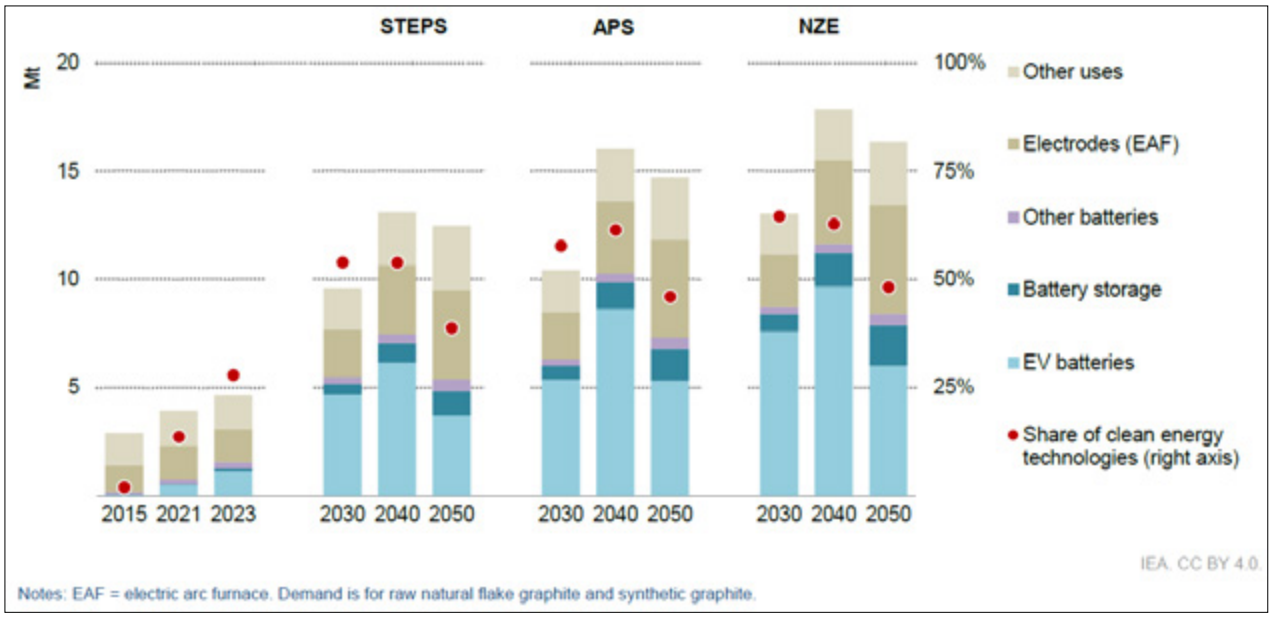
Vuonna 2025 pallotetun grafiitin markkinan arvo oli 324,76 milj. US$. Grafiitin kysynnän kasvun ajurina on liikenteen sähköistyminen. Sähköautojen maailmanlaajuinen tuotanto nousi 14,2 milj. yksikköön vuonna 2023, kun se vuonna 2022 oli 10,5 milj. yksikköä (kasvua 35 %). Jokainen sähköautojen akku vaatii noin 50–70 kg pallotettua grafiittia, mikä tarkoittaa, että pelkästään sähköautojen maailmanlaajuinen tuotanto vaatii yli 800 ktn grafiittia. Kun otetaan huomioon pallotuksen hyötysaannon noin 60 % (parhaalla jalostusteknologialla) ja vaikka grafiitin pitoisuus malmissa olisikin varsin korkea, esimerkiksi 15 %, tarvittaisiin yhteen täyssähköiseen autoon noin 650 kg malmia.

Toimialan rajoitteena voidaan pitää erityisesti sitä, että yli 80 % globaalista pallotetun grafiitin tuotannosta on peräisin Kiinasta. Tästä voi muodostua merkittävä riski toimitusketjussa. Vuonna 2023 maiden väliset jännitteet ja vientisäännökset vaikuttivat yli 40 000 tn:n anodivalmiin grafiitin toimituksiin. Tästä seurasi viivästyksiä akkujen tuotantolinjoilla eri puolilla Eurooppaa ja Yhdysvaltoja (Market Growth Reports 2025). Kyseinen anodigrafiitin määrä olisi riittänyt noin 650 000 täyssähköisen auton akustoon (5 % vuoden 2023 kokonaistuotannosta). Toimitusvarmuuden parantamiseksi akkutehtaille ollaan pallotetun grafiitin tuotantoa kehittämässä useassa maassa. Raaka-aineen saatavuus vaatii kuitenkin paikallisia esiintymiä, niiden käyttöön otettavien varantojen inventointia ja merkittäviä investointeja kaivosten avaamiseksi. Tämän lisäksi tarvitaan rikastamoita ja riittävän kustannustehokasta logistiikkaa materiaalitoimituksiin jatkojalostukseen ja vientisatamiin. Tuotantoteknologian omaksuminen ja käyttöönotto vaatii erityistä osaamista, mitä ei välttämättä ole laajemmalti läntisissä teollisuusmaissa (teollisuusinfra ja tuotantokokemus on keskittynyt Kiinaan ja muualle Kaukoitään). Tämä on hidastanut muun muassa anodigrafiitin valmistuksen käynnistymistä USA:n ja Euroopan akkutehtaiden tarpeisiin.

Alan toimintaedellytysten kehittymistä on vahvistettu muun muassa USA:ssa, esimerkiksi Georgian ja Texasin osavaltioiden suurprojektit tähtäävät 45 000 tn:n vuotuiseen pallotetun grafiitin tuotantoon yli 2 mrd. US$:n rahoituksella. Aasian ja Tyynenmeren alueella maat, kuten Etelä-Korea ja Japani, osoittivat yli 1,2 mrd. US$:n rahoitukset alan teollisuudelle vähentääkseen riippuvuutta Kiinan tuonnista. Tämän seurauksena alueellinen tuotantokapasiteetti kasvoi 17 % vuonna 2023. Myös Kanada tukee oman grafiittituotannon kehittämistä osana kriittisten mineraalien strategian toteuttamista tukemalla rahoitusjärjestelyin sekä grafiitin kaivostoimintaa että akkulaatuisen grafiitin jatkojalostusta. Pallotetun grafiitin tuotantoa on käynnistymässä myös Australiassa.

Länsimaissa on haettu merkittävää kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä lisäämällä automaatiota sekä pallotuksessa että kemiallisen puhdistuksen linjoilla (jopa 22 % vuodesta 2021 lähtien). Lisäksi yritykset hyödyntävät verohyvityksiä ja valtion tukia saadakseen tuotteitaan akkupakettien valmistajille. Kehitystyön tuloksena on pystytty lisäämään pallotetun grafiitin puhtautta (hiilipitoisuus yli 99,99 %). Tällä on saatu pilottitestauksessa nostettua akun suorituskykyä jopa 40 %. Esimerkkinä kilpailukykyä lisänneistä valmistustekniikoista ovat myös parantuneet luokittelutekniikat, jotka ovat mahdollistaneet partikkelikokojakaumaltaan kapeampien grafiittijakeiden seulonnan. Tällä saadaan materiaali korkeampaan tiheyteen anodin valmistuksessa ja samalla nostettua energiatiheyttä 12 %. Lisäksi on kehitetty hybridimateriaaleja, joissa grafiittiin on onnistuttu lisäämään piitä, tavoitteena kasvattaa anodin varauskykyä 50 %:lla.

Ennusteissa akkujen kysyntä lisää grafiitin tuotantomääriä merkittävästi aina vuoteen 2040 (kasvua sekä luonnongrafiitin että synteettisen grafiitin kysyntä), Kuva 17. Terässulatoissa yleistyvä valokaariuunien (Electric Arc Furnace, EAF) käyttö lisää myös grafiitin kysyntää. Elektrodit valmistetaan lähinnä synteettisestä grafiitista (IEA 2024).



Kuva 17. Globaalit grafiitin kysyntänäkymät sektoreittain ja skenaarioittain (IEA 2024). STEPS-skenaario kuvaa tulevaisuutta nykyisten ilmoitettujen politiikkatoimien ja tavoitteiden perusteella (Stated Policies Scenario). ASP, edistynyt suunnittelu ja aikataulutus (Advanced planning and scheduling) ja NEZ, nettoemission skenaario (Net Zero Emissions Scenario).

Valmistajat kehittävät myös huippupuhtaita grafiittimateriaaleja ilmailu- ja puolustussovelluksiin. Nämä alle 50 ppm epäpuhtauksia sisältävät laadut soveltuvat herkille elektronisille järjestelmille ja tehokkaisiin virtalähteisiin. Myös kestävän kehityksen innovaatiot muokkaavat tuotantolinjoja. Yritykset, kuten EcoGraf ja Nouveau Monde, lanseerasivat pallomaisen grafiitin, joka on puhdistettu ilman fluorivetyhappoa. Tämä vähentää vedenkulutusta 60 % ja päästöjä 50 % (Market Growth Reports 2025).

Tällä hetkellä liikkuminen, laitteet ja elektroniikka hyödyntävät Li-ioniakkuja, ja yleisimmät katodikemiat ovat NMC (nikkeli-mangaani-koboltti) ja LFP (litiumrautafosfaatti). Vaikka Li-ioniakkujen teknologiat tulevat olemaan käytössä vielä vuosikymmeniä, uusia akkutekniikoita kehitetään. Näistä natrium (Na)- ja kalium (K) -akut ovat lupaavimmat. Na-ionitekniikassa anodiksi soveltuu biomateriaalista valmistettu huokoinen hiili, esimerkiksi pyrolyyttinen, ns. kovahiili (hard carbon). Termisesti ja hapolla käsitelty kiteinen luonnongrafiitti on myös riittävän huokoista (laajennettu, ns. expanded-tyypin grafiitti). K-ioniakut käyttävät samaa pallotettua grafiittia kuin Li-ioniakut (IEA 2025b). Na-ioniakuista on jo markkinoilla ensimmäisiä malleja, kun taas K-ioniakut ovat vasta prototyyppivaiheessa. Suola-akkujen elektrodeissa ei ole litiumia, nikkeliä eikä kobolttia. K-ioniakuissa grafiitin partikkelit ovat sähkökemiallisen dynamiikan parantamiseksi merkittävästi pienempää kuin Li-ioniakuissa,

niin kutsuttua mikronisoitua grafiittia (Dhir ym. 2024). Uusia Na-suola-akkuja valmistavia tehtaita perustetaan Kiinaan kokoonpanoon tarvittavien komponenttien parhaan saatavuuden takia, erityisesti paikalliset katoditoimittajat, anodi- ja elektrolyyttien valmistajat ja laitetoimittajat (Chico 2026). Kun kokoonpanotehtaita perustetaan muualle, komponentit tuodaan Kiinasta siihen saakka, kunnes vastaavaa länsiteknologiaa on saatavilla.

Keskeiset globaalit toimijat luonnongrafiitin teknologisessa kehittämisessä ja tuotannossa ovat 1) Graphit Kropfmühl GmbH (Saksa), 2) Superior Graphite (USA), 3) Asbury Carbons (USA), 4) Tirupati Carbons & Chemicals Pvt. Ltd. (Intia), 5) Syrah Resources Limited (Mosambik), 6) Nacional de Grafite (Brazil) ja 7) Qingdao Haida Graphite Co., LTD. (China).

Jalostukseen ja edistyneiden materiaalien kehittämiseen keskittyneitä yrityksiä ovat 1) Imerys Graphite & Carbon (Eurooppa), 2) Asbury Carbons (USA), 3) SGL Carbon (Saksa) ja 4) Tokai Carbon (Japani).

Keskeisimmät pallotetun grafiitin globaalit toimijat operoivat Kiinassa: 1) BTR New Material Group, Qingdao Guangxing Electronic Materials, 2) Qingdao GR-Taida Carbon, 3) Zhanjiang Juxin New Energy, 4) Graphex Group, 5) China Graphite, 6) Qingdao Xintaihe Energy Materials, 7) NexMaterial, 8) Aoxing New Material, 9) Qingdao Haida Graphite, 10) Heilongjiang Dongfang Juneng Graphite Technology ja 11) Black Dragon Graphite (Market Growth Reports 2025).

2.5 Suomen grafiittipotentiaali

2.5.1 Tunnetut kohteet

Grafiittia on hyödynnetty Suomessa vähäisiä määriä vuosien 1760 ja 1947 välillä 30 esiintymästä. Suomen nykyisten rajojen sisällä sijaitsevasta 20 esiintymästä on louhittu noin 14 000 tn grafiittimalmia. Rikasteen määrä oli noin 1 800 tn. Kokonaistuotannosta merkittävin osa on louhittu Mäntyharjun Kärpälän esiintymästä, 10 000 tn. Rikastetta tuotettiin 600 tn. Hyödynnetyille esiintymille oli luonteenomaista grafiitin suomuinen olemus ja runsas, useiden kymmenien prosenttien pitoisuus. Esiintymät olivat varsin pienialaisia, eivätkä tältä osin täytä nykytuotannon vaatimuksia. Korkean metamorfoosiasteen hiiltä sisältävät metasedimentit olivat potentiaalisimpia alueita suomugrafiitin löytymiselle (Ahtola & Kuusela 2015). Taulukossa 4 on tärkeimmät historiallisen tuotannon kohteet.

Taulukko 4. Grafiitin historiallisia tuotantokohteita, koordinaatit ETRS-TM35FIN.

Paikka	Kunta	N	E
Laivonsaari	Kuopio	6977754	529465
Kultakallio	Leppävirta	6938692	566702
Käärmerinne	Leppävirta	6936043	565952
Suurenkahanvuori	Leppävirta	6935232	566731
Kalmo	Mikkeli	6826420	522375
Kärpälä	Mäntyharju	6812959	477528
Piippumäki	Mäntyharju	6811542	475669
Soukko	Sastamala	6809589	287106

Yksittäisiä suomugrafiittiesiintymiä on tutkittu Suomessa 60-luvun puolivälistä lähtien kartoittamalla, geofysiikan mittauksilla ja kairaamalla. Tutkimuskohteet sijaitsivat Kemijärvellä (Al-Ani & Sarapää 2016), Siikalatvalla (Konnunaho ym. 2026a tekeillä, Kupukan Grafiitti Oy 2026a), Merijärvellä (Aurola 1965), Rautalammilla (Ahtola ym. 2024), Tuusniemellä ja Heinävedellä (Puronaho 2018) sekä Pälkäneellä (Alviola & Nurmela 1994, Leinonen 2024c) (Taulukko 5).

Taulukko 5. Grafiitin tutkimuskohteita, koordinaattijärjestelmä ETRS-TM35FIN.

Paikka	Kunta	N	E
Joutsijärvi	Kemijärvi	7396471	539966
Kupukka	Siikalatva	7145259	444447
Uljua	Siikalatva	7136171	447592
Jahtisneva	Merijärvi	7129820	377029
Käpysuo	Rautalampi	6950490	487036
Rääpysjärvi	Tuusniemi	6942646	576339
Aitolampi	Heinävesi	6935275	580543
Takkulankangas	Pälkäne	6798832	368394

Yksittäisille esiintymille on tehty mineralogisia tutkimuksia, esimerkiksi Venejärvi-, Tervola-, Rytijänkä- ja Jaurujoki-esiintymillä Pohjois-Suomessa (Al-Ani ym. 2016). Esiintymiä, joille on tehty rikastustesti ovat Uljua ja Kupukka (Siikalatva; kts. kappale 9 tässä raportissa), Jahtisneva (Merijärvi), Käpysuo (Rautalampi), Aitolampi (Heinävesi) ja Takkulankangas (Pälkäne). Takkulankankaan grafiitille tehty rikastustesti oli minipilot-mittakaavassa (Seitsaari ym. 2025) samoin kuin Aitolammen esiintymän grafiitille (Grafintec Oy 2025). Takkulankankaan, Uljuan ja Kupukan esiintymien rikasteille on tehty pallotustestit (Leinonen 2023, 2026), kuten myös Aitolammen rikasteelle (Grafintec Oy 2025).

Grafiitille on useita teollisen käytön sovelluksia, ja jopa sen hyödyntämistä energian tuottamisessa tutkittiin 1980-luvulla. Mustaliuske-esiintymien geologiaa on selvitetty maastotutkimuksilla ja kairauksin muun muassa Kiteen Juurikkajärvellä (Sarapää 1989), Kiihtelysvaaran Hyypiässä (Sarapää 1987a) ja Juukan Polvelassa (Sarapää 1987b).

2.5.2 Grafiittipotentiaali Suomessa

Geologian tutkimuskeskuksen tekemä grafiittipotentiaalin kartoitus selvitti grafiittia sisältävien kivilajien esiintymistä Suomessa vuosina 2020–2022. Green Minerals -projektin vuoden 2019 havaintoaineisto on myös analyysituloksissa. Näytteitä kerättiin kaikkiaan 2 356 kappaletta. Esiintymisen arviointi perustui hiilipitoisuuteen (Leco-mittaus) ja silmämääräisesti arvioituun suomukokoon. Suurin osa grafiittipitoisista näytteistä oli lohkareita (Leinonen 2024a).

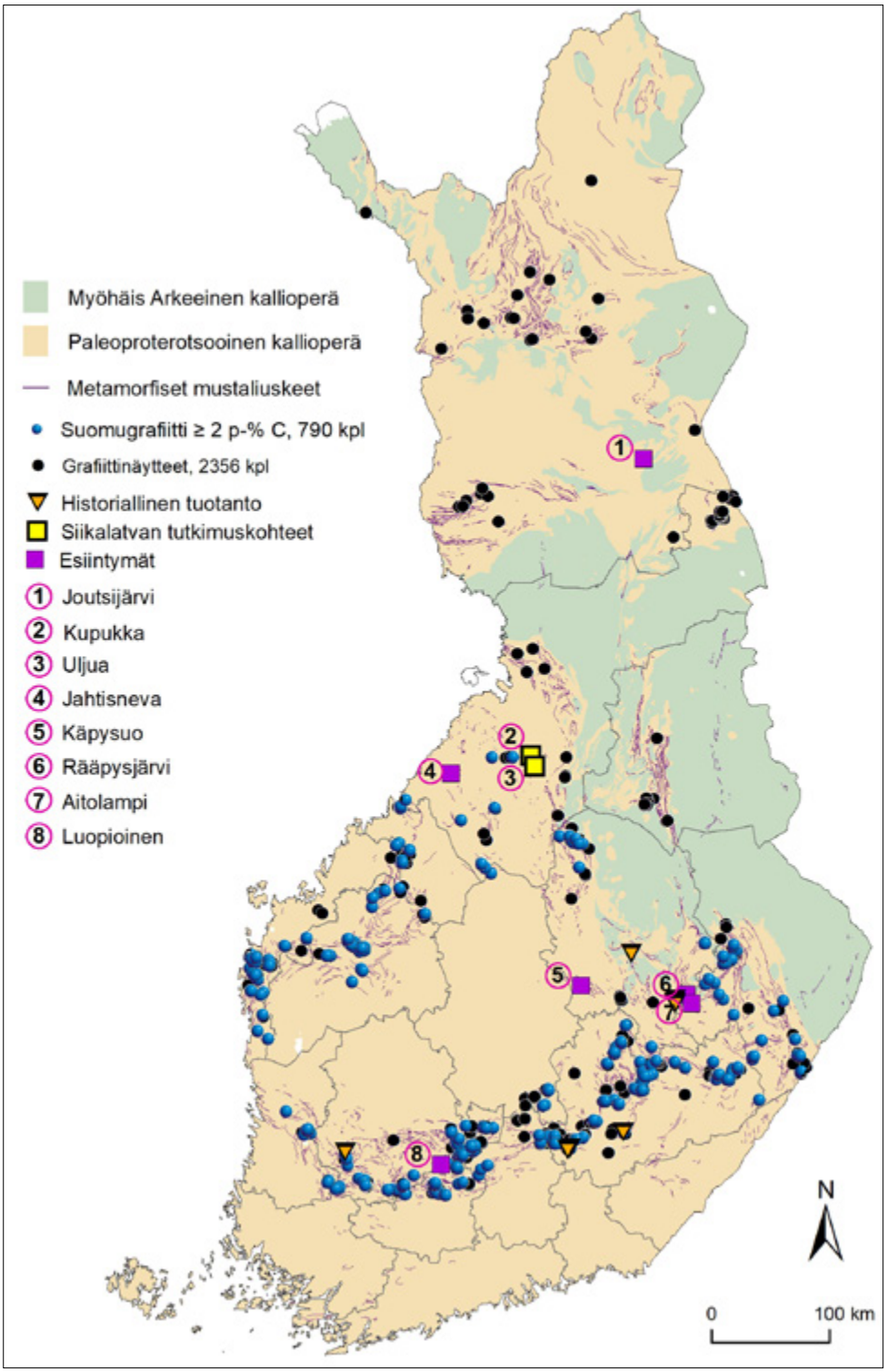
Tutkimus painottui Raahe–Laatokka-linjan eteläpuoliselle alueelle. Pohjois-Suomen tunnusteleva kartoitus tehtiin vuonna 2022. Kartoituksessa hyödynnettiin lentosähkömagneettisia johdevyöhykkeitä. Lohkaretiedon perusteella korkein potentiaali löytää karkeasuomuisia grafiittirikkaita muodostumia ovat voimakkaiden johteiden alueilla Pohjanmaan maakunnissa Keski-Pohjanmaata lukuun ottamatta, Kanta-Hämeen pohjoisosissa, Pirkanmaalla, Päijät-Hämeessä ja Etelä-Savossa. Yksittäisiä potentiaalisia alueita isosuomuisen grafiitin esiintymiselle on myös Pohjois-Savossa (Kiuruvesi, Kuopio, Leppävirta ja Tuusniemi), Kuva 18.

Valtakunnallisen grafiittipotentiaalin täydentävä kartoitus vuonna 2023 sisälsi kohteellisia kartoituksia ja alueellisen kartoituksen. Havaintoja, lähinnä lohkareista kertyi kaikkiaan 271 kpl ja vasaranäytteitä otettiin 291 kpl. Alueellisessa kartoituksessa täydennettiin havaintoaineistoa Itä- ja Pohjois-Suomessa. Täydentävän kartoituksen näytteille ei tehty kemiallisia analyyseja eikä myöskään petrofysiikan mittauksia (Leinonen 2024b).

Grafiittipotentiaalikartoituksessa tehtiin kohteellisia sähkönjohtavuuden mittauksia minislingram GEM-2-laitteella 25 kohteella vuosina 2021, 2022 ja 2023 (Koskela & Lerssi 2024). Mittalaitteen suurin syvyysulottuvuus oli noin 15 m. Mittauskohteet olivat lähinnä suomugrafiitin esiintymisalueilla Satakunnassa, Hämeessä, Pirkanmaalla, Pohjanmaalla, Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla, Etelä- ja Pohjois-Savossa sekä Pohjois-Karjalassa: Akaa (Ristikangas), Huittinen (Moijansuo), Hämeenlinna (Lusi, Suurisuo), Joroinen (Lamminsuo, Pyväli), Juva (Poikkimaa), Kaavi (Taikalampi), Kangasala (Lakeissuo), Kitee (Ansonsuo), Kiuruvesi (Pitkäkorpi), Korsnäs (Timmerbacken), Lapua (Niskasuonneva), Närpiö (Södermossen), Padasjoki (Kailankulma), Pieksämäki (Varvikkosuo), Pälkäne (Kuohijoki, Linjasuo), Rantasal-

mi (Varpasuo), Reisjärvi (Penttimäki), Savonlinna (Nurkkamäki, Purosalo, Viitamäki), Siikalatva (Pakkulanneva) ja Ulvila (Isosilee).

Korkea sähkönjohtavuus mitattiin 5 kohteella (1 S/m), kohtalaisia johtavuuksia (0,1 S/m) 12 kohteella ja heikkoja (0,01 S/m) 8 kohteella. Johteiden voimakkuuteen vaikuttavat sekä esiintymän johtavuus että sitä peittävän maaperän syvyys ja ominaisuudet.



Kuva 18. Valtakunnallisen grafiittipotentiaalin kartoituksen grafiittihavainnot, 2 356 kpl. Grafiittinäytteet > 2 p-% C on merkitty sinisellä, yhteensä 790 kpl. Keskeiset historialliset tuotantopaikat merkittynä, viimeaikaiset tutkimuskohteet numeroituna. Muokattu kartasta: Leinonen 2024a.
Geologinen pohjakartta: Suomen kallioperä - DigiKP ja Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

2.5.3 Näytteiden rakenne ja grafiittipitoisuus

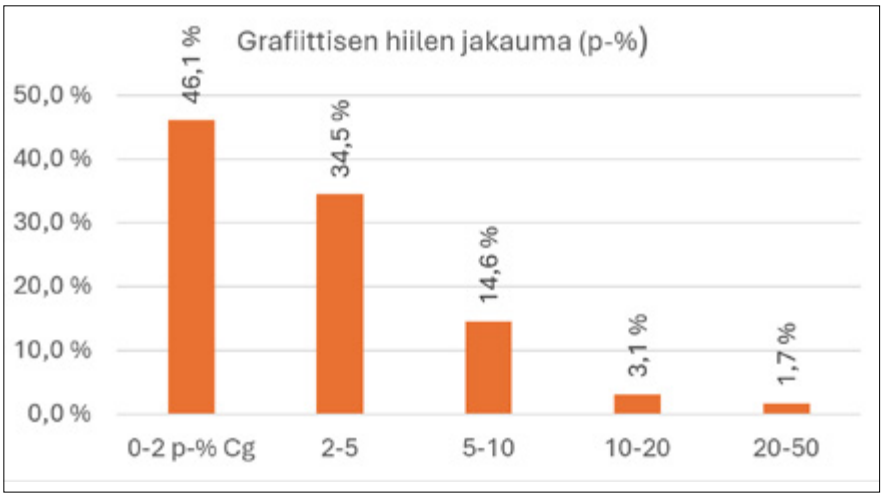
Grafiitin raekoko määritettiin karkeaksi, kun suomut ovat > 1 mm, ja pienisuomuiseksi, kun < 1 mm. Mustaliuskeissa suomuja ei ole mahdollista erottaa silmin (Kuva 19).



Kuva 19. Grafiittia lohkareissa. A) Karkeasuomuinen (ø > 1 mm) grafiittigneissi (STL2-2022-94.1.1), grafiittista hiiltä **3,73** p-% C_g, kokonaisrikki 3,16 p-% S_{tot} (Hedet, Närpiö, Pohjanmaa). B) Karkeahkoa suomua (≈ 1 mm) liuskeessa (STL2-2022-8.1.2), **10,40** p-% C_g, 0,26 p-% S_{tot} (Linjasuo, Luopioinen, Pälkäne). C) Suomuinen (< 1 mm) grafiittiliuske (STL2-2022-389.1), **4,02** p-% C_g, 3,25 p-% S_{tot} (Saarijärvi, Ulvila, Satakunta). D) Suomukasvua (<< 1 mm) mustaliuskeessa (STL2-2022-249.1.2), **10,65** p-% C_g, 6,18 p-% S_{tot} (Hakopatteus, Kaavi, Pohjois-Savo). E) Mustaliuske, hienorakeinen grafiitti (STL2-2022-370.1.1), **7,60** p-% C_g, 5,80 p-% S_{tot} (Haarakangas, Kaustinen, Keski-Pohjanmaa). F) Keltaokraa grafiittiliuskeessa (helposti lohkeava), karkeahkosuomuinen (≈ 1 mm) raekoko (STL2-2022-429.1), **8,38** p-% C_g, 2,38 p-% S_{tot} (Kiikkukangas, Juva, Etelä-Savo). GPS-laitteen leveys noin 7 cm.

Grafiittipitoiset näytteet olivat kenttäkivilajimäärityksen perusteella liuskeita, gneissejä ja mustaliuskeita. Analysoituja näytteitä oli kaikkiaan 1 795 kpl. Näistä grafiittiliuskeita oli 65,2 % (1 170 kpl), grafiittigneissejä 25,3 % (454) ja mustaliuskeita 7,9 % (142). Analysoiduissa näytteissä oli kenttähavaintojen mukaan myös kiilleliuskeita 0,8 % (14) ja kiillegneissejä 0,6 % (11). Muita kivilajeja oli 0,2 % (4).

Grafiittipitoisuuden keskiarvo oli 5,59 p-% osa-aineistolle, jossa grafiittipitoisuus oli ≥ 2 p-% (yhteensä 954 Leco-analyysiä, 53,9 %) (Kuva 20). Rikkipitoisuuden keskiarvo ko. aineistolle oli 2,31 p-%. Korkeita grafiittipitoisuuksia > 10 p-% analysoitiin noin 20 % kaikista analysoiduista näytteistä, yhteensä 225 näytettä.



Kuva 20. Grafiittisen hiilen jakauma (p-%), 1 771 analyysiä (kaikkiaan 1 795 kpl, joissa 24:ssä C-pitoisuus alle määritysrajan). Tuloksista ≥ 2 p-% C_g oli 954 kpl (53,9 %).

Grafiittiliuskeiden hiilipitoisuus oli keskimäärin 5,39 p-% ja mustaliuskeissa tätä hieman korkeampi, 7,79 p-%. Matalin keskimääräinen hiilipitoisuus oli grafiittigneisseissä 4,92 p-% (osa-aineisto ≥ 2 p-% C_g, 954 kpl). Erityisen korkeita hiilipitoisuuksia, lähes 50 p-% löytyi kaikissa grafiittia sisältäneissä kivilajiluokissa (Leinonen 2024a).

2.5.4 Grafiittipitoisuus alueellisesti

Korkeimmat suomugrafiitin pitoisuudet liuskeissa (hiilipitoisuus Lecolla) analysoitiin Padasjoelta (49,80 p-%), Pertunmaalta (44,50), Reisjärveltä (24,50), Seinäjoelta (24,40), Kuhmoisista (23,70), kun taas gneisseissä Pälkäneeltä (45,70), Laihialta (8,63), Akaalta (8,46), Vaasasta (8,19) ja Pieksämäeltä (8,04). Varsin korkeita karkean suomun pitoisuuksia esiintyy myös Siikalatvalla ja Merijärvellä.

Korkeimmat suomugrafiitin pitoisuudet (> 40 p-%) liittyvät epäyhtenäisiin useiden metrien levyisiin grafiittikerroksiin (paksuimmillaan 5–10 metriä). Tällaisista korkean hiilipitoisuuden suomugrafiittia sisältävistä kerroksista ei ole havaintoja muualla kuin Pälkäne-Padasjoki-Pertunmaa-alueella.

Yksittäisiä korkeita mustaliuskegrafiitin pitoisuuksia esiintyy Kuusamossa (41,60 p-%) ja Ylitorniolla (25,40), myös Kittilän (50,0), Sotkamon (17,2), Polvijärven (16,15), Kaustisten (15,8), Tohmajärven (13,6) ja Kaavin (10,65) alueella. Näille on tyypillistä grafiitin vähäinen suomukasvu, joka on silmämäärin havaittavaa liuske- tai hiertopinnoilla (<< 1 mm). Grafiitti on liuskeissa selkeästi kookkaampaa kuin mustaliuskeissa esiintyvä suomukasvu, yleensä pienisuomuista (< 1 mm) tai karkeahkoa (≈ 1 mm). Gneisseissä grafiitti on yleensä karkeaa (osin > 1 mm) (Leinonen 2024a).

2.5.5 Grafiitin kehittämishankkeet

Suomessa grafiitin tuotantoa kehittäviä juniorityrityksiä ovat Grafintec Oy ja Kupukan Grafiitti Oy. Molemmilla yrityksillä on meneillään esiintymätutkimuksia. Grafintec Oy:n esiintymät sijaitsevat Heinävedellä, Tuusniemellä, Pälkäneellä ja Kruunupyyssä, ja Kupukan Grafiitti Oy:n tutkimuskohteet ovat Siikalatvalla. Epsilon Advanced Materials Oy ja Finnish Battery Chemicals Oy ovat suunnittelemassa grafiittipohjaisen anodimateriaalin tuotantolaitosta Vaasaan Giga-Vaasan alueelle (Yleisradio Oy 2024), kun taas Grafintec Oy:n suunnitelmissa on perustaa grafiitin jalostuslaitos Kotkaan (Graphite Anode Materials Plant, ”GAMP”) (Yleisradio Oy 2025).

Primäärisen grafiitin lisäksi teollisissa sivuvirroissa on tutkimatonta potentiaalia, muun muassa SSAB:n terästeollisuuden masuunijätteissä ja Terrafamen kasaliuotetun malmin kiviaineksessa sekä eräissä rikastushiekoissa. Grafiitti on osassa jätevirtoja kiteistä luonnongrafiittia ja osin orgaanisesta aineksesta vaihtelevasti kiteiseksi muuttunutta hiiltä. Sivuvirtojen grafiittien hyötykäyttöä ei vielä ole systemaattisesti selvitetty. Sivuvirroissa esiintyvän grafiitin mineralogiaa ja kemiallista koostumusta on käsitelty kappaleessa 9.

2.6 Yhteenveto

Grafiitti on EU:ssa sekä kriittinen että strateginen mineraali ja myös NATO on katsonut sen puolusteknologioiden kannalta strategiseksi raaka-aineeksi. Saatavuuden haasteena on lähes 100-prosenttinen tuontiriippuvuus ja se, että tuontia on vain muutamista tuottajamaista, Kiinasta, Mosambikista ja Madagaskarista. EU tunnistaa grafiitin strategisen merkityksen nykyisissä ja tulevaisuuden teknologioissa sekä myös tarpeet turvata saatavuus omalle terästeollisuudelle ja akkutuotannolle.

Grafiitin globaali kysyntä kasvaa voimakkaasti. Kasvun ajurina on lähinnä liikenteen sähköistymisen nopea lisääntyminen, myös energian varastointi. Kaivoshankkeita on suunnitteilla laajasti, ja varsinkin Afrikan maiden tuotanto tulee lisääntymään huomattavasti. Arvoketjussa on nähtävissä myös grafiitin jalostusasteen lisääminen Kiinan ulkopuolella, esimerkiksi Etelä-Koreassa. Myös Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa on kasvavaa kannustusta anodigrafiitin valmistuksen käynnistämiseksi. Merkittävään vihreän siirtymän vaatimien materiaalien ja laitteiden omavaraisuuden kasvuun tähdätään IRA-tyyppisillä tuilla, joilla tarkoitetaan vuoden 2022 Yhdysvaltain inflaation vähentämislain (U.S. Inflation Reduction Act) kaltaisia toimia. Näitä ovat esimerkiksi kotimaisten akkujen ja komponenttien tuotanto- ja investointihyvitykset ja rahalliset kannusteet kuluttajille, esimerkkinä Yhdysvalloissa 7 500 US$:n hinnanalennukset ajoneuvosta, jossa on kotimaista tuotantoa oleva akusto. Tuet kohdistuvat myös suoraan grafiitin tuottajille, esimerkiksi Kanadassa 1 500 US$:n takuuhinta pallotetulle grafiitille. Omaa tuotantoa suojataan myös tuontitulleilla.

Kiinan kilpailuetu ei ole pelkästään huokeita hintoja (johtuvat osin valtion tuista tuotannolle); se on usein myös teknologista etumatkaa. Grafiittirikastetta ei käytetä sellaisenaan akuissa, vaan se on puhdistettava, pallotettava ja pinnoitettava hiilellä ennen käyttöä anodissa. Lähes 100 %:n puhtauteen pääseminen vaatii usean eri kemiallisen ja termisen menetelmän hyödyntämistä ja siihen tarvittavia laitteita. Pallotustekniikka on myös haasteellista, ja länsimaisiin investointeihin ja valmistukseen haetaankin usein kiinalaisia kumppaneita. Pienen suomukoon rikasteen (< 150 µm, 94–95 p-% C) hinta on haasteellisen alhaalla; hinta Kiinassa vuoden 2025 lopulla oli 409 US$ tn:lta. Pallotetun grafiitin hinta oli kuitenkin lähes nelinkertainen rikasteeseen verrattuna, noin 1 500 US$ tonnilta. Noin 150 µm:n raekokoa käytetään anodigrafiitin raaka-aineena. Karkeamman rikasteen hinnat ovat varsin korkeat, 1 400 US$ +177 µm:n raekoolle, ja jopa 1 750–2 300 US$ tn:lle tätä suuremmille jumbokoon rikasteille (300–500 µm). Laajentuvan grafiitin laadut ovat samassa 2 000 US$/tn hintaluokassa. Toisaalta erittäin pienen partikkelikoon, niin kutsutuille mikronisoiduille jauheille on oma, kasvava markkinansa, hinta 3 000–4 000 US$/tn 5 µm:n partikkelikoon ja 99,5 p-% C pitoisuuden tuotteelle.

Grafiitin tuotekohtaisia vaatimuksia raekoon ja raekokojakauman lisäksi ovat C-pitoisuus ja puhtaus mineraalisista ja metallisista epäpuhtauksista. Puhdistukseen käytetään ympäristöystävällistä kemiallista liuotusta, kuumakloorausta ja termistä puhdistusta. Vaikka tuotevalmistuksessa voidaan hyödyntää sekä luonnon- että synteettistä grafiittia, on valmisteita, jossa käytetään vain luonnongrafiittia. Grafiitin vienti Kiinasta on hidastunut ja osaltaan siirtänyt kysyntää synteettiseen grafiittiin, vaikka se on perinteisesti ollut kalliimpaa kuin luonnongrafiitti ja sen CO_2-jälki on erittäin suuri. Kiinassa valmistetuissa valmiissa akkupaketeissa käytetään tällä hetkellä pääasiassa synteettistä anodigrafiittia tai grafiittisekoitteissa on merkittävästi enemmän synteettistä grafiittia.

Grafiitilla on lukuisia käyttökohteita, ja uusia teknologiasovelluksia on edelleen mahdollista kehittää. Suomessa on merkittävää tutkimatonta grafiittipotentiaalia, esimerkiksi tämä hanke on osoittanut Siikalatvan grafiitin olevan erinomaista anodigrafiittia, ja sen hyödyntämistä myös muuhun vaativaan käyttöön tulisi selvittää. Paikallisella rikastamolla olisi mahdollisuus tuotteistaa myös teollisten sivuvirtojen grafiittia, joita on niin ikään selvitelty tässä raportissa.

Kupukan Grafiitti Oy:n esiintymissä on arvioitu reilut 20 milj. tn noin 3,4–5,3 p-% grafiittia sisältävää malmia. Tutkimuskohteille on kairattu tämän raportin valmistumisen aikaan vain yksittäisiä reikiä, ja tästä syystä varantoarvio on vielä luonteeltaan konseptuaalinen. Siikalatvan grafiittitutkimukset ovat tähän mennessä osoittaneet alueen olevan kiinnostava esiintymäpotentiaalin kaupallistamiseksi. Suomen grafiittipitoisia muodostumia ei ole juurikaan kairattu tai esiintymätonneja ei ole arvioitu, eikä tästä syystä luotetta-

vaa vertailukelpoista varantotietoa ole saatavilla. Aitolammen esiintymässä Heinävedellä on vastaava varantomäärä kuin Kupukassa. Tutkituissa kohteissa grafiittipitoisuudet ovat 5–10 %, ja tämänkin suhteen Siikalatvan grafiitti on verrattavissa muualla Suomessa tehtyihin potentiaaliarvioihin. Vaikka grafiittipotentiaali on katsottu merkittäväksi, niin Suomessa on silti vain muutama toimija alalla tällä hetkellä (Kupukan Grafiiti Oy ja Grafintech Oy).

3 GRAFIITTI JA SEN HYÖDYNTÄMINEN: ANALYYSI SUOMEN NÄKÖKULMASTA

3.1 Johdanto

Tämän luvun 3 ja luvun 4 sisältö perustuu Oulun yliopiston hankkeessa laadittuihin erillisraportteihin, joissa tarkasteltiin grafiitin hyödyntämistä, kansainvälisiä vertailukohteita sekä kaivostoiminnan vaikutuksia Suomen näkökulmasta. Raportit on julkaistu erillisinä dokumentteina (Korpela ym. 2026a: ”Grafiitti ja sen hyödyntäminen: analyysi Suomen näkökulmasta” ja Korpela ym. 2026b: ”Näkökulmia grafiitin hyödyntämiseen Siikalatvan kunnassa”), eikä niiden sisältöä toisteta tässä loppuraportissa yksityiskohtaisesti. Tässä luvussa 3 esitetään keskeisiä havaintoja ja johtopäätöksiä, jotka täydentävät luvussa 2 esitettyä markkina- ja taustatarkastelua.

Tarkastelluista kansainvälisistä esimerkeistä voidaan todeta, että grafiittituotanto on voimakkaasti keskittynyttä mutta samalla uusia hankkeita kehitetään aktiivisesti Pohjoismaissa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa sekä Afrikan maissa. Kaivostoiminnan toteuttamiskelpoisuuteen vaikuttavat erityisesti esiintymän laatu, infrastruktuuri, ympäristövaikutusten hallinta ja markkinatilanne.

Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset ovat aina kohdekohtaisia, mutta tyypillisimpiä vaikutuksia ovat maiseman muuttuminen, melu, pöly, vesienhallinta ja niistä aiheutuvat haasteet sekä alueelliset sosiaaliset vaikutukset. Kuitenkin onnistuneesti toteutetuilla hankkeilla voi olla merkittäviä myönteisiä aluetaloudellisia vaikutuksia sekä niillä voidaan varmistaa kriittisten mineraalien saantia poikkeusoloissa.

3.2 Grafiittikaivostoiminnan nykytila pohjoisilla alueilla

Pohjoisilla alueilla on käynnissä useita grafiittiin liittyviä kaivos- ja tutkimushankkeita Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Kanadassa, Alaskassa ja Grönlannissa. Tällä hetkellä alueella toimii kuitenkin vain kaksi merkittävää luonnongrafiittia tuottavaa kaivosta: Norjan Senjan saarella sijaitseva Skalandin kaivos, joka on Euroopan ainoa luonnongrafiittikaivos (Mineral Commodities 2025), sekä Kanadan Quebecissä sijaitseva Lac-des-Îlesin kaivos (Northern Graphite 2025a), joka on Pohjois-Amerikan ainoa tuotannossa oleva grafiittikaivos.

Samanaikaisesti useat hankkeet ovat eri kehitysvaiheissa malminetsinnästä kannattavuusselvityksiin. Kehityksen pisimmällä olevia hankkeita ovat muun muassa Ruotsin Vittangin grafiittiprojekti (Talga AB 2025) sekä Kanadan Matawinie- ja Bisset Creek -hankkeet (Northern Graphite 2025b), kun taas Norjan Jennestadissa (Mineral Commodities 2020) sekä Suomen Heinävedellä ja Siikalatvalla tutkimukset ovat varhaisemmissa vaiheissa (Grafintec Oy 2024, Kupukan Grafiiti Oy 2025). Lisäksi grafiittipotentiaalia tutkitaan useilla alueilla Ruotsissa, Grönlannissa ja Alaskassa. Hankkeiden kasvava määrä kuvastaa grafiitin lisääntyvää merkitystä erityisesti akkuteollisuudessa sekä Euroopan ja Pohjois-Amerikan pyrkimyksiä vahvistaa kriittisten raaka-aineiden omavaraisuutta.

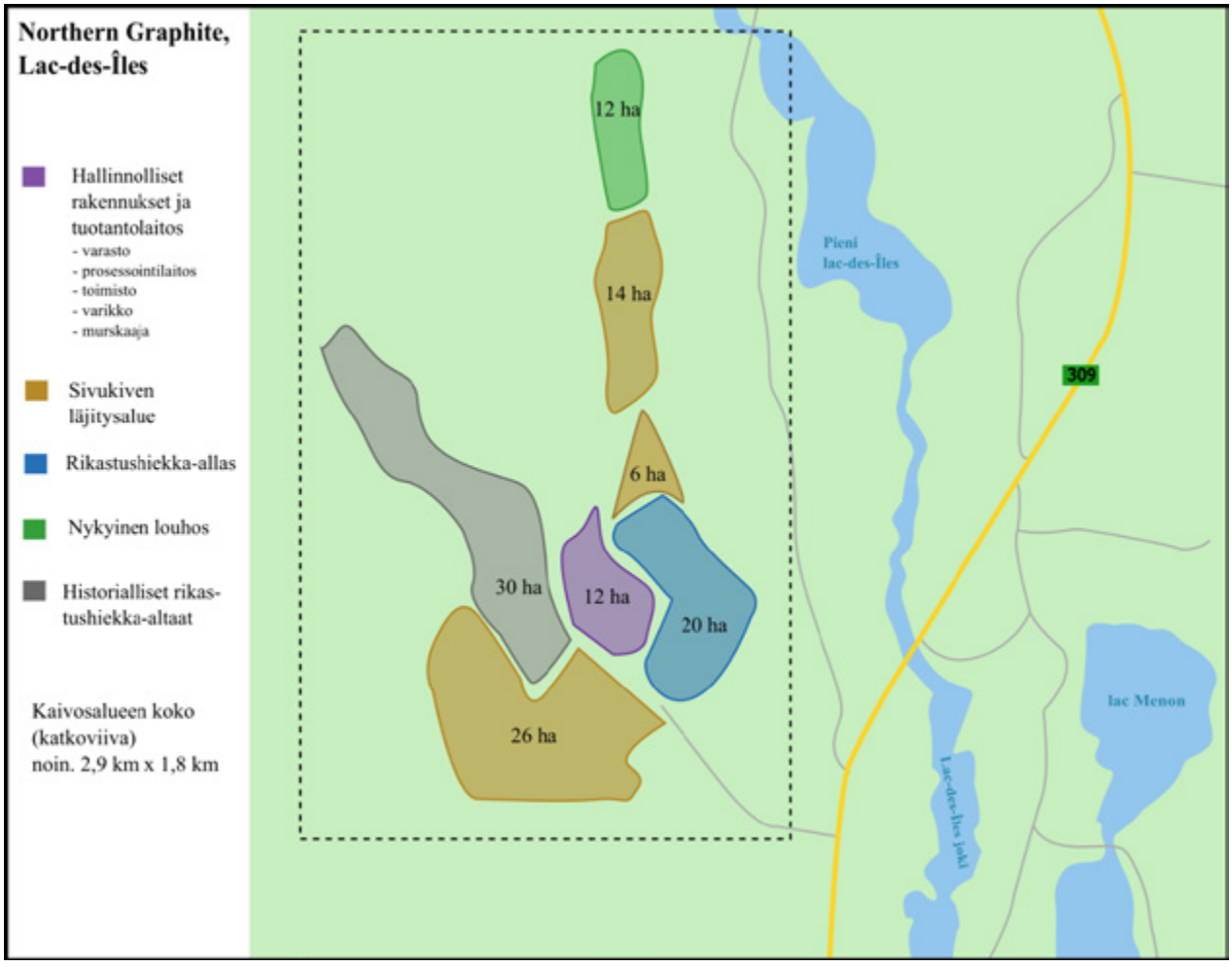
3.2.1 Kaivostoiminnan alueelliset vaatimukset

Kaivostoiminnan alueelliset vaatimukset riippuvat sekä esiintymän ominaisuuksista että alueellisesta infrastruktuurista. Malmivarannon koko, grafiittipitoisuus, suomukoko ja malmin laatu vaikuttavat muun muassa louhoksen mitoitukseen sekä rikastushiekan määrään ja laatuun. Hankkeen toteutettavuuden kannalta keskeisiä sijaintitekijöitä ovat puolestaan hyvät liikenneyhteydet, osaavan

työvoiman saatavuus, puhtaan veden saatavuus prosessitarpeisiin, luotettava sähkönsaanti sekä riittävä etäisyys asutukseen.

Erilaisten grafiittihankkeiden tarkastelun perusteella menestyvän kaivoksen sijainnin kannalta keskeisiä tekijöitä ovat hyvät liikenneyhteydet, riittävä etäisyys asutukseen, osaava työvoima, puhtaan veden saatavuus prosessitarpeisiin sekä luotettava sähkönsaanti. Nämä tekijät vaikuttavat merkittävästi hankkeen tekniseen toteutettavuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen.

Kaivos vaatii alueellisesti erilaisia toimintoja, jotka löytyvät lähes kaikista kaivoksista. Tällaisia ovat avolouhos tai maanalainen louhos, rikastamo ja muut hallinnolliset rakenteet, sivukiven läjitysalueet, rikastushiekan läjitysalueet sekä vesivarastoalueet. Kuvassa 21 on havainnollistettu näitä keskeisiä kaivoksen rakenteita ja niiden tilantarvetta Lac-des-Îles-kaivosalueella. Taulukossa 6 esitetään myös muiden grafiittikaivosten vastaavia tietoja vertailun tueksi.



Kuva 21. Lac-des-Îles-kaivoksen alueelle sijoittuvat kaivoksen rakenteet (El-Rassi ym. 2023, Korpela ym. 2026a).

Taulukko 6. Lac-des-Îles-kaivoksen lisäksi tässä taulukossa on esitetty muiden grafiittikaivosten vastaavien rakenteiden laajuudet. (Allaire ym. 2025, El-Rassi ym. 2023, Gignac ym. 2012, Golder 2020, Korpela ym. 2026a, Stinton ym. 2021, Todd ym. 2025).

	Bisset Creek	Matawinie	Graphite Creek	Woxna Graphite	Lac-des-Îles	Vittangi
Hallinnolliset rakennukset ja prosessointilaitos	3 ha	16 ha	12 ha	4 ha	12 ha	8 ha
Louhos	28 ha	55 ha	90 ha	14 ha	12 ha	12 ha
Rikastushiekka-allas	42 ha + 6 ha			30 ha	20 ha	
Sivukivien läjitysalue	28 ha			9 ha	46 ha	
Vedenkäsittelyaltaat		8 ha	15 ha	2 ha		
Yhteisläjitysalue		42 ha	190 ha			25 ha
Ylimääräisen maa-aineksen varastointi		24 ha				9 ha + 2 ha
Historialliset rikastushiekka-altaat					30 ha	

3.2.2 Jätehuolto

Kaivosteollisuus on Suomessa yksi suurimmista jätteiden tuottajista (Tilastokeskus 2026). Tilastokeskuksen jätetilaston (2026) mukaan valtaosa Suomessa syntyvistä jätteistä on mineraalijätteitä, joita muodostuu erityisesti kaivostoiminnassa, louhinnassa ja mineraalien jalostuksessa.

Grafiittikaivoksissa merkittävimmät kaivannaisjätteet ovat sivukivi ja rikastushiekka. Sivukiveä pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi maarakentamisessa, kaivostäytöissä tai rikastushiekka-altaiden rakenteissa mutta osa joudutaan varastoimaan kaivosalueelle. Rikastushiekka sijoitetaan yleensä erillisiin altaisiin, joista vedet kerätään ja kierrätetään takaisin tuotantoprosessiin. Erityistä huomiota kiinnitetään sulfidipitoisten jätteiden hallintaan, sillä ne voivat aiheuttaa happamia suotovesiä ja metallien liukenemista ympäristöön. Tämän vuoksi vedenhallinta, vesien puhdistus ja suljettu vedenkierto ovat keskeinen osa nykyaikaista kaivostoimintaa. Suomessa kaivannaisjätteiden ominaisuudet, vesienhallinta ja ympäristövaikutukset arvioidaan osana YVA- ja ympäristölupaprosesseja.

Tässä hankkeessa on tarkasteltu myös Siikalatvan grafiittipitoisten kivien rikastuksessa syntyvien rikastushiekkojen ympäristöominaisuuksia (ks. luku 10.5).

3.3 Grafiittikaivostoiminnan ympäristövaikutukset

3.3.1 Ympäristövaikutukset

Edellä olevissa kappaleissa on jo käsitelty kaivostoiminnan ja rikastuksen prosesseja ja niissä muodostuvia kaivannaisjätteitä. Kaivosten ympäristövaikutukset ovat kuitenkin yksilöllisiä ja siten riippuvaisia malmin tyypistä ja koostumuksesta sekä mineralogiasta, kaivoksen louhintamuodosta, prosessista, kaivosalueen ympäristöstä sekä mm. sen etäisyydestä asutukseen (Kauppila 2015).

Kaivostoiminnan merkittävimmät ympäristövaikutukset kohdistuvat tyypillisesti kaivosalueelle ja sen lähiympäristöön. Tyypillisiä vaikutuksia ovat maiseman muuttuminen, melu, tärinä, pöly sekä vaikutukset pinta- ja pohjavesiin ja paikallisiin elinympäristöihin. Vaikutusten laajuus riippuu käytettävästä kaivostyypistä, paikallisista olosuhteista ja ympäristön herkkyydestä. Ympäristöriskejä hallitaan muun muassa vesienkäsittelyn, suljetun vedenkierron, pölyn- ja meluntorjunnan sekä kaivannaisjätteiden hallinnan avulla. Toimintaa ohjataan ympäristöluvilla, joiden mukaisesti vaikutuksia seurataan koko kaivoksen elinkaaren ajan ja myös toiminnan päättymisen jälkeen. Lisäksi jo kaivoksen aktiivisessa vaiheessa jätealueita maisemoidaan ja esimerkiksi räjäytys-

ten suunnittelulla vähennetään niistä aiheutuvaa tärinää ympäristöön. Grafiitin tuotannon ympäristöetuina voidaan pitää sitä, että rikastuksessa ei käytetä voimakkaita happoja ja luonnongrafiitista valmistettavan anodimateriaalin energiankulutus ja hiilijalanjälki ovat selvästi synteettistä grafiittia pienemmät. (Kauppila 2015, Jacob Robin 2024.)

3.3.2 Vaikutukset alueen yhteisöön

Kaivostoiminnalla voi olla merkittäviä sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia alueelle. Uudet työpaikat ja yritystoiminta voivat vahvistaa paikallistaloutta, lisätä muuttovoittoa ja kasvattaa palveluiden kysyntää. Samalla väestökehitys, asumisen tarpeet ja liikennemäärät voivat muuttua, mikä voi edellyttää investointeja infrastruktuuriin ja julkisiin palveluihin. Kaivoshankkeisiin liittyvät näkemykset ovat usein jakautuneita, sillä taloudellisten hyötyjen rinnalla arvioidaan myös ympäristö- ja maisemavaikutuksia. Hankkeen hyväksyttävyyteen vaikuttavat muun muassa paikalliset olosuhteet, koetut hyödyt sekä avoin ja luotettava vuorovaikutus alueen toimijoiden kanssa. Lisäksi kaivostoiminnan taloudelliset vaikutukset ulottuvat suoria työpaikkoja laajemmalle, sillä teollinen toiminta luo kysyntää myös palvelu- ja alihankintasektorille sekä kasvattaa kuntien verotuloja. On tutkittu, että teollinen työpaikka synnyttää 1,3 työpaikkaa palvelualoille, ja lisäksi kaivos kasvattaa kunnan verotuloja. (Korpela ym. 2026a.)

3.3.3 Grafiitin käytön elinkaarivaikutukset

Grafiitin elinkaarivaikutuksia on toistaiseksi tutkittu melko vähän, ja erityisesti grafiittianodien valmistukseen ja kierrätykseen liittyvää tietoa on rajallisesti saatavilla. Nykyisten tutkimusten perusteella akkumateriaalien valmistus muodostaa merkittävän osan sähköautojen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöistä. Grafiitin osalta luonnongrafiitti on ympäristönäkökulmasta synteettistä grafiittia edullisempi vaihtoehto, sillä sen tuotanto vaatii vähemmän energiaa ja aiheuttaa pienemmät hiilidioksidipäästöt. Päästöihin vaikuttavat kuitenkin merkittävästi tuotannossa käytetty energialähde sekä kaivoksen ja jalostusprosessien tehokkuus. Kiinassa esimerkiksi käytetään paljon hiilivoimaa, joka kasvattaa päästöjä (Jacob Robin 2024). Pohjoismaissa korkealaatuiset esiintymät ja vähäpäästöinen sähköntuotanto voivat parantaa luonnongrafiitin kilpailukykyä myös ympäristönäkökulmasta. Grafiitin kierrätykseen liittyviä ratkaisuja kehitetään aktiivisesti, mutta anodigrafiitin tehokas materiaalikierrätys on edelleen teknisesti ja taloudellisesti haastavaa mutta kehittynee tulevaisuudessa (Niu ym. 2022).

3.4 Grafiittikaivostoiminnan tulevaisuus

Grafiittikaivostoiminnan tulevaisuuteen vaikuttavat samanaikaisesti markkinoiden kehitys, teknologinen innovaatio, ympäristövaatimukset sekä kierrätyksen yleistyminen. Sekä luonnon- että synteettisen grafiitin tuotantomenetelmiä kehitetään jatkuvasti energiatehokkaammiksi ja vähäpäästöisemmiksi, samalla kun kaivostoiminnassa pyritään parantamaan vedenhallintaa, vähentämään jätteen määrää ja löytämään uusia hyödyntämiskohteita sivuvirroille. Grafiitin kysynnän odotetaan kasvavan akkuteollisuuden tarpeiden myötä, mutta markkinoihin voivat tulevaisuudessa vaikuttaa myös vaihtoehtoiset anodimateriaalit ja tehostuva materiaalikierrätys. Vaikka uusia akkuteknologioita kehitetään aktiivisesti, grafiitin arvioidaan säilyvän keskeisenä anodimateriaalina vielä pitkään. Samalla erityisesti korkealaatuisille ja vastuullisesti tuotetuille luonnongrafiittiesiintymille nähdään kasvavaa kysyntää osana kriittisten raaka-aineiden toimitusvarmuuden vahvistamista.

4 NÄKÖKULMIA GRAFIITIN HYÖDYNTÄMISEEN SIIKALATVAN KUNNASSA

4.1 Johdanto

Kaivoksen perustaminen on pitkä ja monivaiheinen prosessi, joka edellyttää yhteistyötä viranomaisten, kuntien, yritysten ja muiden sidosryhmien välillä. Malminetsinnästä mahdollisen kaivostoiminnan käynnistymiseen voi kulua vuosikymmeniä, eikä suurin osa tutkimuskohteista etene tuotantoon asti. Hankkeiden suunnittelussa arvioidaan laajasti ympäristö-, yhteiskunta- ja talousvaikutuksia osana lupa-, kaavoitus- ja ympäristövaikutusten arviointimenettelyjä. Kunnilla on tärkeä rooli kaavoituksessa ja lausuntojen antamisessa, ja asukkaat voivat osallistua hankkeiden suunnitteluun eri kuulemis- ja osallistumismenettelyjen kautta.

Kaivostoiminta voi vahvistaa paikallistaloutta lisäämällä työpaikkoja, yritystoimintaa ja verotuloja sekä kasvattamalla palveluiden kysyntää. Samalla toiminta voi tuoda ympäristöön ja maankäyttöön liittyviä haasteita, joiden hallinta edellyttää pitkäjänteistä suunnittelua. Kaivosten sulkeminen ja alueiden jälkihoito huomioidaan jo toiminnan aikana, jotta ympäristövaikutuksia voidaan vähentää ja alueiden tulevaa käyttöä tukea.

4.2 Keskeiset havainnot kunnan näkökulmasta

Mahdollinen kaivoshanke vaikuttaa kuntaan erityisesti maankäytön suunnittelun, kaavoituksen, liikennejärjestelyjen sekä infrastruktuurin kehittämisen kautta. Kunnan rooli korostuu hankkeen eri vaiheissa yhteistyössä viranomaisten, asukkaiden ja toiminnanharjoittajan kanssa.

Mahdollisen kaivostoiminnan myönteisiä vaikutuksia voivat olla työpaikkojen lisääntyminen, kasvavat verotulot sekä palvelujen kysynnän ja tarjonnan laajentuminen. Samalla toiminta voi luoda uusia mahdollisuuksia paikallisille yrityksille erityisesti rakentamisen, kunnossapidon, logistiikan ja palvelutuotannon aloilla.

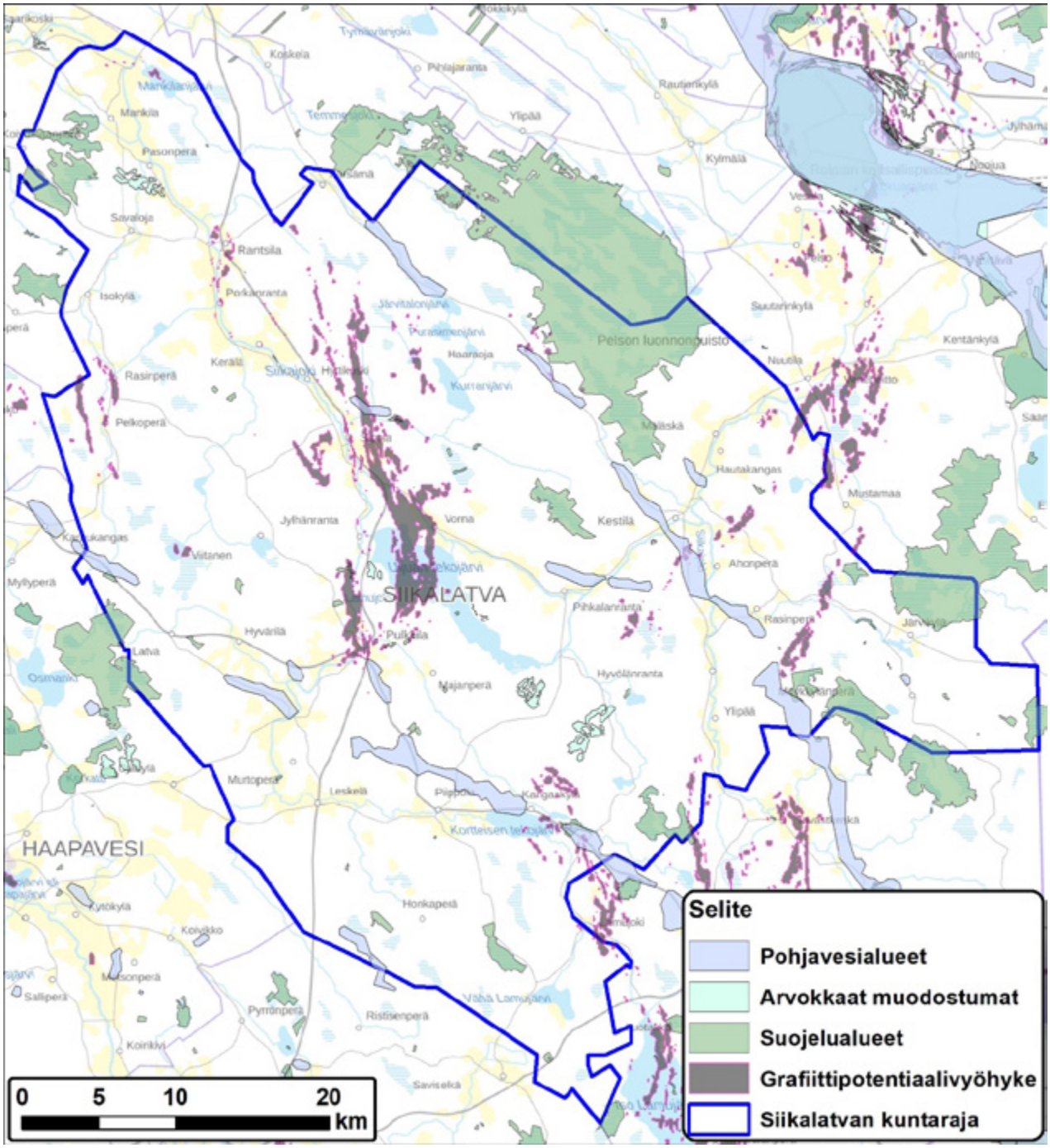
Haasteita voivat puolestaan aiheuttaa ympäristövaikutukset, lisääntyvä liikenne sekä mahdolliset ristiriidat muiden maankäyttömuotojen kanssa. Mahdollisten vaikutusten hallinta edellyttää pitkäjänteistä suunnittelua sekä vuoropuhelua eri osapuolten kesken.

4.3 Siikalatvan grafiittipotentiaali

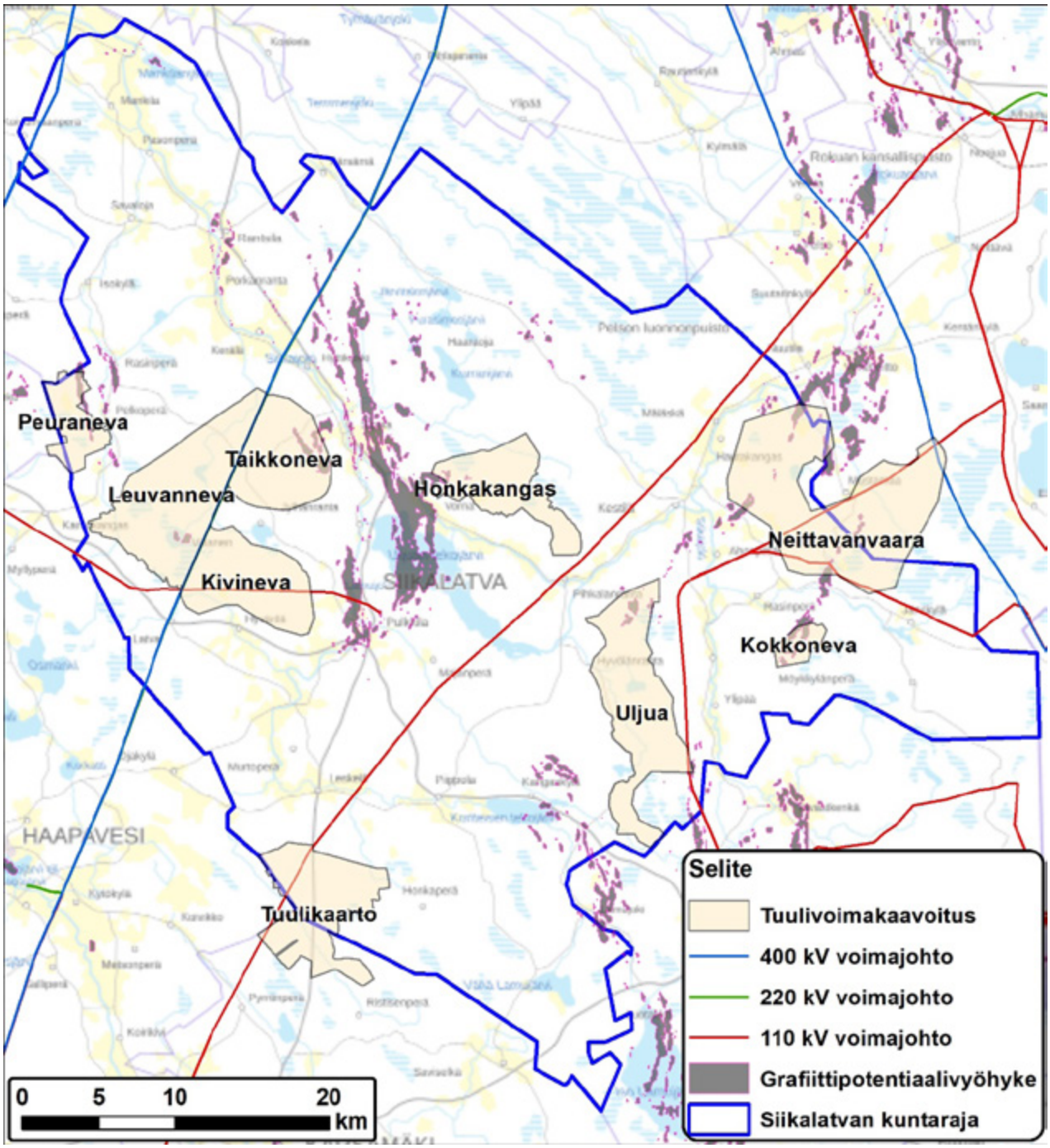
Siikalatvan grafiittipotentiaalista on saatu viitteitä jo useiden vuosikymmenten aikana eri tutkimusprojekteissa. Potentiaalia tarkastellaan tarkemmin tämän raportin kappaleessa 6. Tällä hetkellä tutkimuksia grafiitin hyödyntämiseksi suorittaa Kupukan Grafiitti Oy (aiemmin Suomen Malmitutkimus Oy), joka on saanut malminetsintälupia ja laajentanut tutkimuksiaan Rantsilan sekä Kangaskylän alueilla.

Tässä luvussa Siikalatvan grafiittipotentiaalia tarkastellaan GTK:n geofysikaalisten aineistojen ja niihin perustuvien mallinnusten pohjalta suhteessa maankäyttöön, suojelualueisiin, asutukseen ja infrastruktuuriin. Tarkastelun perusteella suurin osa Siikalatvan kunnan grafiittipotentiaalisista alueista sijoittuu suojelu- ja pohjavesialueiden ulkopuolelle.

Aiemmissa kappaleissa on käyty läpi asioita, jotka ovat uuden kaivostoiminnan kulmakiviä mm. infrastruktuurin osalta. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty Siikalatvan kunnan alueen potentiaalisimmat grafiittivyöhykkeet ja vyöhykkeille osuvat suojelu- ja pohjavesialueet sekä kaavoitetut tuulivoimakaavat. Osa Siikalatvan grafiittipotentiaalisista vyöhykkeistä sijoittuu nykyisten tai suunniteltujen tuulivoima-alueiden yhteyteen, kuten Peuranevan, Taikkonevan, Neittavanvaaran ja Kokkonevan alueille. Samalla useat grafiittivyöhykkeet sijaitsevat lähellä kantaverkon 110–400 kV:n voimajohtoja (Kuva 23), mikä tukee alueiden energiainfrastruktuurin saavutettavuutta.

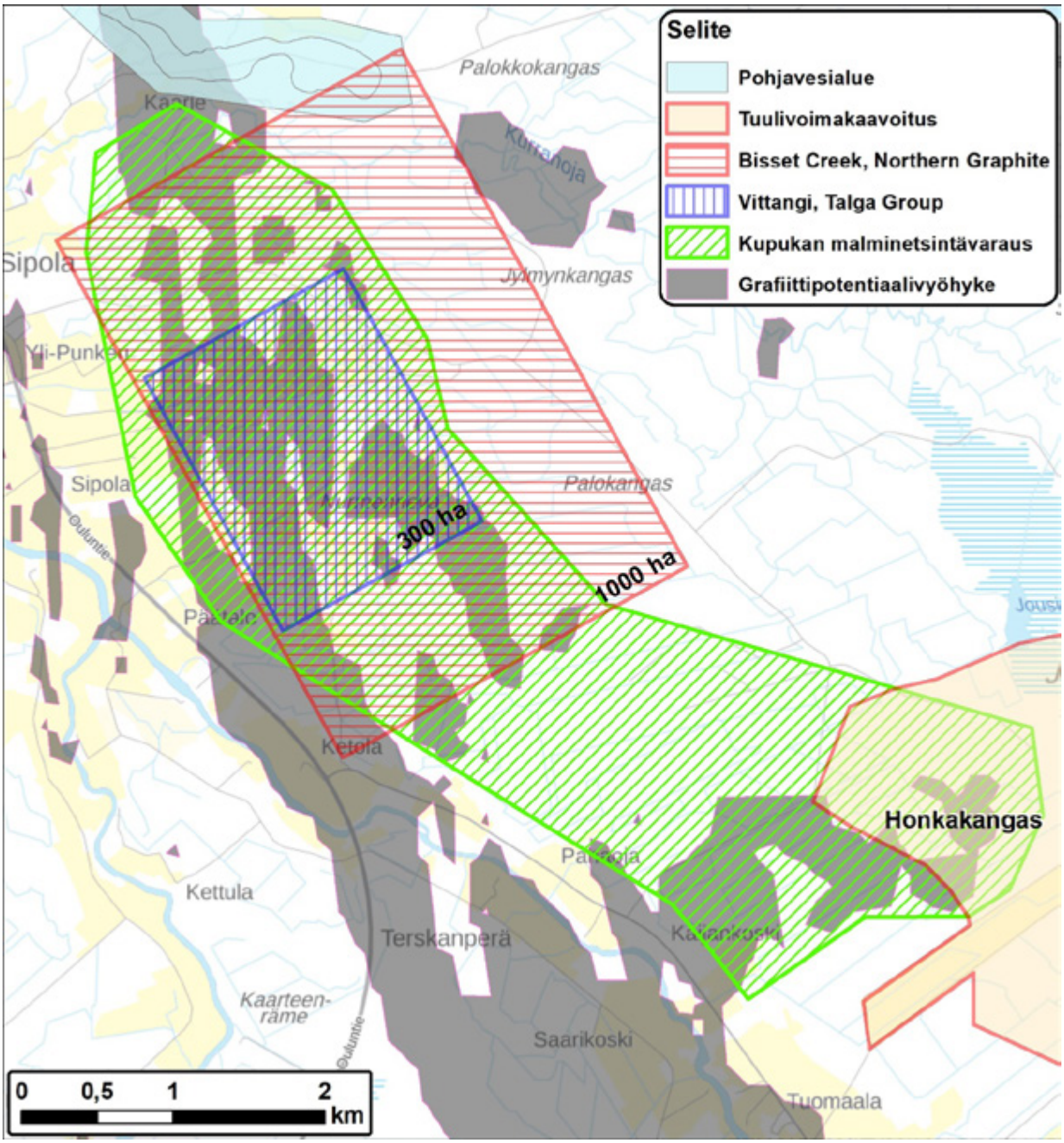


Kuva 22. Suojelu- ja pohjavesialueet sekä arvokkaat muodostumat suhteessa grafiittipotentiaalisiin vyöhykkeisiin (Korpela ym. 2026b).



Kuva 23. Siikalatvan kunnan tuulivoimakaavasuunnitelmat sekä Fingridin kantaverkon voimajohdot suhteessa grafiittipotentiaalisiin vyöhykkeisiin (Rauhala ym. 2026).

Kuvassa 24 on esimerkki, miten voidaan tarkastella grafiittipotentiaalisten vyöhykkeiden suhdetta läheisiin suojelu-, pohjavesi- ja tuulivoimakaava-alueisiin sekä niin, että siihen on suhteutettu vyöhykkeiden kokoa verrattuna Bisset Creekin ja Vittangin grafiittikaivosalueiden kokoon. Vittangin hankkeen kaivostoiminnot rajautuvat pienemmälle alueelle (n. 1,5 x 1,9 km eli n. 300 ha), kun taas Bisset Creekin kaivostoiminnot suuremmalle alueelle (n. 3,9 x 2,6 km eli n. 1000 ha). Kartan tavoitteena on antaa yleiskuva kohteiden mittakaavasta, eikä niitä tule tulkita varsinaisina kaivosalueiden rajauksina. Esimerkiksi Bisset Creekin tapauksessa rajatun alueen sisälle sisältyy myös muuta kuin kaivostoimintaan liittyvää maankäyttöä ja infrastruktuuria. Vittangin ja Bisset Creekin hankkeiden yksityiskohtaisempi tarkastelu on esitetty hankkeessa laaditussa erillisraportissa (Korpela ym. 2026b). Vastaavat tarkastelut on tehty Pakkulannevan alueelle, Kangaskylän, Peuranevan ja Pulkanrämeelle, ja ne löytyvät laajemmin raportista (Korpela ym. 2026b).



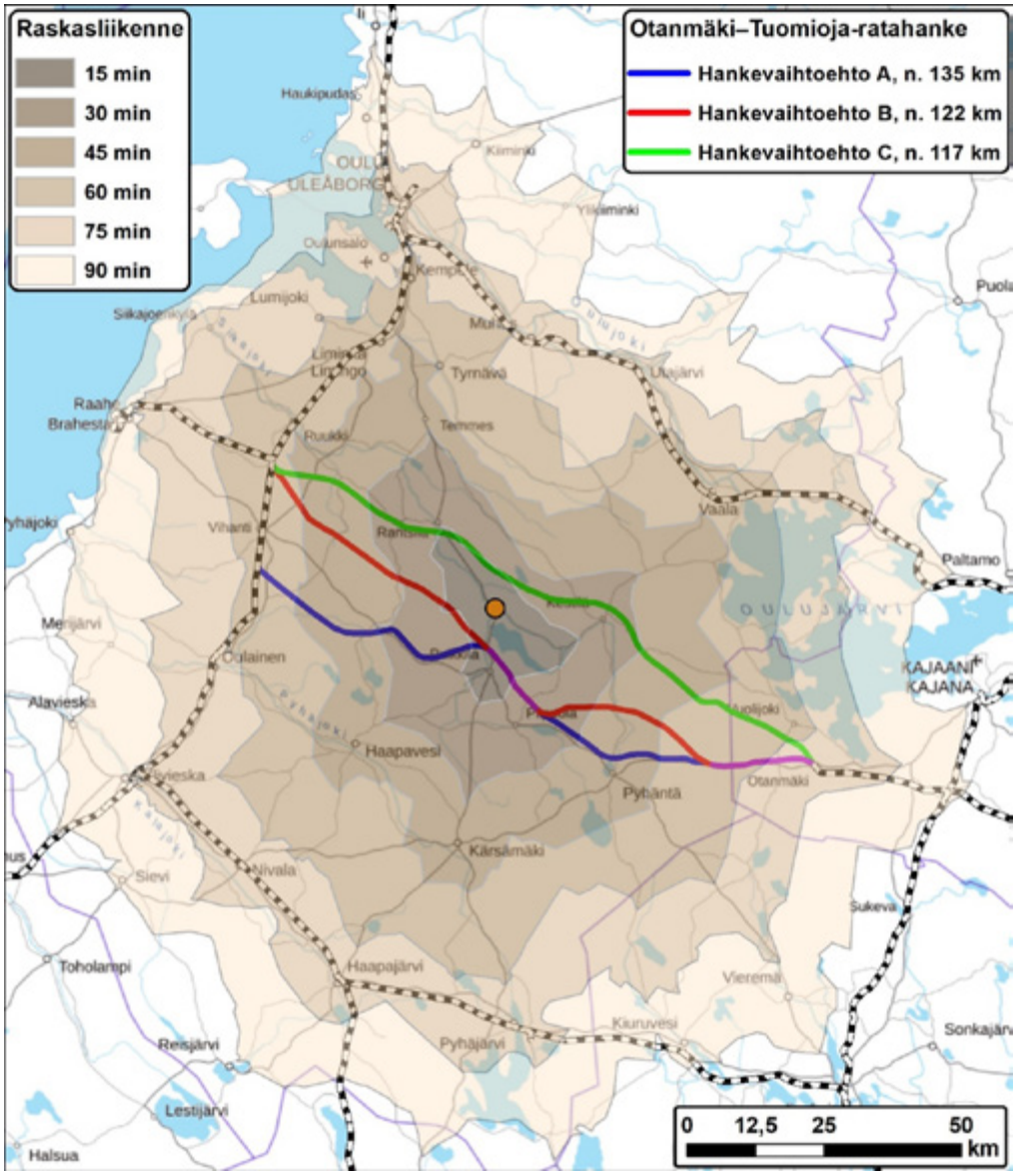
Kuva 24. Kupukan malminetsintävaraus (Kupukka Etelä) suhteessa alueella oleviin grafiittipotentiaalisiin vyöhykkeisiin sekä eri kokoluokan grafiittihankkeisiin (Korpela ym. 2026b).

Kokonaisuutena tarkastellen Kupukan Grafiitti Oy:n malminetsintä- ja varausalueet ovat kaivostoiminnan näkökulmasta Siikalatvan suotuisimpia kohteita, kun huomioidaan grafiittipotentiaali, maankäyttö, liikenneyhteydet, sähköverkko sekä suojelu- ja tuulivoima-alueet.

GTK:n geofysikaalisiin aineistoihin perustuvien mallinnusten perusteella yksi Siikalatvan merkittävimmistä grafiittipotentiaalisista vyöhykkeistä sijoittuu osittain Uljuan tekojärven alueelle. Alueen potentiaalista on saatu viitteitä myös GTK:n suorittamissa tutkimuskairauksissa (ks. kappale 6). Grafiittipotentiaaliset vyöhykkeet perustuvat sähköä johtavien kallioperäalueiden tunnistamiseen, ja niiden todellinen hyödyntämiskelpoisuus voidaan arvioida vasta tarkemmilla kairauksilla ja rikastuskokeilla. Mahdollisen kaivostoiminnan toteutettavuuteen vaikuttavat geologisten tekijöiden lisäksi erityisesti vesihuollon ja energiainfrastruktuurin saatavuus. Vesistöihin ja vedenottoon liittyvät vaikutukset tarkasteltaisiin mahdollisen hankkeen myöhemmissä ympäristövaikutusten arvioinneissa. Siikalatvan kannalta vahvuutena voidaan pitää alueella sijaitsevaa sähköverkkoa ja uusiutuvan energiantuotannon kapasiteettia, jotka voivat tukea mahdollisen kaivos- tai jalostustoiminnan energiatarpeita.

4.3.1 Liikenneyhteydet

Liikenneyhteydet ovat keskeinen tekijä mahdollisen kaivostoiminnan toteutettavuuden kannalta, sillä ne vaikuttavat sekä alueen infrastruktuuritarpeisiin että tuotteiden kuljetukseen jatkojalostukseen ja markkinoille. Nykytilanteessa kuljetukset tukeutuisivat pääosin maantieliikenteeseen, mutta Oulun ja Raahen satamat sekä lähimmät rautatieliikennepaikat ovat saavutettavissa kohtuullisessa ajassa (Kuva 25). Mikäli suunnitteilla oleva Otanmäki-Tuomioja-ratahanke toteutuisi, se voisi parantaa merkittävästi alueen logistista saavutettavuutta ja mahdollistaa nykyistä tehokkaammat raideliikennekuljetukset.



Kuva 25. Otanmäki–Tuomioja-ratahankkeen vaihtoehdot sekä raskaan maantieliikenteen matka-ajat nykyistä tieverkkoa pitkin, kun lähtöpaikaksi on valittu valtatien 4 (E75) sekä Kestiläntien risteys lähellä Kupukan Grafiitti Oy:n malminetsintälupa-aluetta (oranssi ympyrä) (Korpela ym. 2026b).

Mahdollisen Otanmäki-Tuomioja-ratayhteyden toteutuminen riippuu pitkälti Otanmäen kaivostoiminnan käynnistymisestä. Selvitysten mukaan alueen itä-länsisuuntaisella rataverkolla on nykyisin hyvin kapasiteettia tavaraliikenteelle, kun taas pohjois-eteläsuuntaisilla yhteyksillä kapasiteettirajoitteet voivat muodostua merkittävämmiksi tulevaisuudessa. Kuljetusten kannattavuus riippuu etäisyyksistä ja kuljetusmuotojen yhdistämisen tarpeesta, mutta kansainvälisten vertailujen perusteella maantiekuljetukset ovat usein lyhyillä ja keskipitkillä etäisyyksillä kilpailukykyisin ja joustavin vaihtoehto.

5 KAIVOSTOIMINNAN PAIKALLISTALOUDELLISET VAIKUTUKSET JA LIIKETOIMINTAPOTENTIAALI SIIKALATVALLA

5.1 Johdanto

Kaivostoiminta on perinteisesti ollut merkittävä osa Suomen teollista ja alueellista kehitystä, erityisesti harvaan asutuilla alueilla, joissa sen vaikutukset talouteen, työllisyyteen ja elinvoimaan korostuvat. Osa kaupungeista on jopa kehittynyt kaivostoiminnan ympärille, kuten Outokummussa. Viime vuosina kriittisten mineraalien ja erityisesti akkuteknologioihin liittyvien raaka-aineiden kysynnän kasvu on lisännyt kiinnostusta uusien esiintymien hyödyntämiseen, mikä on tuonut kaivostoiminnan ajankohtaiseksi myös Pohjois-Pohjanmaan alueella. Alueella on useita eri vaiheessa olevia projekteja, kuten Otanmäellä ja Koillismaalla titaanin, vanadiinin ja raudan osalta kuin myös platinaryhmän alkuaineiden (PGE) ja nikkelin, kuparin, kullan ja koboltin osalta.

Siikalatvan alueen suomugrafiittiesiintymillä arvioidaan olevan potentiaalia tulevaisuuden kaivostoiminnalle, mikäli sen teknistaloudellinen kannattavuus ja ympäristöllinen hyväksyttävyys voidaan osoittaa. Mahdollinen kaivoshanke herättää kiinnostusta paitsi raaka-ainemarkkinoiden näkökulmasta myös paikallisen ja alueellisen talouskehityksen kannalta. Raaka-aineet ovat myös keskeinen huoltovarmuuskysymys.

Tässä luvussa tarkastellaan mahdollisen kaivostoiminnan tuomaa liiketoimintapotentiaalia Siikalatvalla malminetsintävaiheesta mahdollisen kaivoksen tuotantovaiheeseen. Tarkastelu keskittyy muun muassa paikallisten yritysten osallistumismahdollisuuksiin, uusien liiketoiminta-edellytysten muodostumiseen sekä toimialoihin, joiden kautta mahdollinen kaivoshanke voisi vaikuttaa paikalliseen taloudelliseen elinvoimaisuuteen. Lisäksi tarkastellaan Siikalatvan yritys- ja palvelurakenteen valmiuksia vastata mahdollisen kaivoshankkeen tarpeisiin sekä sen tuomiin mahdollisuuksiin liittyviä epävarmuustekijöitä.

Tavoitteena on tuottaa yleisluontoinen kuva siitä, millaisia taloudellisia mahdollisuuksia ja haasteita mahdollinen kaivostoiminta voisi tuoda paikalliselle elinkeinoelämälle Siikalatvalla, tarjota tietoa päätöksenteon tueksi ja tukea sidosryhmien välistä vuoropuhelua hankkeen päätyttyä.

5.2 Tarkasteltavat kaivoksen elinkaaren vaiheet

Mahdollisen kaivoshankkeen vaikutukset paikalliseen elinkeinoelämään vaihtelevat merkittävästi hankkeen elinkaaren eri vaiheissa. Seuraavissa alaluvuissa kuvataan pääpiirteittäin raportissa tarkasteltavat kaivosta edeltävä malminetsintävaihe sekä kaivoksen rakentamis- ja tuotantovaiheet. Alalukujen tarkoituksena on antaa kaivostoimintaan perehtymättömälle lukijalle nopea yleiskuva näistä vaiheista ja pohjustaa myöhempää tarkastelua, jossa arvioidaan niiden Siikalatvalle mahdollisesti tarjoamia liiketoimintamahdollisuuksia.

5.2.1 Malminetsintä

Malminetsinnän tavoitteena on ensikädessä paikantaa mineraaliesiintymä ja selvittää, sisältääkö tutkittava alue mineraalivaroja, joiden hyödyntäminen voisi olla teknisesti, taloudellisesti, ympäristöllisesti ja sosiaalisesti toteuttamiskelpoista. Tutkimukset etenevät vaiheittain olemassa olevan geologisen aineiston tarkastelusta maastotutkimuksiin ja edelleen geofysikaalisiin mittauksiin, mahdollisesti geokemiallisiin tutkimuksiin ja jossain vaiheessa tutkimuskairauksiin asti. Kalliimpiin tutkimuksiin ryhdytään vasta sitten, kun aiemmat tulokset antavat niihin riittävät perusteet. Tutkimusten edetessä esiintymän kokoa, laatua ja rikastettavuutta selvitetään tarkemmin. Myöhemmissä vaiheissa laaditaan teknisiä, taloudellisia ja ympäristöön liittyviä arvioita, joiden perusteella ratkaistaan, onko hankkeella edellytyksiä edetä kaivoslupamenettelyihin ja yksityiskohtaiseen kaivossuunnitteluun.

Valtaosa malminetsintähankkeista ei johda kaivoksen perustamiseen, sillä esiintymää ei paikanneta lainkaan tai esiintymä voi osoittautua taloudellisesti kannattamattomaksi tai sen hyödyntämiseen voi liittyä merkittäviä ympäristöllisiä tai sosiaalisia rajoitteita. Malminetsintä on pitkä prosessi, ja ensimmäisistä tutkimuksista mahdollisen kaivostoiminnan aloittamiseen voi kulua yli kymmenen vuotta.

5.2.2 Kaivoksen rakentaminen

Kaivoksen rakentaminen on monivuotinen prosessi, joka kestää tyypillisesti kahdesta kolmeen vuotta. Se sisältää kaivokselle johtavien teiden sekä tarvittavan infrastruktuurin, kuten vesi-, viemäri-, sähkö- ja tietoliikenneverkkojen, rakentamisen. Samalla valmistellaan alueita tuleville rakennuksille. Näiden jälkeen seuraa kaivostoimintaan tarvittavien tukirakennusten, kuten toimistojen, kunnossapitohallien, varastojen, mahdollisten majoitustilojen sekä keittiö- ja ruokalarakennusten, rakentaminen. Merkittävä osa tästä työstä on monelta osin verrattavissa muiden teollisuuden haarojen suurten laitosten rakennusprojekteihin. Rakentamisen keskeinen erityispiirre liittyy itse kaivokseen, murskaus- ja rikastuslaitokseen, rikastushiekka-alueeseen sekä pysyviin sivukiven varastointialueisiin, erityisesti silloin, kun sivukivet luokitellaan happoa muodostaviksi.

Ennen louhoksen varsinaisen toiminnan käynnistämistä pintamaat poistetaan louhosalueelta ja sivukiveä louhitaan, jotta ensimmäiset malmipenkat saadaan paljastettua ja valmisteltua tuotantoa varten. Alkuvaiheessa louhintaa täytyy tehdä riittävästi etukäteen, jotta rikastuslaitokselle voidaan toimittaa riittävästi malmia nimelliskapasiteetin ylläpitämiseksi.

5.2.3 Kaivoksen tuotantovaihe

Kaivoksen tuotannon käynnistyessä kaivos alkaa tuottaa louhitusta malmista rikastetta. Rikasteella tarkoitetaan raaka-ainetta, joka on erotettu rikastusprosessien kautta muusta mineraaliaineksesta, ja näitä prosesseja on avattu tarkemmin Siikalatvan grafiitin rikastuskokeista kertovassa luvussa 7.

Rikaste on kaivoksen päätuote, mikäli tuotantoprosessiin ei kuulu mahdollinen rikasteen jatkojalostus. Grafiitin tapauksessa jatkojalostuksen luonne on riippuvainen lopputuotteen käyttökohteesta. Grafiitin jatkojalostuksen voidaan sanoa olevan pitkälle erikoistunut oma toimialansa, ja tämän hankkeen kohteena olevat vihreän siirtymän edellyttämät akkuteknologian sovellutukset anodeissa ovat tällä hetkellä nopeimmin kasvava grafiitin käyttökohde. Suomessa ei toistaiseksi ole grafiittianodimateriaalin jalostuslaitosta. Kotkaan on suunnitteilla Grafintec Oy:n anodimateriaalitehdas (Grafintec Oy 2026b), ja Ruotsissa toimiva Talga AB suunnittelee grafiittikaivoshankkeeseen integroitua anodimateriaalin jalostuslaitosta Luulajaan.

Kaivoksen toiminta suunnitellaan niin, että tuotanto pyörii ympärivuorokautisesti. Kaivoksen toiminta-ajan kesto vaihtelee suuresti; keskimääräinen toiminta-aika on 10–20 vuotta. Toiminta-ajan kestoon vaikuttavat esiintymän arvioidut malmivarat, tuotettavien raaka-aineiden markkinatilanne, talouspoliittiset päätökset ja teknologinen kehitys.

5.3 Kaivostoiminnan paikallistaloudelliset vaikutukset ja niiden toteutumisen edellytykset Siikalatvalla

5.3.1 Kaivostoiminnan paikallistaloudellisten vaikutusten muodostuminen

Kaivoksilla on kautta historian ollut merkittävä vaikutus niiden vaikutuksen piirissä olevien alueiden taloudelliseen ja yhteiskunnalliseen kehitykseen. Monilla seuduilla kaivos on muuttanut paikallisen elinkeinorakenteen perusteellisesti ja synnyttänyt uutta yritystoimintaa sekä uutta infrastruktuuria. Taloudelliset vaikutukset näkyvät uusina työpaikkoina sekä itse kaivoksessa että sen ulkopuolella, kasvaneena kysyntänä kaivostoimintaa tukeville yrityksille sekä työllisten määrän kasvusta johtuvan lisääntyneen ostovoiman aiheuttamana kysynnännousuna yksityisille palveluille.

Kaivostoiminnan kokonaisvaikutukset paikallistalouteen muodostuvat sekä välittömistä vaikutuksista että välillisistä mekanismeista. Välittömillä vaikutuksilla tarkoitetaan suoraan kaivostoimialan tuotosta, arvonlisää ja työllisten määrää. Välillisinä vaikutuksina paikallistaloudessa toimivat kaivostoiminnan kytkennät muihin toimialoihin, kun kaivos käyttää muiden toimialojen palveluita ja tuotteita. Välilliset vaikutukset heijastuvat erityisesti teollisuuden, kuljetuksen ja varastoinnin, energiahuollon sekä tukku- ja vähittäiskaupan toimialoihin.

5.3.2 Siikalatvan yritys- ja palvelurakenteen vahvuudet ja kehittämistarpeet

Alueella valmiiksi olemassa oleva yritys- ja palvelurakenne vaikuttaa merkittävästi kaivostoiminnan paikallistaloudellisten vaikutusten laajuuteen. Mikäli alueella toimii ennestään monipuolises-

ti eri toimialojen yrityksiä, joilla on sekä toimialansa luonteen että kapasiteettinsa puolesta kyky vastata kaivoksen luomaan palveluntarpeeseen, suurempi osa kaivoksen tarvitsemista tuotteista ja palveluista voidaan hankkia paikallisesti. Tällaisissa tapauksissa kaivoksen synnyttämästä taloudellisesta hyödystä suurempi osa jää alueelle, kun paikalliset yritykset voivat osaltaan vastata kasvavaan kysyntään ja kasvattaa liiketoimintaansa. Vastavuoroisesti kaivoksen vaikutukset paikallistaloudelle ovat hyvin erilaisia alueella, jolla edellä mainitun kaltainen monipuolinen toimialojen verkosto suurella toimintakapasiteetilla puuttuu. Tällöin suurempi osa työvoimasta, urakoinnista ja palveluista joudutaan hankkimaan alueen ulkopuolelta, mikä vähentää paikallistalouteen kohdistuvia välittömiä hyötyjä. Toisaalta pitkäikäisen kaivoksen tapauksessa alueen ulkopuoliset toimijat voi laajentaa toimintaansa pysyväisluonteisesti alueelle ja myös kokonaan uusien yritysten syntymiselle on paremmat edellytykset (Fleming & Measham 2014, Moritz ym. 2017).

Siikalatvan tilanne vastaa jossain määrin jälkimmäistä vaihtoehtoa. Alueen väestöpohja, työvoiman saatavuus ja kaivostoimintaa palvelevien yritysten määrä ovat nykyisellään mahdollisen kaivoshankkeen tarpeet huomioiden rajallisia. Suurin puute alueen yritysrakenteessa mahdollista kaivostoimintaa silmällä pitäen liittyy majoitusliiketoimintaa ja ravintolapalveluja tarjoaviin yrityksiin. Lisäksi asuntotarjonta on hyvin rajallista esimerkiksi vuokra-asuntojen kohdalla.

Suurin hetkellinen tarve edellä mainituille palveluille liittyy mahdollisen kaivoksen rakentamisvaiheeseen, jolloin työvoiman ja palveluiden tarve on suurimmillaan. Tämä vaihe luo myös muita haasteita: koska rakentamisvaiheen jälkeen kaivoksen tuotantovaiheeseen siirryttäessä työvoiman ja palveluiden tarve pienenee merkittävästi, korostuu mahdollisten investointien suhteuttamisen merkitys. Edellä mainitut puutteet paikallisissa resursseissa huomioiden on myös oletettavaa, että erityisesti rakentamisvaiheessa merkittävä osa työvoimasta, palveluista ja urakoinnista jouduttaisiin hankkimaan alueen ulkopuolelta.

Siikalatvan yritys- ja palvelurakenteen erityisiä vahvuuksia on turvetuotannon sekä maanrakennuksen yhteydessä kehittynyt kuljetusalan osaaminen. Alueella toimii useita yrityksiä, joilla on pitkä kokemus turvetuotannosta ja siihen liittyvistä logistiikkapalveluista. Osa turvetuotannossa ja maanrakennuksessa käytetystä kuljetuskalustosta voisi soveltua sellaisenaan tai muutostöiden jälkeen kaivoshankkeen maa-aines- ja materiaalikuljetuksiin, mikä luo paikallisille yrityksille hyvät edellytykset osallistua sekä mahdollisen kaivoksen rakentamis- että tuotantovaiheen kuljetustehtäviin. Lisäksi kunnassa toimii yrityksiä, joilla on kokemusta teollisen mittakaavan maanrakennusurakoinnista, mikä tukee alueen valmiuksia vastata kaivoshankkeen rakentamisen ja infrastruktuurin kehittämisen tarpeisiin.

5.3.3 Kasvaneet palkkatulot, väestökehitys ja asuminen

Suorien työllisyys- ja yritysvaikutusten lisäksi keskeisiä tarkastelukohteita ovat kotitalouksien kulutuskysynnän muutokset, väestökehitys sekä näiden vaikutukset palvelutarjontaan. Kaivostoiminnasta seuraava suorien ja epäsuorien työpaikkojen kasvu lisää alueella maksettavia palkkatuloja ja vahvistaa paikallisiin palveluihin kohdistuvaa ostovoimaa. Tällä on myönteisiä vaikutuksia erityisesti vähittäiskauppaan sekä erilaisiin yksityisiin ja julkisiin palveluihin.

Kasvaneiden palkkatulojen vaikutus on osin riippuvainen siitä, kuinka suuri osa kaivoksen työntekijöistä asuu vakituisesti Siikalatvalla ja kuinka suuri osa käy työssä ulkopaikkakunnista. Vaikka työntekijä ei muuttaisikaan paikkakunnalle, hän käyttää silti työssäkäyntikunnassaan paikallisia palveluita, esimerkiksi ravitsemispalveluissa sekä päivittäistavaroiden ja polttoaineen hankinnassa. Tämän vuoksi kaivostoiminnan vaikutukset paikalliseen palvelusektoriin eivät ole riippuvaisia yksinomaan muuttoliikkeestä.

Mahdolliseen muuttoliikkeen kasvuun vaikuttavat puolestaan monet tekijät, kuten työmatkan pituus, asumisen kustannukset, alueen palvelutaso, puolison työllistymismahdollisuudet sekä vapaa-ajan palvelut. Osa työntekijöistä ja heidän perheistään voi päätyä muuttamaan Siikalatvalle, mikä kasvattaisi asumisen, vähittäiskaupan sekä muiden palveluiden kysyntää. Kasvava väestöpohja voi samalla vahvistaa edellytyksiä uusien palveluiden syntymiselle ja nykyisten palveluiden kehittymiselle. Palvelut ovatkin tässä suhteessa sekä muuttoliikkeeseen vaikuttava tekijä että sen seuraus: monipuolinen palvelutarjonta lisää alueen houkuttelevuutta, ja kasvava väestö puolestaan tukee palveluiden säilymistä ja laajenemista.

Muuttoliikkeen toteutuminen ei kuitenkaan riipu yksinomaan työntekijöiden halukkuudesta muuttaa alueelle vaan myös siitä, onko tarjolla riittävästi heidän tarpeitaan vastaavia asuntoja. Asuntotarjonta voi muodostua merkittäväksi muuttoa rajoittavaksi tekijäksi tilanteessa, jossa työpaikkojen määrä kasvaa nopeasti. Tämän vuoksi kaivostoiminnan mahdollisesti synnyttämää muuttoliikettä olisi syytä arvioida mahdollisimman tarkasti jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. Ennakoiva tarkastelu tukee kunnan päätöksentekoa erityisesti asuntotuotannon, infrastruktuurin sekä palveluiden kehittämisen osalta ja auttaa varautumaan sekä mahdollisen väestönkasvun että työssäkäyntiliikenteen aiheuttamiin muutoksiin.

5.4 Malminetsintään liittyvä liiketoimintapotentiaali

Grafiittiin liittyvä malminetsintä Siikalatvalla on tuore ilmiö ja aktiivista toimintaa on ollut vasta muutamia vuosia. Toiminta on kuitenkin vuosi vuodelta kiihtynyt, ja tutkimustulokset ovat antaneet alustavia viitteitä siitä, että tutkitulla esiintymällä voisi olla potentiaalia edetä kaivokseksi asti. Samoin tässä hankkeessa on piirtynyt kuva myös alueen laajemmasta potentiaalista, joka on edelleen varsin tutkimaton. Malminetsintää harjoittavalle yritykselle alkuvaiheen kustannuksista pääosa muodostuu maanomistajille maksetuista korvauksista, kaivoslain mukaisen luvituksen maksuista ja moninaisista geologisista tutkimuksista. Näistä viimeisessä käytetään hyödyksi erilaisia palveluntarjoajia, jotka ovat erikoistuneet kukin tiettyyn palvelusektoriin, kuten kalliokairaukseen. Erityisesti malminetsinnän edetessä kannattavuusarvioihin ovat niiden edellyttämät laajat satojen metrien syvyyteen ulottuvat profiilikairaukset erittäin merkittävä kuluerä.

Malminetsintävaiheen liiketoimintapotentiaali on erittäin riippuvaista toiminnan laajuudesta ja kestosta. Malminetsintäyhtiöiden paikallisille yrityksille kohdistuva palveluntarve on varsinaiseen kaivostoimintaan verrattuna hyvin pientä. Malminetsinnän palveluntarpeita ja tutkimuksissa käytettävät kairaus- ja analyysipalvelut tilataan yleensä kyseiseen toimintaan erikoistuneilta kansallisilta toimijoilta. Muu tarve koskettaa näytteiden varastointiin ja käsittelyyn tarvittavia tilapalveluja, tilapäistä majoitustarvetta sekä ravintolapalveluja. Malminetsintäyhtiöt hyödyntävät myös tarpeen vaatiessa esimerkiksi kaivinkoneyrittäjiä ja metsureita valmistellessaan esimerkiksi tutkimusojia tai kairauspaikkaa. Pienimuotoisen ja lyhytkestoisen malminetsinnän paikallistaloudelliset vaikutukset ovat melko pieniä mutta voivat tuoda hetkellisesti merkittäviäkin lisätuloja yksittäisille yrityksille. Mikäli malminetsintä on laajamittaista ja pitkäkestoista, voivat sen kumulatiiviset talousvaikutukset olla kuitenkin merkittäviä laajemminkin (Konnunaho ym. 2021).

Vaikka malminetsinnän suorat vaikutukset paikalliseen elinkeinoelämään ovat rajallisia, on vaihe kuitenkin merkittävä myös siltä osin, että sen etenemisen, laajenemisen ja tutkimustulosten aktiivinen seuraaminen antaa paremmat mahdollisuudet ennakoida hankkeen etenemistä kohti varsinaista kaivoshanketta.

5.5 Kaivoksen rakentamiseen liittyvä liiketoimintapotentiaali

Kaivoksen rakentaminen on kaivoshankkeen elinkaaren investoinneiltaan suurin yksittäinen vaihe, ja sen aikana tarvittavan työvoiman määrä on tyypillisesti huomattavan paljon suurempi verrattuna tuotantovaiheeseen. Rakentamisvaihe kestää tyypillisesti vähintään kaksi vuotta. Rakentamisvaihe on kestoltaan tuotantovaiheeseen verrattuna lyhyt, jolloin kumulatiivinen työllistävyys ja kumulatiiviset talousvaikutukset ovat pienemmät. Tästä huolimatta rakentamisvaiheen aikana kaivoshankkeen vaikutukset paikallistaloudessa näkyvät usein kaikkein voimakkaimmin.

Ruotsissa Talga AB:n Vittangin grafiittikaivoksen rakentamiskustannuksiksi arvioitiin vuoden 2021 tarkentavissa kannattavuuslaskelmissa 165 miljoonaa euroa, josta infrastruktuurin osuus oli 84 miljoonaa euroa. Osa infrastruktuurin osuudesta liittyy jatkojalostuslaitoksiin eli varsinaisen kaivoksen ja rikastamon rakentamiskustannukset ovat jonkin verran pienemmät (Talga AB 2021). Vittangin kaivoksen esiintymä on luonteeltaan hyvin erilainen verrattuna Siikalatvan Uljuan altaan pohjoispuolella sijaitseviin esiintymiin. Vittangin hankkeen ensimmäisessä vaiheessa hyödynnettävä Nunasvaaran esiintymä on pitoi-

suuksiltaan huomattavasti Kupukan Grafiitti Oy:n tutkimaa esiintymää rikkaampi mutta pinta-alaltaan pienempi. Tämän takia Siikalatvalla mahdollisesti hyödynnettävän grafiittimalmin louhintamäärät tulisivat vastaavasti olemaan suurempia. Vittangin grafiittihankkeen kustannuksista ei voi vetää suoria johtopäätöksiä Siikalatvan mahdollisen kaivoshankkeen kustannuksiin, mutta niitä voi pitää karkeasti suuntaa antavina.

Kaivoksen rakentamiseen liittyvä liiketoimintapotentiaali Siikalatvalla korostuisi erityisesti maanrakennuksessa, tavarakuljetuksissa, rakennus- ja asennustöissä sekä työmaata palvelevissa majoitus-, ravitsemis- ja tukipalveluissa. Kysyntä olisi suurelta osin määräaikaista, ja sen paikallinen vaikutus riippuisi siitä, miten paikalliset yritykset pystyisivät vastaamaan kaivoshankkeen teknisiin, laadullisiin, aikataulullisiin ja hankintamenettelyihin liittyviin vaatimuksiin.

5.5.1 Maanrakennukseen liittyvä liiketoimintapotentiaali

Kaivoksen rakentamiseen liittyvä maanrakennus muodostaisi todennäköisesti yhden merkittävimmistä paikallisille yrityksille avautuvista mahdollisuuksista. Siikalatvan yritysrakenteessa maanrakennus ja kuljetus on jo nykyisin näkyvä toimiala. Kunnassa on useita maanrakennuksen ja kuljetusalan yrityksiä, joista osa kuuluu kunnan suurimpiin työnantajiin. Mahdollisia urakointikohteita olisivat esimerkiksi rakennusalueiden raivaus, pintamaiden poisto, kaivu-, täyttö- ja tiivistystyöt, rakennusten ja tuotantolaitosten pohjatyöt sekä teiden rakentaminen. Lisäksi työtä paikallisille yrityksille voisi syntyä maa- ja kiviaineksen toimittamisesta, koneiden vuokrauksesta ja työmaiden kunnossapidosta.

Paikallisten yritysten osallistuminen kaivoshankkeen rakennusurakoihin voi edellyttää mittavaa konekapasiteettia, erityisosaamista, sertifioituja toimintajärjestelmiä ja kykyä sitoutua tiukkoihin aikatauluihin. Todennäköisin osallistumismuoto urakoihin olisi suurempien pääurakoitsijoiden aliurakoitsijoina. Kaustisella Keliberin (osa Sibanye-Stillwater yhtiötä) kaivoksen rakentamisessa maanrakennuksen ja louhintatöiden pääurakoitsijana toimi ulkopaikkakuntalainen yritys, jonka liikevaihto on ollut viime vuosina 100–200 miljoonaa euroa. Pääurakoitsija Kaustisella pyrki mahdollisuuksien mukaan käyttämään paikallista työvoimaa, sillä sen etuina nähtiin sitoutuminen työmaahan, parempi jaksaminen työssä ja lisäksi paikallisen työvoiman käyttämisen nähtiin tuovan joustavuutta työvuorosuunnitteluun ja vähentävän erillistä majoitustarvetta (Vihanta 2026).

5.5.2 Kuljetukseen ja logistiikkaan liittyvä liiketoimintapotentiaali

Rakentamisvaiheessa kuljetustarpeita syntyisi maa- ja kiviaineksista, rakennusmateriaaleista, polttoaineista, koneista, tuotantolaitoksen komponenteista ja työmaan tarvitsemista kulutustarvikkeista. Siikalatvalla on turvetuotannon, maa- ja metsätalouden sekä maanrakennuksen aloilla kehittynyttä kuljetusalan osaamista ja useita yrityksiä, joilla on nykyistä kalustoa, joka voisi soveltua sellaisenaan tai muutostöiden jälkeen tarvittavaan maa-ainesten, rakennusmateriaalien ja muiden massatavaroiden kuljettamiseen.

Kuljetustoimintaan liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia arvioidessa on syytä erottaa toisistaan kaivoksen rakentamisvaiheen tilapäinen tarve tuotantovaiheen jatkuvista kuljetusvirroista. Rakentamisvaihe tarjoaa huomattavan mutta ajallisesti rajallisen piikin kysynnässä, ja sen perusteella tehtäviin mahdollisiin uusiin kalustoinvestointeihin liittyy merkittävä riski, ellei kalustolle ole nähtävissä käyttöä tuotantovaiheessa tai muissa urakoissa.

5.5.3 Asuntorakentamiseen, majoitusliiketoimintaan ja ruokapalveluihin liittyvä liiketoimintapotentiaali

Kaivoksen rakentamisvaiheen työvoimantarve on lähes poikkeuksetta merkittävästi tuotantovaihetta suurempi, ja suuri osa työntekijöistä on todennäköisesti paikkakunnalla vain hankkeen tietyn työvaiheen ajan tai vuorotyönä. Tämän vuoksi rakentamisvaiheen asuntokysyntä kohdistuisi todennäköisesti pitkäaikaisen omistusasumisen sijasta kalustettuihin vuokra-asuntoihin ja huoneistomajoitukseen.

Siikalatvan nykyinen majoituskapasiteetti on suurta teollisuuden rakennushanketta ajatellen hyvin rajallinen. Kunnan alueella on nykyisellään vähäinen määrä vuokra-asuntoja ja myös majoitusliiketoiminta on pienimuotoista. Kaivoshankkeen toteutuessa nykyisen asuntokannan käyttöönotolle, kunnostamiselle ja kalustamiselle syntyisi todennäköisesti tarvetta. Myös uudisra-

kentaminen voisi tulla ajankohtaiseksi, mikäli pitkäaikainen kysyntä osoittautuisi riittäväksi.

Tarvittavan asuntotuotannon laajuuteen liittyy kaivoksen rakentamisvaihetta ja tuotantovaihetta ajatellen merkittäviä kysyntään liittyviä haasteita. Asuntorakentaminen olisi mitoitettava niin, että tarjonta vastaisi oikeassa suhteessa sekä kaivoshankkeen rakentamisvaiheen väliaikaisen työntekijämäärän aiheuttamaan kysyntäpiikkiin että tuotantovaiheessa nousevaan pysyvämpään asuntotarpeeseen. Muussa tapauksessa on vaarana, että tilapäiseen kysyntäpiikkiin vastataan liian suurilla investoinneilla. Uudisrakentamista tulisi yhdistää jo olemassa olevan asuntokannan kunnostamiseen ja nykyisten vuokra-asuntojen kalustamiseen. Vuokra-asuntojen lisäksi rakentamisvaihe toisi todennäköisesti merkittävää kysynnänkasvua tilapäisluonteiseen huoneistomajoitukseen ja mökkivuokraukseen. Näihin liittyviin investointeihin liittyy vastaavanlaisia riskejä kuin asuntorakentamiseenkin.

Rakentamisvaiheen mahdollinen majoituskysyntä olisi kartoitettava ja suhteutettava hyvin tarkasti yhteistyössä kaivosyhtiön ja urakoitsijoiden kanssa.

Rakentamisvaiheessa työntekijöiden majoitustarpeiden ohella on vastattava ruokapalveluihin liittyviin tarpeisiin. Ravitsemuspalveluihin kohdistuu vastaavanlaisia ajallisia haasteita kuin majoituskysyntäänkin, kun työllisten määrä alueella vähenee siirryttäessä kohti tuotantovaihetta. Näihin vastaamiseen liittyy merkittäviä liiketoiminnan mahdollisuuksia. Nykyisellään Siikalatvan ravintolapalveluiden kapasiteetti on mitoitettu lähinnä palvelemaan nykyisiä asiakkaita, ja se kykenee korkeintaan vastaamaan kevyeen ja hetkelliseen asiakasmäärän kasvuun. Kaivoksen rakennustyömaalla työskentelevien ruokailuratkaisujen lisäksi on odotettavissa kasvavaa kysyntää työntekijöiden vapaa-ajalla käyttämille kahvila- ja ravintolapalveluille.

5.6 Kaivoksen tuotantovaiheeseen liittyvä liiketoimintapotentiaali

Tuotantovaiheen aikana kaivokset työllistävät pysyväisluonteisesti eri alojen ammattilaisia. Kaivoksissa työskentelee tuotannon työntekijöiden lisäksi kunnossapidon henkilöstöä, insinöörejä, geologeja, ympäristöasiantuntijoita sekä hallinnon ja logistiikan tehtävissä toimivia henkilöitä.

Siikalatvalla malminetsintää harjoittavan Kupukan Grafiitti Oy:n Siikalatvan grafiittihanketta pidemmällä olevaa Ruotsissa toimivaa Talga AB:n Vittangin grafiittikaivoshanketta voidaan pitää kokoluokkansa puolesta verrokkikohteena. Talga AB on arvioinut ympäristölupahakemuksessaan (Talga AB 2023), että suoraan kaivoksella tulisi työskentelemään noin 60 ihmistä ja välillisesti syntyisi 14–26 työpaikkaa kaivoksen tuotannon arvoketjuun. Vittangin hankkeen luvut ovat kuitenkin parhaimmillaankin vain suuntaa antavia tarkasteltaessa mahdollista grafiittituotantoa Siikalatvalla, sillä niin hankkeet ja kuin niiden hyödyntämisen kohteena olevat esiintymätkin ovat monella tavoin keskenään erilaisia.

Elinkeinojen kehittämisen näkökulmasta kaivostoiminnan suurimmat taloudelliset vaikutukset kohdistuvat suoraan kaivostoiminnan ja louhinnan toimialalle sekä kerrannaisvaikutusten kautta teollisuuden ja rakentamisen, kaupan (esimerkiksi vähittäis- ja tukkukauppa sekä autokauppa), varastoinnin ja liikenteen, koneiden ja laitteiden huolto- ja korjaustoiminnan, majoitus- ja ravitsemusliiketoiminnan sekä energia- ja jätehuollon toimialoille (Ramboll Finland Oy 2020, Gaia Consulting Oy 2019).

Lapin kauppakamarin FCG Rakennettu ympäristö Oy:ltä (2026) tilaamaan selvitykseen perustuen toimintavaiheessa voidaan keskimäärin arvioida, että yksi suora työpaikka kaivoksessa lisää 3,2 henkilötyövuotta työvoiman tarvetta kerrannaisvaikutusten kautta muilla toimialoilla kansallisessa mittakaavassa.

Luulajan yliopistossa on tutkittu tilastolähtöisesti Norrbottenin ja Västerbottenin maakuntien työpaikkatietoja kunnittain kahdelta viiden vuoden ajanjaksolta (2003–2013) ja kaivoksen suorien työpaikkojen arvioitiin synnyttävän paikallisesti kaivoskunnissa noin 0,95 työpaikkaa muilla toimialoilla. Tutkimuksessa todettiin lisäksi, että mikäli tarkastellaan kaivosalan ulkopuolisia toimialoja, suurin vaikutus havaittiin yksityisissä palveluissa, joihin tutkimuksessa luettiin vähittäiskauppa, kuljetukset sekä majoitus- ja ravitsemispalvelut. Vaikutukset syntyvät sekä työntekijöiden kasvavasta ostovoimasta että kaivostoiminnan lisäämistä kuljetus-, majoitus- ja muista palvelutarpeista (Moritz ym. 2017).

Uusia liiketoimintamahdollisuuksia tarkasteltaessa tuotantovaiheeseen voi liittyä myös gra-

fiittirikasteen sivuvirtoihin perustuvaa tuotekehityspotentiaalia. Esimerkiksi murskaus- ja jauhatusprosesseissa anodimateriaaliksi soveltumaton hienojakoinen grafiittipöly voisi tarjota yrityksille ja tutkimusorganisaatioille mahdollisuuksia kehittää uusia käyttökohteita, kuten grafiittia lisäaineena hyödyntäviä rakennusmateriaaleja, komposiitteja, pinnoitteita tai muita teollisia tuotteita.

Kaivoksen kokonaisvaikutukset paikallistalouteen riippuvat voimakkaasti kaivoksen toiminta-ajasta ja kaivoksen kokoluokasta. Pitkäikäinen kaivos voi muodostua vuosikymmenten aikana merkittäväksi työllistäjäksi ja määrittää alueellisen kehityksen raameja. Tällöin sen ympärille ehtii syntyä monipuolista yritystoimintaa, osaamispääomaa ja palvelurakenteita, jotka vahvistavat koko alueen elinvoimaa.

5.7 Yhteenveto

Siikalatvalla tapahtuva malminetsinnän (Kupukan Grafiitti Oy) eteneminen kaivoshankkeeksi on vielä epävarmaa, ja mahdollisen kaivoksen kokoluokasta ja työvoimatarpeesta ei voida tässä vaiheessa tehdä varmoja johtopäätöksiä. On muistettava, että Suomessa kaivoksen avaaminen voi kestää 10–15 vuotta. Malminetsinnän eteneminen ja mahdollisen kaivoksen perustaminen ovat vahvasti riippuvaisia yhtiön rahoitustilanteesta, sillä tutkimusvaihe ja erityisesti kaivoksen rakentaminen edellyttävät huomattavan suuria investointeja.

Mahdolliseen rakentamispäätökseen vaikuttavat geologisten ja rikastusteknisten tutkimustulosten lisäksi grafiittiin liittyvä markkinatilanne, rahoituksen saatavuus ja moninaiset lupamenettelyt. Usein myös malminetsintää suorittaa eri yhtiö kuin itse esiintymän hyödyntämistä. Malminetsintävaiheen suorat vaikutukset Siikalatvan elinkeinoelämään ovat todennäköisesti melko rajallisia, mutta toiminnan pitkittyessä ja laajentuessa voi niistä muodostua merkittäviä kumulatiivisia vaikutuksia. Tästä on saatu aikaisempia viitteitä esimerkiksi ILPO-hankkeen tarkasteluissa (Konnunaho ym. 2021). Paikallista kysyntää voi syntyä majoitus- ja ravitsemispalveluille, tilojen vuokraukselle ja muille tutkimuksia tukeville palveluille. Siikalatvalla tapahtuvan malminetsinnän aktiivinen seuraaminen parantaa kunnan ja yritysten edellytyksiä valmistautua hankkeen mahdollisiin myöhempiin vaiheisiin. Samoin tässä raportoitava hanke kasvattaa toiminta-aikanaan tietopääomaa ja synnyttää tutkimustietoa, joka antaa pohjaa päätöksenteon tueksi.

Kaivoksen rakentamisvaihe muodostaisi todennäköisesti sekä voimakkaimman että tilapäisimmän kysyntäpiikin paikallisille palveluille ja työvoimalle. Siikalatvan kannalta merkittävimmät liiketoimintamahdollisuudet liittyisivät todennäköisesti maanrakennukseen, kuljetuksiin, rakennus- ja asennustöihin sekä työmaata palveleviin majoitus- ja ruokapalveluihin. Kunnan vahvuutena voidaan pitää alueen kuljetus- ja koneurakointiosaamista. Kaivoksen rakentaminen voi työkohteena kuitenkin olla mittasuhteiltaan ja vaatimuksiltaan sellainen, että paikalliset yritykset osallistuisivat todennäköisimmin suurempien yritysten aliurakoitsijoina.

Rakentamisvaiheen suurimpia haasteita paikallisen elinkeinoelämän kehittämisen suhteen olisivat todennäköisesti majoituskapasiteetin, vuokra-asuntojen ja ravitsemispalvelujen rajallisuus. Näihin kohdistuva kysyntä voisi kasvaa nopeasti mutta vastavuoroisesti pienentyä huomattavasti kaivoksen siirtyessä kohti tuotantovaihetta. Rakentamisvaiheen tilapäiseen kysyntään perustuvia investointeja olisi siksi toteutettava vaiheittain ja tiiviissä yhteistyössä kaivosyhtiön sekä keskeisten urakoitsijoiden kanssa. Ensisijaisia vaihtoehtoja voisivat olla valmiin rakennuskannan käyttöönotto ja kunnostaminen, kalustettujen vuokra-asuntojen lisääminen tarkkaan harkitun uudisrakentamisen ohella.

Tuotantovaiheen vaikutukset elinkeinoelämälle ja aluetaloudelle olisivat rakentamisvaihetta pitkäkestoisempia ja ennakoitavampia. Jatkuvaa kysyntää voisi syntyä muun muassa kuljetuksille, kunnossapidolle, koneiden ja ajoneuvojen huollolle, jätehuollolle sekä kiinteistöjen ylläpitopalveluille. Kaivoksen omat ja välillisesti syntyvät työpaikat voisivat lisäksi vahvistaa vähittäiskaupan, ravitsemispalvelujen, asumisen ja muiden paikallisten palvelujen kysyntää. Vaikutusten kohdentuminen paikallisesti Siikalatvalle riippuisi kuitenkin hyvin paljon siitä, kuinka suuri osa työntekijöistä asuisi kunnassa ja kuinka moni kävisi töissä paikkakunnan ulkopuolelta.

6 SIIKALATVAN GRAFIITTIPOTENTIAALIIN LIITTYVÄT GEOLOGISET JA GEOFYSIKAALISET TUTKIMUKSET

6.1 Johdanto

Vaikka Siikalatvan alueen grafiittipotentiaalista on saatu viitteitä lähes 80 vuoden ajan, on kiinnostus grafiittiin todella syttynyt vasta 2013-luvun tienoilla. Tällöin Benzium Oy (Jalonom Oy) suoritti grafiittiin keskittyviä tutkimuksia alueella (Seppä ym. 2026). Näitä tutkimuksia ovat jatkaneet Suomen Malmitutkimus Oy ja viimeksi Kupukan Grafiitti Oy. Näistä viimeisin on siirtynyt jo potentiaalin kartoituksesta arvioimaan selkeästi grafiitin hyödyntämispotentiaalia kaivosmittakaavassa (Seppä ym. 2026).

Kasvava kiinnostus grafiittiin globaalisti ja sen strateginen ja kriittinen status raaka-aineena antoi painavan syyn tarkastella grafiittipotentiaalia Siikalatvan alueella GTK:n toimesta vuosien 2022–2025 aikana.

Tämä osa raportista käsittelee Siikalatvan geologisia, geofysikaalisia ja grafiittipotentiaaliin liittyviä tutkimuksia. Siikalatvan grafiitti – vihreän siirtymän raaka-aineena-hanke ei kerännyt geologista tietoaineistoa, vaan aineistona hyödynnettiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) vuosina 2022–2025 toimineen Vihanti-Pyhäsalmi-alueen mineraalipotentiaalia selvittäneen kartoitusprojektin näytteitä ja muuta GTK:n tietoaineistoa. Tämän hankkeen geologinen tutkimus fokusoitui kivien mineralogiseen karakterisointiin ja analyyttisen datan käsittelyyn. Puolestaan geofysikaalisten tutkimusten tarkoituksena oli rajata olemassa olevaan aineistoon perustuen grafiittipotentiaalisia vyöhykkeitä ja suorittaa alustavaa kohteellista mallinnusta. Tämä siksi, että geologinen ja geofysikaalinen tausta-aineisto oli ponnahduslauta kaikille jatkotutkimuksille, joita tässä hankkeessa suoritettiin. Samoin se antaa puolueettoman kuvan grafiitin etsintäpotentiaalista ja lähtökohdista sen hyödyntämispotentiaalin tarkasteluun.

6.2 Tutkimusalueen geologiset pääpiirteet ja tutkimuskairaukset

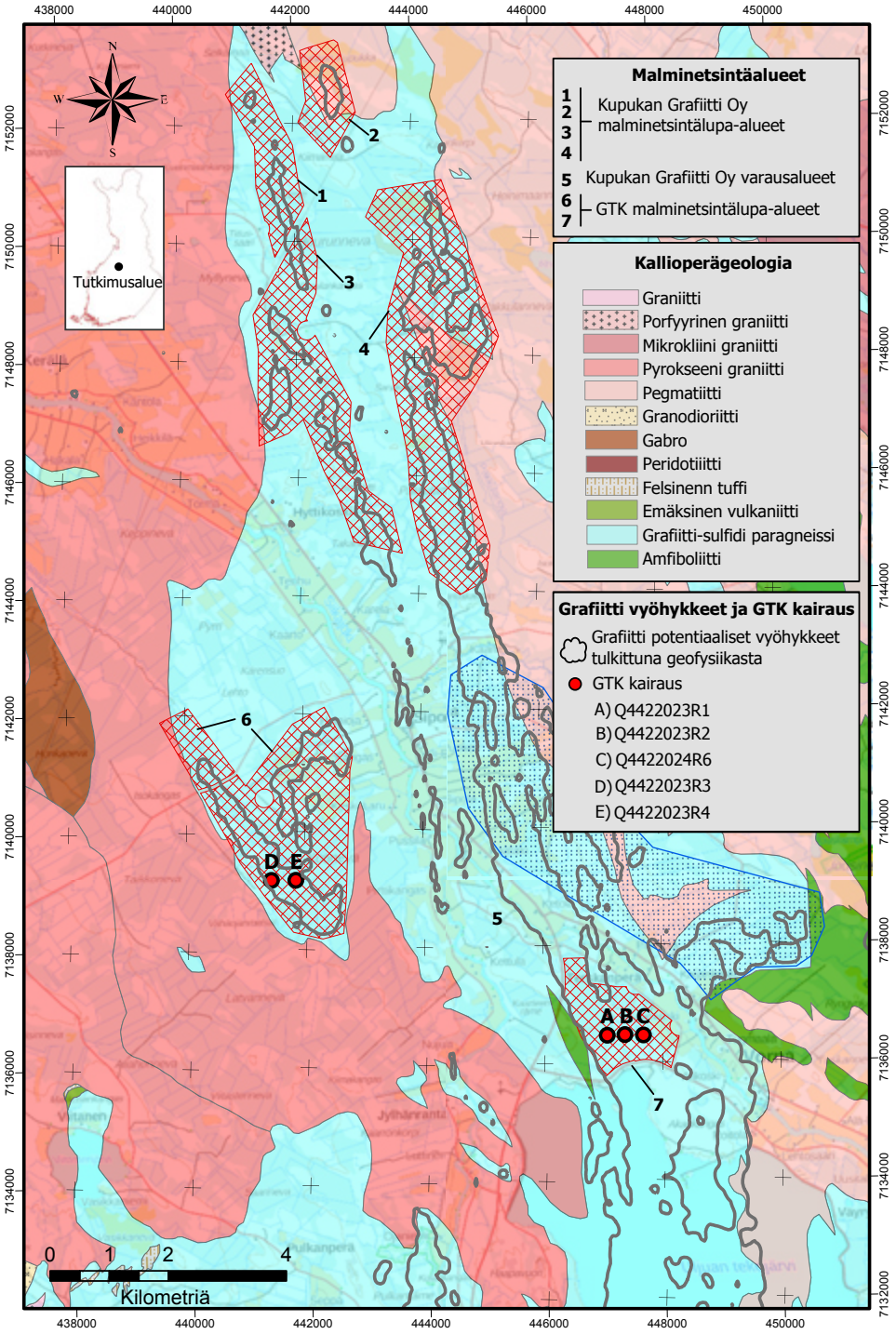
6.2.1 Tutkimusalueen ja kohteiden sijainti sekä tutkimuksen tarkoitus

GTK:n tutkimusalueet sijaitsevat Siikalatvan kunnassa Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa. Tutkimusalueille on matkaa Oulusta noin 90 kilometriä valtatietä 4 pitkin.

GTK kohdisti grafiittipotentiaalitutkimukset kahdelle tutkimuskohteelle: 1) Uljua, joka sijaitsee noin 8,7 km koilliseen Pulkkilasta (Uljuan tekojärven pohjoisrannalla ja valtatien 4 itäpuolella) ja 2) Kotineva, joka sijaitsee noin 11,5 km luoteeseen Pulkkilasta (Siikajoen ja valtatien 4 länsipuolella). Molemmat ovat malminetsintälupien alla (Uljua ML2023:0130). Tutkimusalueella on myös Kupukan Grafiitti Oy:n malminetsintälupa-alue (Kupukka ML2023:0007) ja varausalue (Kupukka_Etelä VA2024:0059).

Kuva 26 osoittaa kohteiden sijainnit sekä kaivoslain mukaiset malminetsintä- ja varausalueet (tilanne raportin kirjoitusvaiheessa). Alueesta saatavaa geologista tietoa voi tarkastella myös GTK:n online-karttapalvelun kautta, joka löytyy osoiteesta: https://gtkdata.gtk.fi/mdae/ Ajantasaiset tiedot malminetsintään liittyvistä luvista voi katsoa kaivosrekisterin karttapalvelusta: https://gtkdata.gtk.fi/kaivosrekisteri/.

Alueelle aiemmin tehtyjen GTK:n historiallisten tutkimuskairausten, valtakunnallisen grafiittipotentiaalinkartoituksen(Leinonen2024a), grafiittipitoisten paljastuma- ja lohkarehavaintojen sekä laajojen matalalentogeofysiikassa havaittujen sähköisten ja magneettisten anomalioiden perusteella tultiin siihen johtopäätökseen, että alueen suomugrafiitin esiintymispotentiaalia on selvitettävä lisäkairauksin. Nämä toteutettiin osana GTK:n budjettirahoitteista tutkimusprojektia: Vihanti-Pyhäsalmi-mineraalipotentiaalin kartoitus (2022–2025). Näitä tutkimustuloksia on hyödynnetty laajasti myös tässä hankkeessa. Projektin loppuraportti on valmistumassa vuoden 2026 aikana ja löytyy valmistuttuaan GTK:n hakkupalvelusta https://hakku.gtk.fi/fi/publications.



Kuva 26. GTK:n tutkimusalueen sijainti Siikalatvassa. Alueen pohjoisosissa näkyy Kupukan Grafiitti Oy:n keskeinen tutkimusalue. Kartta esittää alueellista geologiaa, tiekartan, kaivoslain mukaisen luvituksen raportin kirjoitushetkellä, GTK:n kairausprofiilit (Uljua (D, E)) ja Kotineva (A, B, C)) sekä grafiittipotentiaalivyöhykkeet tulkittuna geofysikaalisesta datasta sama-arvokäyrinä. Geologinen pohjakartta: Suomen kallioperä - DigiKP ja Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

6.2.2 Tutkimusalueen geologiset pääpiirteet

Geologisesti Siikalatvan tutkimusalue sijoittuu paleoproterotsooisen ja arkeeisen kallioperän törmäysvyöhykkeen luoteisosiin (ts. Raahe-Laatokka-sutuurivyöhyke) (Västi 2012, Lahtinen 1994).

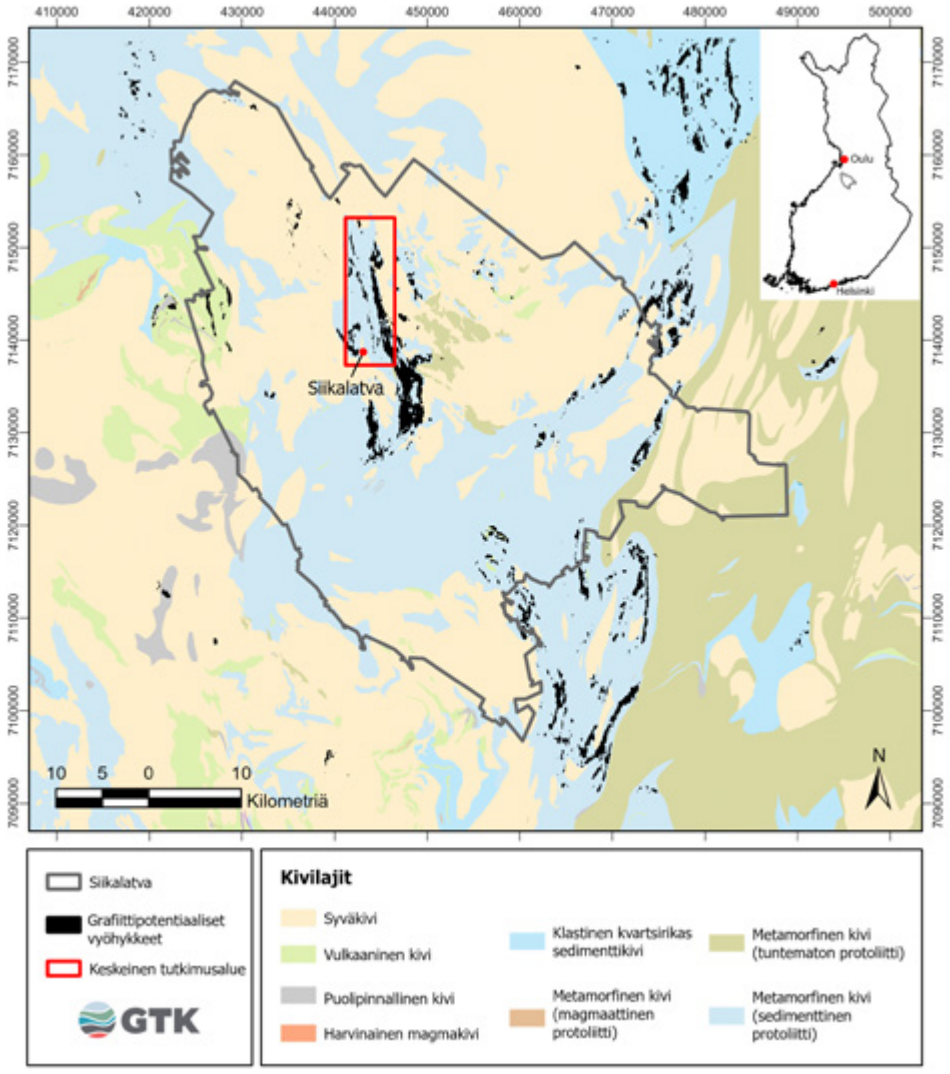
Tutkimusalueet (Kuva 26) edustavat pientä osaa paleoproterotsooiseen Näläntöjärvi-seurueeseen (2050–1960 Ma) kuuluvasta paragneissijaksosta. Nämä gneissit ovat alun perin olleet erilaisia sedimenttejä, kunnes niiden metamorfoituminen korkeassa lämpötilassa ja paineessa

muutti ne nykyiseen muotoonsa paragneisseiksi. Näiden seassa esiintyy satunnaisesti myös vulkaniittivälikerroksia, jotka ovat koostumukseltaan mafisia-intermediäärisiä (näistä osaa kutsutaan myös amfiboliiteiksi). Näitä pintasyntyisiä kiviä ympäröivät erityyppiset graniittiskoostumukselliset syväkivet (Kuva 26).

Poimuttuneessa ja siirrostuneessa paragneississä esiintyy useita taloudellisesti kiinnostavia grafiitti-sulfidirikkaita kerroksia, jotka voivat olla useita kymmeniä metrejä paksuja. Nämä grafiittipitoiset horisontit ovat olleet alkujaan edellä mainittujen sedimenttien joukossa olleita hiilipitoisia kerroksia, kuten savi- ja mutakerroksia, jotka ovat niin ikään kivien metamorfoituessa muuttuneet grafiitiksi ja erittäin korkeassa metamorfoosiasteessa saaneet suomumaisen ulkoasun.

GTK:n matalalentogeofysiikan kartoista tehtyjen tulkintojen mukaan repaleinen, grafiittisulfidirikas paragneissivyöhyke on tutkimusalueella noin 30 km pitkä ja 10 km leveä. Se sijaitsee korkean metamorfoosiasteen (amfiboliitti-granuliittifasies) alueen reunalla, joka on suotuisa ympäristö karkean suomugrafiitin muodostumiselle.

Tarkasteltaessa laajemmin Siikalatvan kunnan aluetta matalalentogeofysiikan aineistoista tehdyistä tulkintakartoista voidaan havaita, että alueella esiintyy sähköä johtavia grafiittipotentiaalisia vyöhykkeitä myös muualla (Kuva 27). Nämä laajat kallioperän sähkönjohteet antavat viitettä laajasta grafiittipotentiaalista Siikalatvan ja lähikuntien alueella. Näiden tutkimusaste on kuitenkin toistaiseksi heikko, eivätkä ne ole sisältyneet GTK:n suorittamiin tarkempiin tutkimuksiin, mutta tässä hankkeessa niiden levinneisyys on selvitetty potentiaalitarkastelun näkökulmasta.



Kuva 27. Siikalatvan kunnan ja lähialueiden grafiittipotentiaaliset vyöhykkeet mustalla. Karttapohjana yksinkertaistettu alueen geologinen kartta (Konnunaho ym. 2026b).

6.2.3 Suoritetut tutkimuskairaukset

GTK:n Vihanti-Pyhäsalmi-mineraalipotentiaalin kartoitus -projekti (VP) kairasi yhteensä viisi kairareikää kahdelle kairausprofiilille: 1) toinen profiili sijaitsee Uljuan tekoaltaan pohjoispuolella ja 2) toinen Kotinevalla, Sipolan kylän länsipuolella lähellä tietä numero 4 (Kuva 26). Uljuan profiilille kairattiin kolme ja Kotinevan profiilille kaksi reikää (Kuva 26). Kairausten yhteispituus oli 1072,8 m. Kairareikien tiedot on koottu taulukkoon 7.

Kairauksen suoritti Taratest Oy GM200-kairakoneella. Näytteenottoon käytettiin WL-66 kalustoa, jolloin kairareiän halkaisija on 67,1 mm ja kairasydämen 50,5 mm. Kairareikien koordinaatit ja kairaussuunta määritettiin tarkkuus-GPS-laitteistolla (Topcon). Kairareiän kaltevuusmittaukset suoritettiin urakoitsijan (Taratest Oy) toimesta käyttäen DeviGyro-mittalaitetta. Kairaus toteutettiin suunnattuna, jolloin jokaisen ajon jälkeen kairareikään merkittiin suuntaus. Sydänhukkaa oli vain vähän, ja reikien kairauskulma pysyi kohtalaisen hyvin suunnitellussa 45 asteen kulmassa (keskiarvo 51,5 astetta). GTK suoritti kolmesta kairareiästä myös geofysikaalisen reikäluotauksen (Q4422023R2, Q4422023R3 ja Q4422024R6).

Taulukko 7. Uljuan ja Kotinevan alueelle toteutettujen GTK:n tutkimuskairausten tiedot (katso myös karttakuva 26).

Drill_hole	Target	X-coord.	Y-coord.	Z	Direction	Dip	Lenght (m)
Q4422023R1	Uljua	447064,8	7136462	70,75	90	45	262,6
Q4422023R2	Uljua	447364	7136469	72,97	90	45	251,45
Q4422024R6	Uljua	447678,1	7136457	73,68	90	45	242,05
Q4422023R3	Kotineva	441422,1	7139184	67,07	90	45	197,4
Q4422023R4	Kotineva	441835,3	7139179	65,26	90	45	119,3

6.2.3.1 *Kairattujen näytteiden laadunvalvonta eli QA/QC*

Kairausten jälkeen kivinäytteet kuljetettiin GTK:n Kuopion toimipisteen yhteydessä sijaitsevaan kairasydännäytteiden varastoon, jossa suoritettiin myös niiden raportointi ja näytteenotto. Raportoinnissa ja näytteenotossa seurattiin GTK:n QA/QC-prosessia liittyen 1) kairasydämen suuntaukseen, 2) kairasydänten metritykseen, 3) magneettisen suskeptibiliteetin mittaukseen, 4) kairauksen saannin (engl. Core recovery) määrittämiseen, 5) RQD:n (engl. Rock Quality Designation) määrittämiseen, 6) geologisten rakenteiden mittaukseen (alfa, beta ja gamma), 7) geologiseen loggaukseen ja 8) analyysinäytteiden valintaan.

Analysoitavat näytteet petrologisia tutkimuksia varten (ts. kivilajimääritystä varten) olivat noin 20 cm pitkiä homogeenisiä pätkiä. Malmianalyyseissa näytteet ovat pääsääntöisesti noin 1 metrin pituisia. Heikosti malmimineraaleja sisältävissä pätkissä käytettiin noin 2 metrin näytteitä. Kaikki näytteet olivat halkaistuja kairasydämiä, jotka sahattiin ja pakattiin Kuopiossa ja toimitettiin ALS-laboratorioon murskausta, jauhatusta ja analysointia varten. Näiden lisäksi kerättiin petrofysikaalisia näytteitä mutta niitä ei ole käsitelty tässä raportissa, vaan niiden tulokset käsitellään GTK:n tulevassa tutkimusraportissa.

6.2.3.2 *Grafiittisen hiilen pitoisuudet*

Kaikki näytteet analysoitiin ALS:n laboratoriossa ja yksi vertailuerä Actlabs:in laboratoriossa (Taulukko 8). ALS:n laboratoriossa grafiittinen hiili analysoitiin C-IR18-menetelmällä, jossa epäorgaaninen karbonaattiin sitoutunut hiili saadaan poistettua käsittelemällä näytettä suolahapolla. Tämän jälkeen mahdollinen orgaaninen hiili haihdutetaan pois kuumentamalla näytettä uunissa (n. 425 °C). Jäljelle jääneen grafiittisen hiilen määrä analysoidaan LECO-induktiouunissa infrapunadetektorien avulla. Analyysitulosten laadun varmistamiseksi näyte-erien mukaan laitettiin sertifioituja standardeja, blankkoja näytteitä ja duplikaatteja. Actlabsin menetelmä (4 F-C) vastaa periaatteiltaan ALS:n menetelmää.

Kun analyysitulokset oli saatu, niille suoritettiin laadun varmistus (QC) GTK:ssa. Laadun varmistuksessa hylättyjä näyte-eriä analysoitiin vielä ALS:n laboratoriossa uudelleen (Taulukko 8). Taulukkoon 8 on koostettu reikäkohtainen tieto analyyseistä ja niiden sisältämistä QC-näytteistä.

Samoin taulukko 8 sisältää yhteenvedon kaikista analysoiduista ja uudelleen analysoiduista kairasydännäyte-eristä.

ALS:n laboratoriosta saadut useat analyysitulokset eivät läpäisseet laadunvarmistusta, jolloin heräsi epäilyksiä grafiittianalyysien luotettavuudesta. Tämä ilmeni siten, että analysoitujen standardinäytteiden grafiittisen hiilen pitoisuudet olivat alle standardissa ilmoitetun pitoisuuden (alle 2. ja 3. keskihajonnan). Myös toista standardia kokeiltiin kairareiän Q4422023R2 näyte-erän mukana. Tämä läpäisi QC-laadunvarmistuksen, mutta tulokset olivat silti sertifioitua pitoisuutta alhaisempia. Tämän seurauksena useita näyte-eriä jouduttiin analysoimaan uudelleen. Tämän lisäksi yksi näyte-erä analysoitiin Actlabs:in laboratoriossa käyttäen alkuperäisiä standardeja. Näissä analyyseissä kaikkien näytteiden grafiittisen hiilen pitoisuudet olivat selvästi korkeampia verrattuna ALS:n tuloksiin, eikä QC-laadunvarmistuksessa ollut ongelmia.

Vaikka ALS:n kanssa keskusteltiin, ongelmaa ei saatu ratkaistua. ALS:n mukaan varsinaisten näytteiden tulokset ovat oikeita, mutta ALS:n mukaan ongelma liittyi käytettyihin standardeihin. Actlabsissa tehtyjen analyysien perusteella on kuitenkin syytä epäillä, että grafiittisen hiilen todelliset pitoisuudet ovat lähes 1000 ppm ja paikoin jopa 2 paino-% korkeampia kuin ALS-laboratorion analyysituloksissa (Kuva 28).

Tämän vuoksi tulisi kaikki näytteet analysoida ja arvioida mahdollisesti uudelleen, jos malmitutkimuksia alueella jatketaan ja GTK:n analyysituloksia hyödynnetään jatkotutkimuksissa.

Taulukko 8. GTK:n tutkimuskairauksista tehty analytiikka reikäkohtaisesti (näyte-erä), uusinta-analytiikka (uusintaerä), näytemäärät (näytteet), standardit (STD), näyteduplikaatit (duplikaatit) ja blankkonäytteet (Blankot) sekä analyysimenetelmät, joiden tarkemmat tiedot voi tarkastaa ALS- ja Actlabs online -esitteistä laboratorioiden kotisivujen kautta.

					Määrä				
Kairareikä	Alku-loppu (m)	Laboratorio	Näyte-erä	Uusinta erä	Näytteet	STD	Duplikaatit	Blankot	Menetelmät
Q4422023R1	16-137	ALS	OT24081767		123	4	7	2	ME-MS41, C-IR18, S-IR08, PGM-MS23L
Q4422023R1	137-262.51	ALS	OT24116113		111	4	5	2	ME-MS41, C-IR18, S-IR08, PGM-MS23L
Q4422023R1	23-106	ALS		OT24175378	44	4	0	0	ME-MS41, C-IR18
Q4422023R1	137-262.51	ALS		OT24243295	109	4	5	0	C-IR07, C-IR8, C-GAS05
Q4422023R1	20-86	ActLabs		A24-11119	68	3	0	0	4F-C graphitic carbon, 4F-C total carbon
Q4422023R1	Std	ALS		OT24137391	6	6	2	0	C-IR18, C-IR07, C-IR06a
Q4422023R1	Std	ALS		OT24162727	6	6	2	0	C-IR18, C-IR07, C-IR06a
Q4422023R2	21-251.45	ALS	OT24367308		165	6	9	2	ME-MS41, C-IR18, S-IR08
Q4422023R3	54-197.4	ALS	OT24227623		123	4	7	2	ME-MS41, C-IR18, S-IR08
Q4422023R4	25.8-99	ALS	OT24133972		75	3	4	1	ME-MS41, C-IR18, S-IR08, PGM-MS23L
Q4422024R6	26.7-127	ALS	OT24253144		100	4	5	1	ME-MS41, C-IR18, S-IR08
Q4422024R6	127-242.05	ALS	OT24289965		106	3	6	2	ME-MS41, C-IR18, S-IR08
Q4422024R6	91.15-120	ALS		OT24346823	18	2	0	0	ME-MS41, C-IR18, S-IR08

6.2.3.3 Kairaus- ja analyysitulosten tarkastelu

Sekä Uljuan että Kotinevan kairaprofiileilla olevat kairareiät lävistävät useita grafiitti-sulfidipitoisia paragneissikerroksia (Kuvat 29 ja 30 sekä Taulukko 9). Uljualla paragneissiä leikkaavat useat graniittiset ja graniittipegmatiittiset juonet. Lisäksi paragneissin joukossa esiintyy mineralisoitumattomia felsisiä kiviä, felsisiä ja intermediäärisiä metavulkaniitteja ja vähemmän muita kivilajeja (Kuva 29). Näiden mineralisoitumattomien kivilajien vuoksi grafiitti-sulfidirikas paragneissi on paikoin varsin epäyhtenäinen.

Kotinevalla lävistetty paragneissi on Uljuaa homogeenisempi, mutta hieman vähemmän mineralisoitunut (Kuva 30).

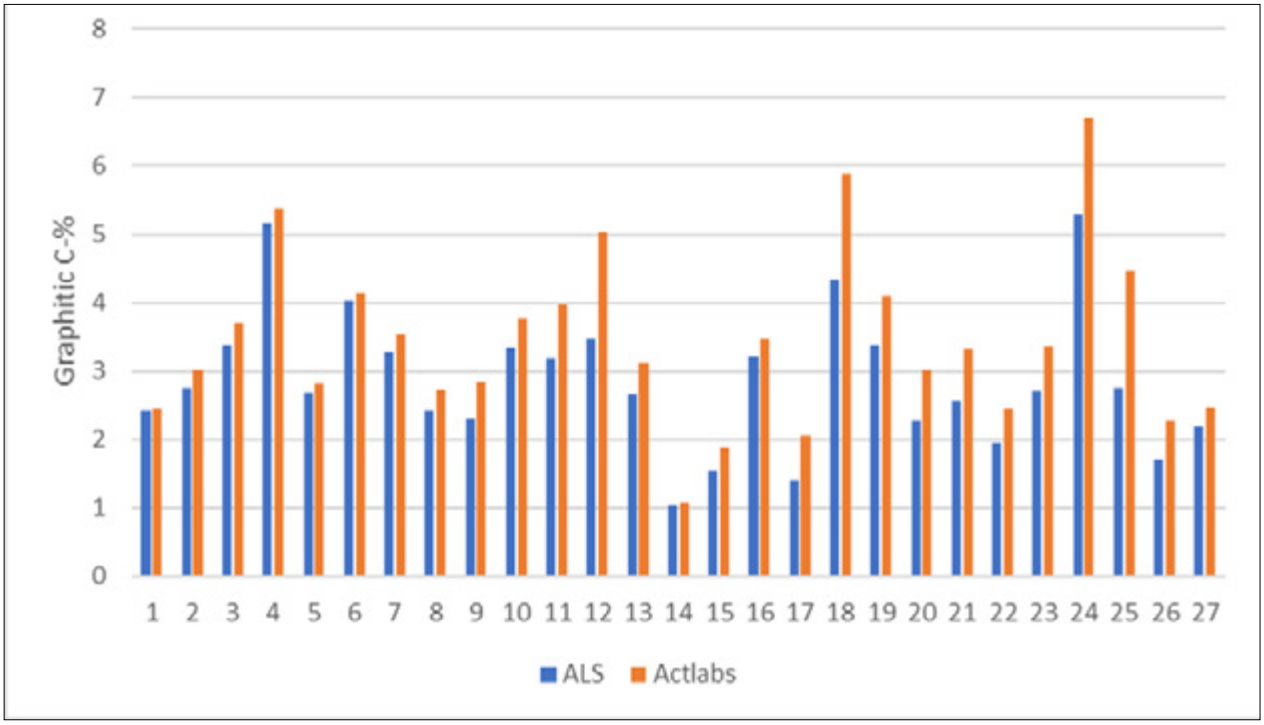
Kairaukseen varatut resurssit eivät mahdollistaneet yhtenäisten kairaprofiilien kairaamista, vaan reikien väliin jäi kairaamattomia alueita (Kuvat 29 ja 30). Kairaukset yhdessä geofysiikan kanssa osoittivat, että molemmat alueet sisältävät huomattavat määrät grafiitti-sulfidipitoisia paragneissejä, joilla on huomattavia jatkeita etelään ja pohjoiseen samoin kuin syvyyssuunnassa.

Kuvassa 31 esitetään kaikki analysoidut (ts. Uljuan ja Kotinevan profiilien kairareikien näytteet) grafiittisen hiilen ja rikin pitoisuudet XY-diagrammilla sekä kairasydämistä lasketut lävistyspituudella painotetut keskiarvot.

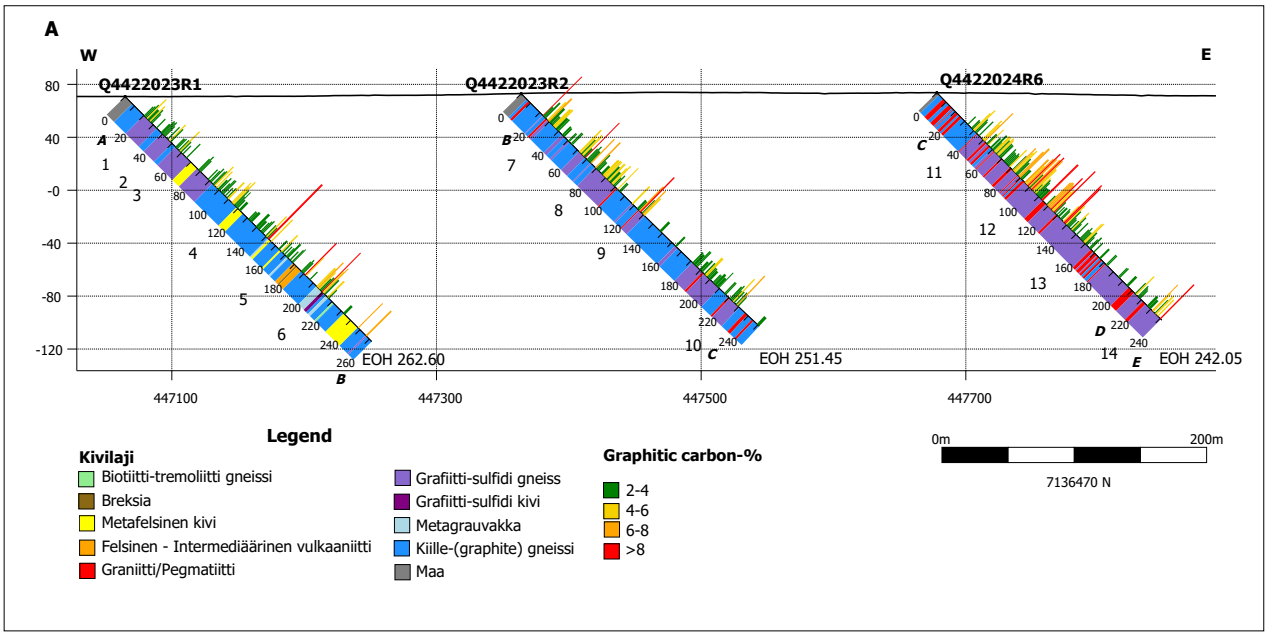
Rikkipitoisuudet ovat yleensä alle 8 %, ja grafiittisen hiilen pitoisuudet alle 10 %. Suurin osa näytteistä sisältää kuitenkin alle 7 % grafiittista hiiltä ja alle 5 % rikkiä (Kuva 31). Diagrammi osoittaa varsin hyvää grafiittisen hiilen ja rikin pitoisuuksien korrelaatiota. Kuitenkin Uljuan profiilin näytteissä on havaittavissa näytepopulaatio, jossa grafiittipitoisuus kasvaa voimakkaasti, mutta rikkipitoisuus säilyy noin 2-5 %:ssa. Tämä osoittaa sen, että alueella on löydettävissä grafiittirikkaita ja rikin suhteen köyhempiä mineralisoituneita vyöhykkeitä.

Kotinevan profiilin näytteet ovat hieman rikkipitoisempia, mutta myös köyhempiä grafiittisessa

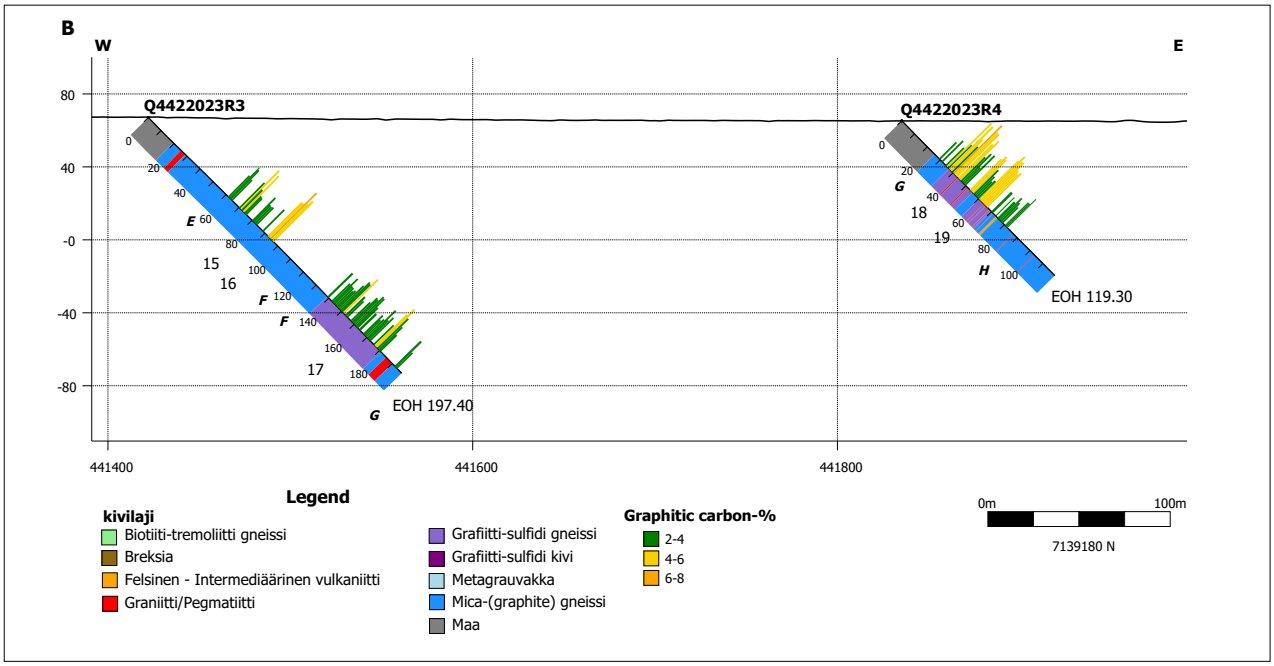
hiilessä verrattuna Uljua-profiiliin. Korkeimmat grafiittisen hiilen pitoisuudet esiintyvät Uljua-profiilissa. Kunkin kairasydämen painotettu keskimääräinen koostumus on 1,92–2,78 % C ja 2,25–3,01 % S.



Kuva 28. ALS- ja Actlabs-laboratorioiden grafiittisen hiilen analysoinnin vertailu Siikalatvan yhdestä kairasydämestä.



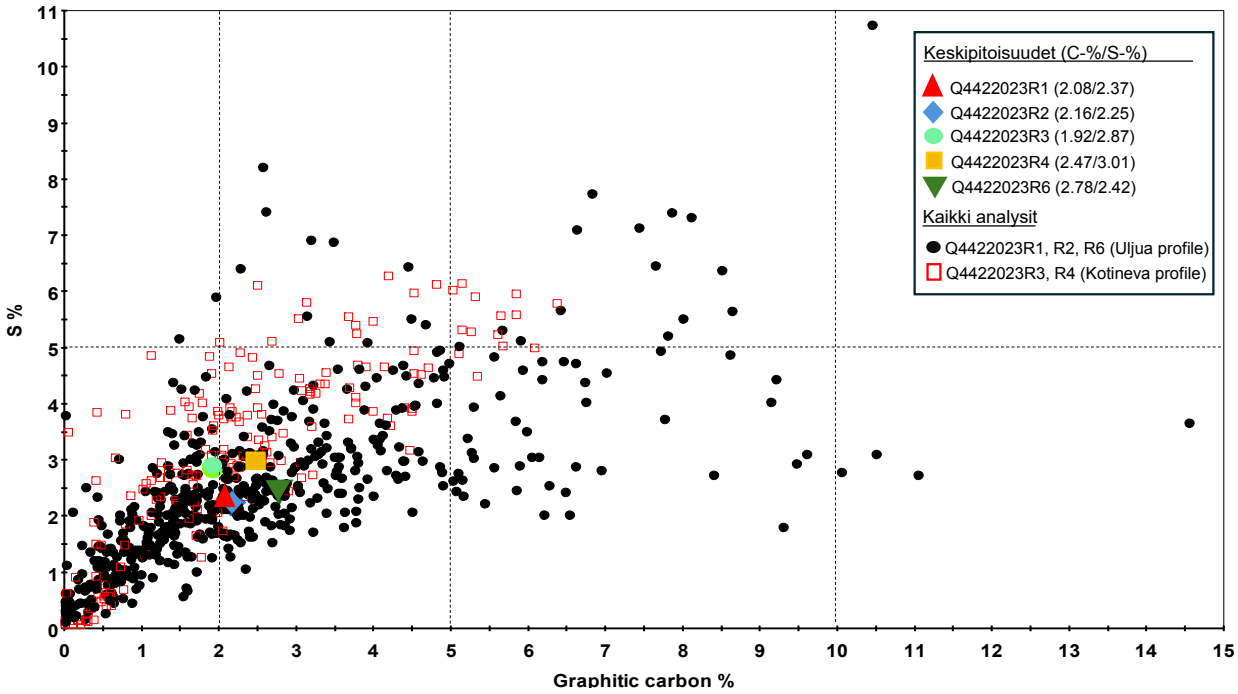
Kuva 29. Uljuan kairausprofiili (katso sijainti kuvasta 26). Katso myös taulukko 9 lävistyksiin liittyen. Kuvassa huomioitu vain pitoisuudet, joissa grafiittisen hiilen pitoisuudet ovat suuremmat kuin 2 %.



Kuva 30. Kotinevan kairausprofiili (katso sijainti kuvasta 26). Katso myös taulukko 9 lävistyksiin liittyen. Kuvassa huomioitu vain pitoisuudet, joissa grafiittisen hiilen pitoisuudet ovat suuremmat kuin 2 %.

Taulukko 9. Tutkimusalueen kairareikien lävistykset koostettuna reikäkohtaisesti. Vertaa taulukkoa kuviin 29 ja 30.

Kairasydän	Väli	Alku-Loppu syvyys	Pituus (m)	Cg-% (ALS)	Cg-% (Actlabs)	Sisältää lisäksi
Q4422023R1	1	20-29	9	3,2	3,4	
Q4422023R1	2	38-49	11	3	3,4	
Q4422023R1	3	53.80-62	8,2	2,7	3,5	
Q4422023R1	4	88-156	52	2,9	Ei dataa	7 m (149-156 m) @ 4.9 % Cg
Q4422023R1	5	163-178.80	16,7	2,3	Ei dataa	
Q4422023R1	6	203.5-217	14,8	5,3	Ei dataa	
Q4422023R1	**A-B**	**20-257.30**	**237,3**	**2,1**	**Ei dataa**	
Q4422023R2	7	23-40.25	17,3	3,8	Ei dataa	
Q4422023R2	8	61.85-98	36,2	3,3	Ei dataa	6.9 m (61.85-68.7 m) @ 4.5 % Cg, 11 m (87-98 m) @ 4.3 % Cg
Q4422023R2	9	123-131.35	8,4	4,5	Ei dataa	
Q4422023R2	10	220.8-230	9,2	3,6	Ei dataa	
Q4422023R2	**B-C**	**23-236.65**	**213,65**	**2,2**	**Ei dataa**	
Q4422023R6	11	37-43.05	6,1	3,4	Ei dataa	
Q4422023R6	12	49-147	89	4	Ei dataa	10.6 m (94.55-105.15 m) @ 6.8 % Cg, 12 m (119-140 m) @ 7 % Cg
Q4422023R6	13	154-162	8	3,1	Ei dataa	
Q4422023R6	14	226-238	12	3	Ei dataa	
Q4422023R6	**C-D**	**26.70-208**	**181,3**	**2,9**	**Ei dataa**	
Q4422023R6	**D-E**	**211-242.05**	**31,05**	**2,3**	**Ei dataa**	
Q4422023R3	15	70-84	14	2,6	Ei dataa	
Q4422023R3	16	92-97	5	5	Ei dataa	
Q4422023R3	17	138.8-181	42,2	2,7	Ei dataa	
Q4422023R3	**E-F**	**61.45-110**	**48,55**	**2**	**Ei dataa**	
Q4422023R3	**F-G**	**132-197.40**	**65,4**	**2**	**Ei dataa**	
Q4422023R4	18	34-50	16	4,3	Ei dataa	6.5 m (36.85-43.3 m) @ 5.2 % Cg
Q4422023R4	19	53-67	14	4,1	Ei dataa	6.8 m (60.2-67 m) @ 5.8 % Cg
Q4422023R4	**G-H**	**25.80-87.10**	**61,3**	**2,9**	**Ei dataa**	

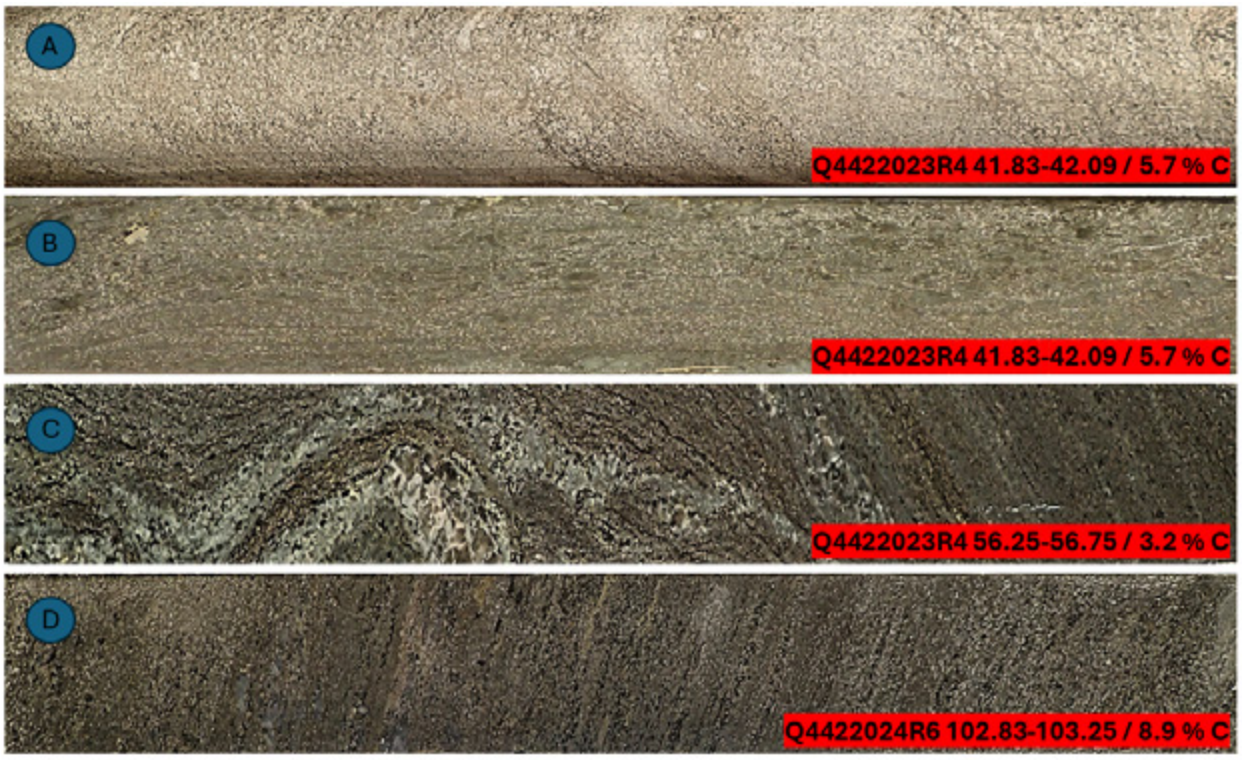


Kuva 31. Uljuan ja Kotinevan kaikki analysoidut näytteet XY-diagrammilla, jossa tarkastellaan grafiittisen hiilen (ts. Graphitic carbon %) ja rikin (ts. S %) pitoisuuksia toisiaan vasten. Lisäksi kuvassa näkyy jokaisesta kairasydämestä lasketut pituudella painotetut keskiarvot.

6.2.3.4 Mineralogiset tutkimukset polarisaatiomikroskoopilla

Kuvassa 32 (A–D) on kuvakollaasi alueen grafiittipitoisista kairarei'istä. Kuvista huomaa kivien raitaisen ja poimuttuneen gneissimäisen ulkoasun. Kuvassa 32D on myös havaittavissa mahdollista primääriä kerroksellisuutta, joka kertoo kiven sedimenttisestä alkuperästä.

Grafiitti esiintyy usein runsaana, väriltään hopeanharmaana ja suomumaisena pirotteena mineralisoituneissa näytteissä yhdessä sulfidimineraalien (magneettikiisu ja rikkikiisu) kanssa. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta magneettikiisun olevan vallitsevana sulfidimineraalina. Usein grafiittia on vaikea tunnistaa kairasydämen pinnasta ja sen erottamista helpottaa kiven lievä kostuttaminen sekä sen kääntely sopivasti valoon nähden (ks. kuva 32D). Lisäksi grafiitin keskeisiin tuntomerkkeihin kuuluu sen tahraava ominaisuus, joka on yksi sen parhaimmista makroskooppisen tunnistamisen tavoista.



Kuva 32. Kairasydännäytteitä grafiittipitoisista paragneissistä. Kairasydännäytteitä grafiittipitoisista paragneissistä. A) Grafiitti-sulfidipitoinen paragneissi. (Kuva otettu kairasydämen pyöreältä pinnalta.) B) Grafiitti-sulfidipitoinen pragenissi, jossa näkyy suomumaista grafiittia runsaasti hopean harmaana pirotteena. C) Poimutunut grafiitti-sulfidipitoinen paragneissi. D) Kerroksellinen grafiitti-sulfidipitoinen paragenissi, jossa runsas grafiittipirote. Kuvat: Jukka Konnunaho, GTK.

Uljualle kairatuista kairanrei'istä Q4422023R1 ja Q4422024R6 teetettiin yhteensä 18 kiillotettua ohuthiettä (ts. noin 0,03 mm paksu lasilevylle liimattu ja kiillotettu kivinäyte) ja Kotinevan kairareiästä Q4422023R4 teetettiin 6 kiillotettua ohuthiettä.

Ohuthieitä tutkittiin Kuopiossa GTK:n Leica-polarisaatiomikroskoopilla. Hieitä teetettiin kairasydämissä näkyvistä pääkivilajeista, kivien erilaisista rakenteista ja mineralisoituneista sekä mineralisoitumattomista osista.

Mineralogisen tutkimuksen keskeisenä tarkoituksena oli selvittää näytteiden mineraalikoostumusta, kivien rakennetta ja erityisesti grafiitin esiintymistä. Näitä tietoja tarvitaan esimerkiksi grafiitin rikastamista suunniteltaessa ja arvioitaessa mahdollisen kaivoksen sivutuotteiden karakterisointia.

Sekä Uljuan että Kotinevan tutkimuskohteissa grafiitti esiintyy paragneississä, lähes aina yhdessä magneettikiisun (±rikkikiisu) kanssa. Lisäksi kairasydämissä ja muutamissa hieissä on tavattu myös rikkikiisua, joka korvaa magneettikiisua. Grafiittipitoisten paragneissien pääsilikaattimineraali on plagioklaasi maasälpä, jonka määrä vaihtelee 20–45 % välillä ja joka esiintyy useimmiten vaihtelevasti muuttuneena (serisiittiytynyt, saussuriittiutunut tai kloriittiutunut). Seuraavaksi yleisimmät silikaattimineraalit ovat kvartsi ja biotiitti. Kvartsia on tavallisesti hieman enemmän kuin biotiittia. Kvartsin määrä vaihtelee 2–30 % ja biotiitiin 2–35 % välillä. Nämä pääsilikaatit muodostavat niin sanotun harmeen, jos ajatellaan grafiitin rikastamista tulevaisuudessa.

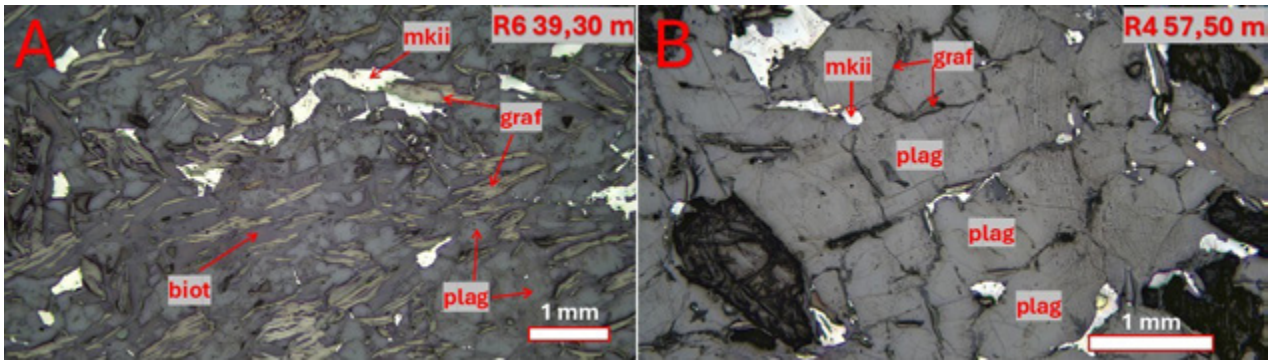
Seuraavaksi yleisimpiä mineraaleja ovat magneettikiisu (±rikkikiisu) ja itse grafiitti. Magneettikiisun määrä vaihtelee 1–14 % välillä. Grafiitin määrä hienäytteissä vaihtelee 2–30 % välillä. Paremman kuvan kivien grafiittisen hiilen määrästä antavat kuitenkin geokemian analyysit (ks. kappale Kairaus- ja analyysitulosten tarkastelu).

Grafiitti-sulfidipitoisen paragneissin sivukivenä on yleensä myös paragneissiä, jossa on vain vähän tai ei ollenkaan grafiittia ja magneettikiisua (±rikkikiisu). Näiden paragneissien silikaattimineraalien koostumus on yleensä seuraava (suuruusjärjestyksessä): 1) plagioklaasia, 2) kvartsia, 3) biotiittia ja 4) joskus kalimaasälpää.

Rakenteeltaan sekä grafiittipitoiset että tavalliset paragneissit ovat lähes aina hienorakeisia (keskimääräinen raekoko < 1 mm). Nämä kivet

ovat suuntautuneet ja poimuttuneet, mutta intensiteetissä esiintyy vaihtelua (Kuvat 32 ja 33).

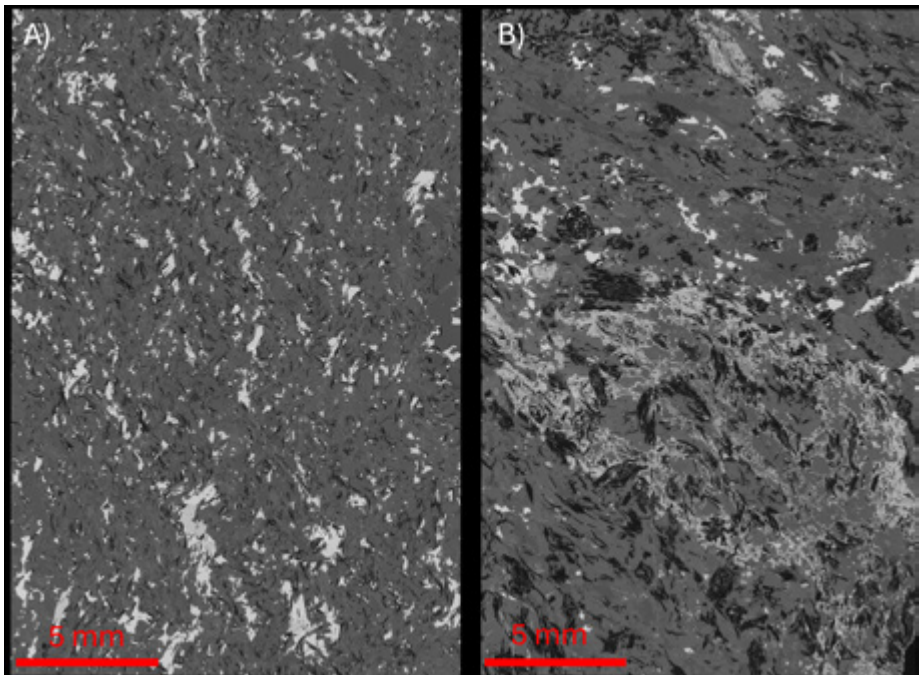
Yksittäiset grafiittisuomut ovat yleensä silikaattimineraalien välitiloissa, tyypillisesti biotiitin, plagioklaasin ja kvartsin ympäröiminä. Yksittäiset grafiittisuomut rajautuvat usein myös magneettikiisu- ja rikkikiisurakeisiin. Hienäytteissä grafiittisuomujen koko vaihtelee, mutta keskimäärin suomut ovat n. 200–300 µm pitkiä ja suurimmillaan suomut ovat yli 1000 µm pitkiä.



Kuva 33. Hienäytteissä tunnistettuja erilaisia rakenteita ja grafiitin esiintymistapoja paragneisseissä. Kuvassa A on suuntautunut paragneissi, jossa on suurehkoja vaalean ruskeita grafiittisuomuja (graf) biotiitin (biot) ja plagioklaasin (plaq) ympäröimänä. Lisäksi näytteessä esiintyy magneettikiisua (mkii). Kuvassa B on suuntaukseton paragneissi, jossa on tavanomaisen kokoisia grafiittisuomuja (graf) ja magneettikiisua (mkii) plagioklaasin (plag) ympäröimänä. Mittakaava on 1 mm:n pituinen (valkoinen viiva). Kuva on otettu Leican polari saatiomikroskoopilla pintavalossa. Kuvat: Heikki Pirinen, GTK.

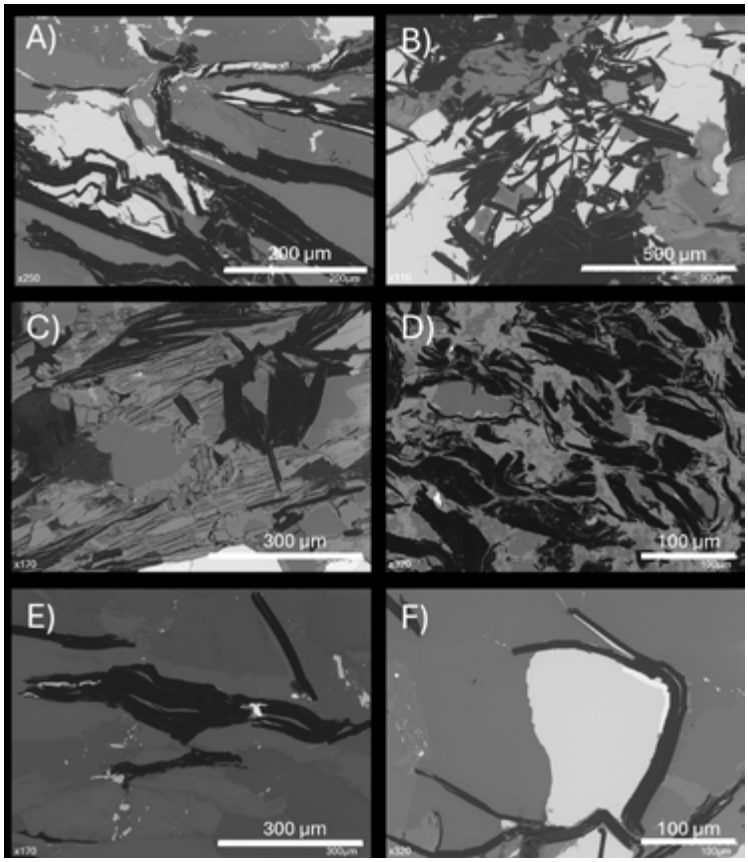
6.2.3.5 *Mineralogiset tutkimukset SEM-EDS*

Grafiitissa esiintyviä epäpuhtauksia on tutkittu GTK:n Espoon tutkimuslaboratorion pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) Hitachi SU3900, johon on liitetty Oxford Instrumentsin energiadispersiivinen spektometri (EDS). SEM-tutkimuksiin valittiin molemmista tutkimuskohteista kaksi runsaasti grafiittia sisältävää ohuthiettä: Uljuan kairasydämistä R6-66,45 m ja R6-102,60 m sekä Kotinevan kairasydämistä R4-41,05 m ja R4-49,30 m. Kotinevan ohuthienäytteessä grafiitti on hienorakeisempaa kuin Uljuan näytteessä.



Kuva 34. Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otetuissa A) Kotinevan 49,30 m ja B) Uljuan R6 102,60 m ohuthieiden BSE-kuvissa grafiitti näkyy mustana, magneettikiisu valkoisena ja silikaattimineraalit eri harmaansävyisinä. Kuvat: Sari Lukkari, GTK.

Kuvassa 34 on BSE-kuvia grafiitista ja sen yhteydessä esiintyvistä mineraaleista. Kuten polarisaatiomikroskooppitutkimukset edellä osoittivat, grafiitti esiintyy yhdessä magneettikiisun ja vähemmässä määrin rikkikiisun kanssa. Magneettikiisu onkin biotiitin ja kloriitin ohella yleisin mineraalifaasi grafiittisuomujen välissä. Magneettikiisu, kuten myös rikkikiisu, ovat köyhiä koboltin suhteen, mikä näkyy jo kokokivianalyysien vastaavissa pitoisuuksissa. Valittujen muutaman ohuthienäytteen perusteella vaikuttaisi siltä, että Uljuan R6-näytteiden grafiitti on hieman karkeampirakeista ja siinä on enemmän magneettikiisua grafiittisuomujen väleissä (Kuva 35A) kuin Kotinevan R4-näytteissä. Kotinevan R4-näytteiden grafiitti esiintyy myös magneettikiisun yhteydessä, mutta grafiittisuomujen väleissä esiintyy pääsääntöisesti kloriittia/biotiittia (Kuvat 35B ja 35C). Se, esiintyykö grafiittisuomujen välissä enemmän magneettikiisua vai kloriittia/biotiittia, vaihtelee kuitenkin ohuthieestä toiseen ja ohuthieen sisälläkin, myös Uljuan R6-102,60 m ohuthieessä on alueita, joissa grafiittisuomujen väleissä on lähes pelkästään kloriittia/biotiittia (Kuva 35D). Magneettikiisun, biotiitin ja kloriitin lisäksi grafiittisuomujen väleissä esiintyy pieninä määrinä plagioklaasia, yksittäisiä rakeita sinkkivälkettä, monatsiittia (Kuva 35E), molybdeenihohdetta (Kuva 35F), zirkonia, rutiilia/anataasia, sarvivälkettä ja kalimaasälpää. Grafiitin lisäksi muiden mineraalien määrät ovat niin vähäisiä, että niiden hyödyntäminen ei suurella todennäköisyydellä ole kannattavaa. Vaikka magneettikiisua on paikoitellen runsaasti, se ei sisällä arvokkaita metalleja, kuten kobolttia ja nikkeliä, joten sen arvo on hyödyntämisen kannalta merkityksetön. Grafiitissa esiintyvien epäpuhtauksien lisäksi, SEM-EDS-laitteistolla analysoitiin Uljuan ja Kotinevan näytteissä esiintyvä karbonaatti, joka on kalsiittia.



Kuva 35. BSE-kuvia grafiittisuomujen välissä esiintyvistä mineraaleista, grafiitti=musta, magneettikiisu=valkoinen, kloriitti/biotiitti= vaaleanharmaa, muut silikaatit eri harmaansävyjä, monatsiitti, molybdeenihohde=-kirkas valkoinen. A) Magneettikiisu grafiittisuomujen välissä, näyte Uljua R6-66,45 m, B) Magneettikiisun yhteydessä esiintyvien grafiittisuomujen välissä on pääsääntöisesti kloriittia, näyte Kotineva R4-41,05 m, C) isoja grafiittisuomuja sekä ohuita grafiitti+kloriittisuomuja, näyte Kotineva R4-41,05 m, D) kloriittia grafiittisuomujen väleissä, näyte Uljua R6-102,60 m, E) monatsiittirae (kirkas valkoinen) grafiittisuomujen välissä, näyte Uljua R6-66,45 m ja F) magneettikiisun ja sitä myötäilevän grafiittisuomun välissä on ohut molybdeenihohderae (kirkas valkoinen), näyte Kotineva R4-49,30 m. Kuvat: Sari Lukkari, GTK.

6.2.4 Loppupäätelmät

GTK:n syväkairaukset ja geofysikaaliset tutkimukset osoittavat merkittävän suomugrafiitin esiintymispotentiaalia Siikalatvan kunnan alueella ja etenkin Uljuan ja Kotinevan alueilla (Kuvat 26 ja 27). Harmillisesti jakson eteläosissa Uljuan allas peittää alleen grafiitin kannalta hyvin mielenkiintoiselta vaikuttavan alueen.

Korkean metamorfoosiasteen läpikäyneet kiilleliuske- ja paragneissialueet ovat suotuisia suomugrafiitin esiintymiselle, kuten Siikalatvan tapaus osoittaa. Geofysikaaliset lento- ja maanpintamittaukset ovat tehokkaita työkaluja grafiittisulfidirikkaiden horisonttien paikantamisessa. Siikalatvan grafiittipotentiaalia tukevat osaltaan myös Kupukan Grafiitti Oy:n malminetsintätulokset, jotka sijaitsevat GTK:n tutkimusalueista pohjoiseen (ks. kuva 26).

Mineralogisesti grafiittipitoisten paragneissien pääsilikaattimineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti. Näiden lisäksi grafiittipitoisissa paragneisseissä esiintyy sulfidimineraaleja, joista yleisin on magneettikiisu ja vähäisessä määrin esiintyy myös rikkikiisua. Nämä eivät kanna mukanaan arvometalleja, kuten nikkeliä ja kobolttia. Grafiittisuomujen koko vaihtelee, mutta keskimäärin suomut ovat n. 200–300 µm pitkiä ja suurimmillaan yli 1000 µm pitkiä.

Hyödyntämispotentiaaliin vaikuttaa grafiittipitoisuuden lisäksi suomukoko ja se, miten kookkaana se pystytään säilyttämään grafiitin rikastuksessa. Karkealle jakeelle on laajasti käyttöä teollisissa materiaaleissa, ja se on myös merkittävästi kalliimpaa maailmanmarkkinoilla kuin alle 149 µm:n hienosuomuinen rikaste.

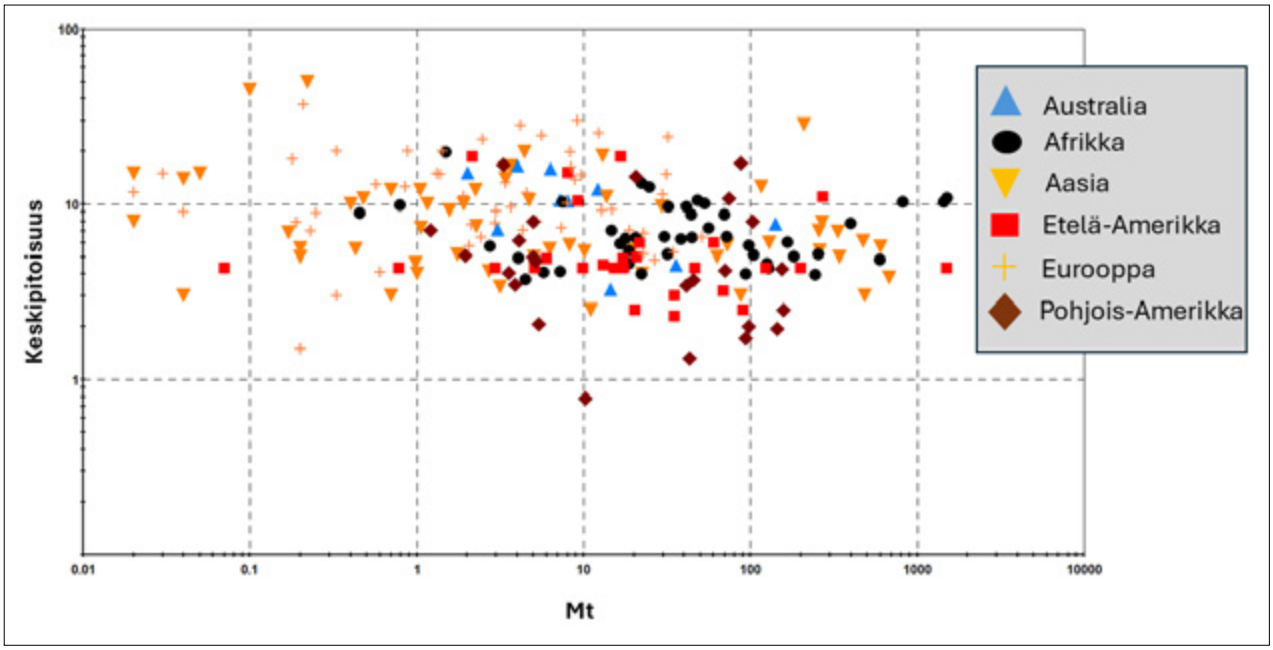
SEM-EDS-tutkimus osoitti, että grafiittisuomujen sisällä esiintyy epäpuhtauksina silikaatti- ja sulfidimineraalisulkeumia. Lisäksi grafiittisuomujen mitoissa on vaihtelua. Sulfidimineraalien hyödyntäminen metallien osalta grafiitin yhteydessä on epätodennäköistä, ja ne siirtyvät siis prosessissa jätteeseen. Koboltin ja nikkelin pitoisuudet ovat myös pienet kivistä tehdyissä kokokivianalyyseissä. Magneettikiisun ja rikkikiisun hyödyntämismahdollisuus rikkihapon valmistamiseksi on ainakin teoreettisesti mahdollista. Tämä vaatisi sulfidisten mineraalien erilleen rikastamista esimerkiksi magneettisella erottimella.

Norjan ja eräiden muiden globaalien esiintymien perusteella Gautneb ym. (2020) raportoivat, että grafiittiesiintymien kokonaishiilipitoisuudet vaihtelevat 5–20 % välillä ja esiintymien koko on alle 40 Mt. Weberin (2023) globaalin aineiston mukaan C-pitoisuus vaihtelee 2–20 % välillä useimmissa toiminnassa olevissa kaivoksissa, esiintymissä ja malminetsintähankkeissa (Kuva 36). Usein erilaiset malmityypit noudattelevat sääntöä, jossa matalat pitoisuudet seuraavat suuria tonnimääriä ja päinvastoin.

Kuvassa 36 on esitetty globaali suomugrafiittiesiintymien data (Weber 2023). Tarkastelemalla GTK:n tutkimusprojektissa ja tässä hankkeessa saatuja tuloksia voidaan arvioida, että pelkästään Siikalatvan tutkituilla alueilla on mahdollista olla vähintään useita kymmeniä miljoonia tonneja grafiittipitoista kiveä, jonka keskipitoisuus voi olla 2–5 % välillä (grafiittista hiiltä). Nämä arviot eivät perustu kansainvälisiin luokittelustandardeihin vaan arvioon grafiittipitoisten paragenisien dimensioista ja analysoituihin pitoisuuksiin.

Kupukan Grafiitti Oy:n julkaisemat (30.1.2026) alustavan tarkastelun tulokset osoittavat heidän tutkimuskohteillaan olevan grafiittipitoista malmikiveä mahdollisesti 23,1–93,5 miljoonaa tonnia (Mt), jossa grafiittisen hiilen pitoisuus on 3,4–5,3 % (Kupukan Grafiitti Oy 2026b). Näitä määriä voidaan kasvattaa merkittävästi esimerkiksi GTK:n tutkimuksissa osoitetuilla alueilla kuten myös vielä tutkimattomilla kohteilla. Kaikkineen kysymyksessä on merkittävä grafiittipotentiaalinen alue.

GTK:n kairasydämistä analysoitujen grafiittisen hiilen pitoisuuksien perusteella tulokset olisi syytä tarkastella ja mahdollisesti myös analysoida uudelleen analyysien luotettavuuden epäilyjen vuoksi. Nykyisen ymmärryksen mukaan saadut pitoisuudet vaikuttavat liian alhaisilta grafiittisen hiilen pitoisuuksien osalta.



Kuva 36. Suomugrafiittiesiintymien keskipitoisuuksia ja tonnimääriä (Mt=miljoonia tonneja) maailmalta esitettynä XY-diagrammilla toisiaan vasten. Pohjautuu Weber 2023 kuvaan ja aineistoon.

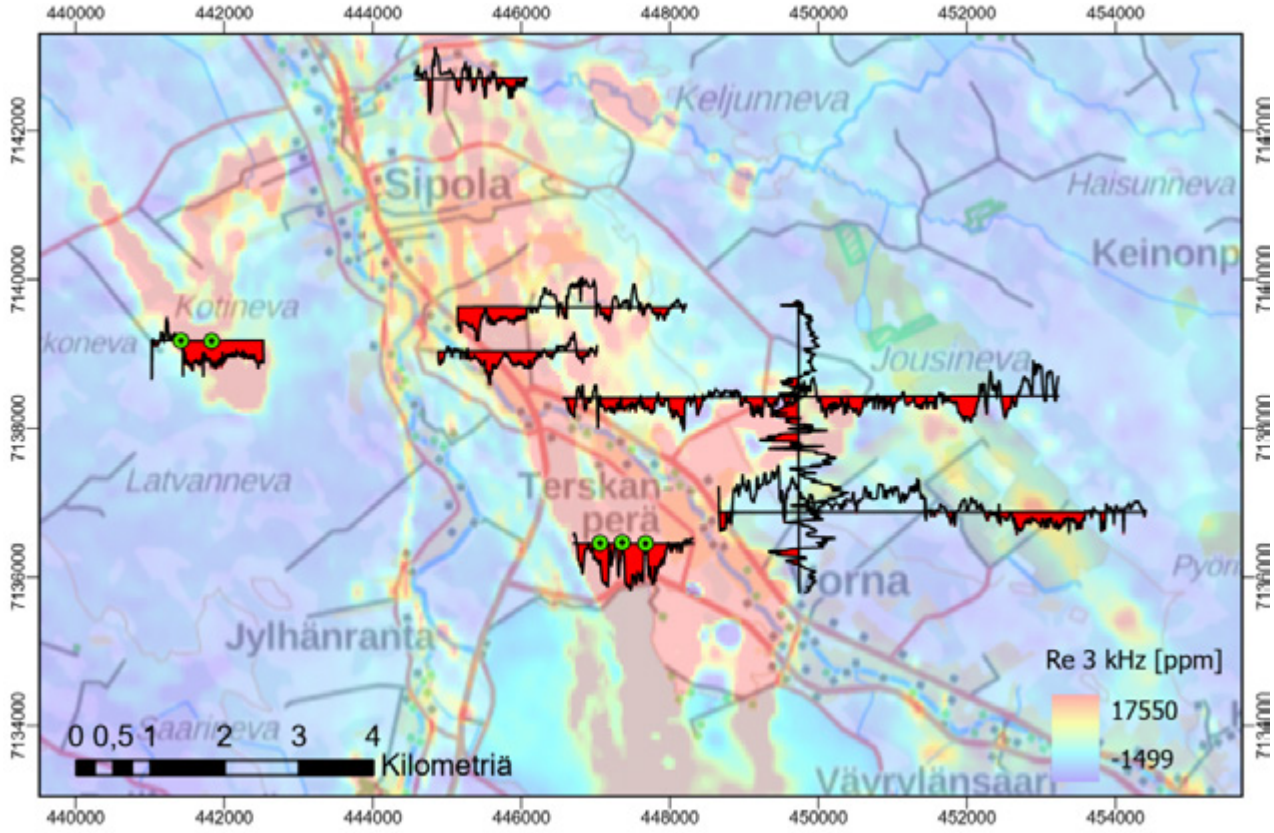
6.3 Siikalatvan alueen geofysikaaliset tutkimukset

Hankkeen tarkoituksena oli myös tunnistaa ja mallintaa grafiittipotentiaalisia vyöhykkeitä Siikalatvan kunnan alueelta hyödyntämällä Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) geofysikaalisia aineistoja. Grafiitti on erinomaisesti sähköä johtava mineraali, minkä vuoksi se aiheuttaa sähkömagneettisia anomalioita. Tämän vuoksi ensisijaisiksi tutkimusmenetelmiksi on valittu sähkömagneettiset menetelmät, jotka soveltuvat parhaiten johteiden havaitsemiseen. Koska grafiittivyöhykkeet voivat olla myös magneettisia niissä esiintyvän magneettikiisun vuoksi, toissijaisena menetelmänä on hyödynnetty magneettisia mittauksia.

GTK on toteuttanut Siikalatvan kunnan alueella geofysikaaliset matalalentomittaukset vuosien 1981–1990 aikana. Lentomittaukset on tehty 200 m:n linjavälillä, noin 40 m:n korkeudelta. Projektissa hyödynnettiin myös GTK:n, Vihanti-Pyhäsalmi-projektissa (V-P projekti; 2022–2025) mitattuja maastogeofysikaalisia aineistoja.

Kuvassa 37 on esitetty V-P-projektissa mitatun VLF-R-maanpintamittauksen näennäinen ominaisvastus profiilimuodossa. VLF-R on geofysikaalinen sähkömagneettinen mittausmenetelmä, jolla tutkitaan maa- ja kallioperän sähkönjohtavuutta. VLF-R (very low frequency resistivity) -menetelmä perustuu taajuusalueella 10–30 kHz toimivien voimakkaiden radioasemien lähetinkenttien hyväksikäyttöön. Mittaustulos voidaan esittää profiilimuodossa, jossa johteiden paikat nähdään anomalioina. VLF-R-mittauksessa saadaan tuloksena näennäinen ominaisvastus ja vaihekulma. Kuvassa 37 on esitetty näennäinen ominaisvastus, jonka minimikohdat näyttävät maankamaran johteiden sijainnit. Kuvassa 37 minimikohdat on korostettu punaisella. Taustakuvana on aerosähkömagneettinen reaalikomponentti, jossa nähdään myös punaisella värillä johteet.

Kuvassa 37 havaitut sähkömagneettiset anomaliavyöhykkeet ovat V-P-projektin kairausten perusteella grafiitin aiheuttamia. Samankaltaisia anomaliajaksoja on tutkittu Kupukan Grafiitti Oy:n toimesta myös pohjoisempana, jossa ne on myös todettu grafiitista aiheutuviksi. Nämä havainnot ja tutkimukset osoittavat, että alueella on merkittävät määrät johtavia grafiittipitoisia kiviä.



Kuva 37. Sähkömagneettiset VLF-R-profiilimittaukset tutkimusalueella sekä V-P-projektin kairauspaikat (vihreät ympyrät). Taustalla on aerosähkömagneettinen reaalikomponentti ja peruskartta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

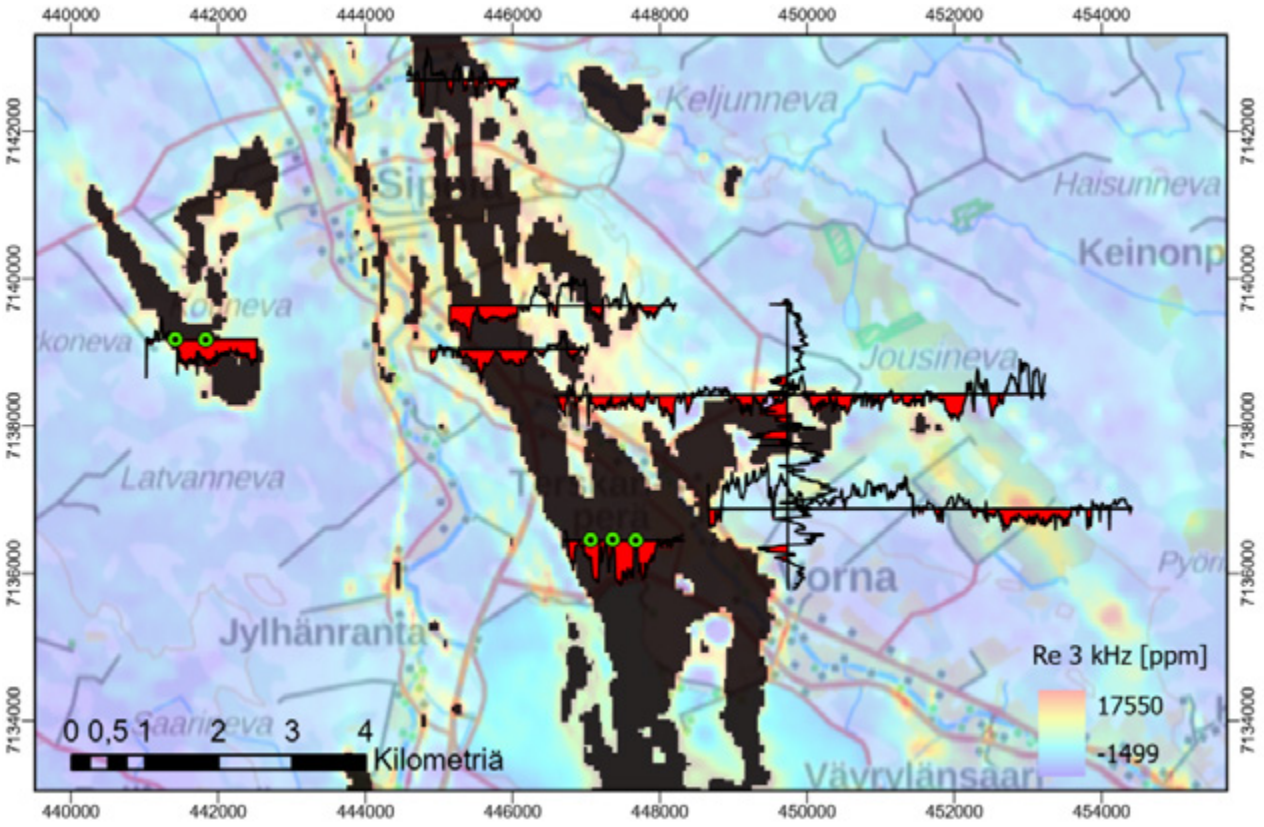
Grafiittikohteiden paikantaminen Siikalatvan kunnan alueelta edellyttää kattavaa ja tasalaatuista geofysikaalista aineistoa. GTK:n aerosähkömagneettisen (AEM) aineiston hyödyntäminen tarjoaa tähän parhaan lähtökohdan, koska muita vastaavan laajuisia aineistoja ei ole saatavilla.

Käytetty AEM-aineisto koostuu 3000 Hz:n reaali- (Re) ja imaginäärikomponentista (Im). Niistä voidaan prosessoida myös näennäinen johtavuus. Kallion pinnan päällä oleva irtomaat ja suot vaikuttavat erityisesti Im-komponenttiin. Koska tavoitteena on kallioperän johteiden aluerajaus, toteutettiin se valitsemalla Re-anomalialle amplitudin raja-arvo. Anomalian amplitudiin vaikuttavat mm. johteen syvyys, leveys ja johtavuus. Syvemmällä olevat johteen aiheuttavat pienemmän amplitudin anomalian, koska anomalialähteen syvyys vaimentaa amplitudia. Tässä projektissa haettiin pinnanläheisiä grafiittivyöhykkeitä, jotka tuottavat suuren amplitudin sähkömagneettisen anomalian. Amplitudin lisäksi anomaliavyöhykkeen dimensiot (pituus ja leveys) ovat ratkaisevan tärkeitä potentiaalisten kohteiden arvioinnissa.

Reaalianomalian käyttöön aluerajauksissa liittyy piirteitä, jotka on hyvä tiedostaa. Sähkömagneettisessa mittauksessa Re-komponenttiin tulee minimi mitattaessa voimakkaasti magnetoituneen kappaleen päällä (ns. suskeptibiliteettiefekti). Toisaalta, jos kappale on riittävän grafiittirikas, ts. erittäin hyvin sähköä johtava, johtavuuden vaikutus kumoaa tämän efektin. Tämä käy ilmi EAM-vastefunktiosta, jonka on esittänyt mm. Peltoniemi (1988).

Sähkömagneettisen inversiomallinnuksen avulla voitaisiin tutkia syvemmällä olevia johteita. Käytetyn AEM-menetelmän syvyysulottuvuus on melko vaatimaton, joten tämä lähestymistapa ei ollut mielekäs. Lisäksi syvemmällä olevat grafiittiesiintymät eivät olleet tässä projektissa ensisijaisen mielenkiinnon kohteina, koska niiden arvioitu potentiaali hyödyntämisen näkökulmasta ei todennäköisesti ole niin suuri kuin pintaan puhkeavien ja laaja-alaisten esiintymien.

Kuvissa 37 ja 38 esitetyt V-P-projektin kairauskohteet Siikalatvan kunnan alueella toimivat erinomaisena referenssikohteena, sillä alueella on suoritettu myös geofysikaalisia maanpintamittauksia. Valintakriteeriksi päädyttiin > 1000 ppm:n AEM-reaalianomaliaa, joka edustaa kairausten perusteella merkittävän grafiittipitoisuuden omaavaa paragneissiä.

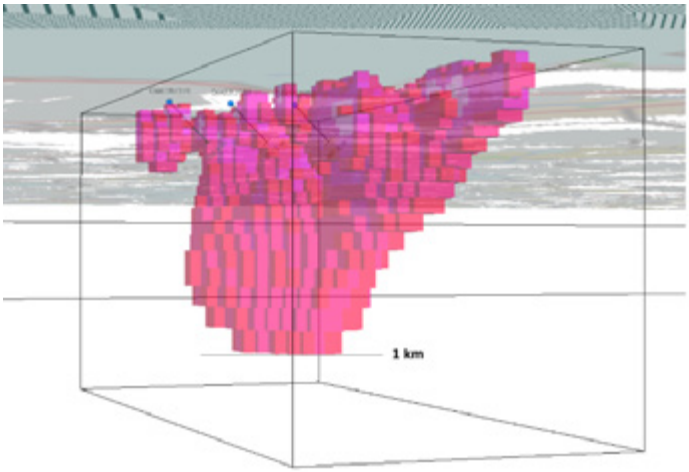


Kuva 38. Yli 1000 ppm:n reaalianomalian rajaus mustalla. Kuvassa on lisäksi tutkimusalueen sähkömagneettiset VLF-R-profiilimittaukset sekä V-P-projektin kairauspaikat (vihreät ympyrät). Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

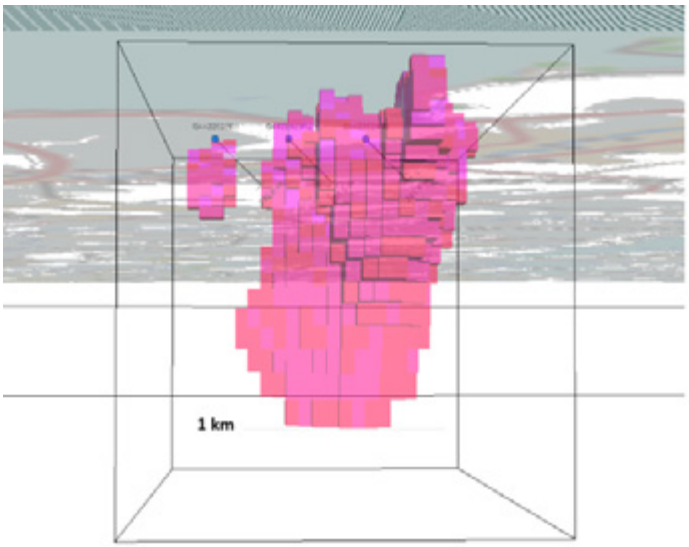
Raportin kuvassa 27 on esitetty grafiittipotentiaaliset vyöhykkeet Siikalatvan kunnan alueelta. Aluerajaus toteutettiin rajaamalla AEM-datasta alueet, joissa Re-anomalian arvo ylittää 1000 ppm. On huomioitava, että sähkömagneettisen anomalian aiheuttajia on muitakin kuin grafiitti, esimerkiksi monet sulfidimineraalit, kuten magneettikiisu, aiheuttavat sähkömagneettisia anomalioita. Kuvassa 27 esitetyt kohteet ovat siten grafiittipotentiaalisia tunnettujen tutkimustulosten ja vallitsevan geologian puitteissa. Kuitenkin johdeanomalian aiheuttaja pitää todentaa aina kallioperäkairauksin.

6.3.1 Mallinnus

Magneettisen datan tulkinnalla saadaan indikaatioita AEM-tulkintaa syvemmältä, joten kairausprofiilien kohdilta tehtiin magneettiset 3D-inversiot. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty magneettinen inversiomalli itäiseltä kairausprofiililta, jonka perusteella magneettikiisupitoinen grafiittivyöhyke jatkuu kairausprofiilien kohdalla useiden satojen metrien syvyyteen. Myös läntisen kairausprofiilin magneettinen 3D-inversio indikoi samanlaisia syvyysulottuvuuksia. Luotettavien johtopäätösten tekeminen pelkän magneettisen aineiston perusteella on kuitenkin epävarmaa. Grafiittivyöhykkeiden syvyysulottuvuuden arvioinnissa sähkömagneettisilla syvätutkimuksilla, esim. magnetotelluurisilla luotauksilla, saataisiin huomattavasti luotettavampaa tietoa johdevyöhykkeiden syvyysjatkeista.



Kuva 39. Magneettinen 3D-inversiomalli itäisen kairausprofiilin kohdalta, näkymä lounaasta.



Kuva 40. Magneettinen 3D-inversiomalli itäisen kairausprofiilin kohdalta, näkymä etelästä.

7 ALUSTAVAT GRAFIITIN RIKASTUSKOKEET SIIKALATVAN KOMPOSIITTINÄYTTEILLÄ

7.1 Johdanto

Tässä kappaleessa esitetään projektissa suoritettuja rikastuskokeita ja niihin liittyviä tutkimuksia. Rikastuskokeet toteutettiin kahdelle eri kairasydännäytteelle GTK:n kiertotalouden ratkaisut -yksikössä, Outokummussa.

Työt aloitettiin näytteiden murskauksella ja esikäsittelyllä sekä kemiallisen koostumuksen määrittämisellä. Ennen varsinaisia rikastuskokeita tehtiin jauhatustestejä, joissa selvitettiin jauhatushienouden ja -ajan välistä riippuvuutta. Jauhatuksen tavoitteena on saada eri mineraalit toisistaan erilleen mahdollisimman puhtaina ja vapaina partikkeleina ja mahdollistaa siten arvomineraalien ja harmemineraalien erottaminen toisistaan jollakin tekniikalla.

Jauhatustestien jälkeen tehtiin yhteensä 30 vaahdotuskoetta, joissa haettiin sopivia olosuhteita grafiitin rikastamiseen. Tutkittavia muuttujia olivat mm. kemikaaliannostukset, vaahdotusajat, jauhatushienous ja lisäjauhatukset. Lopuksi tuotettiin molemmista komposiittinäytteistä > 2 kg grafiittirikastetta jatkotutkimuksia varten (pallo-

tustestit, ks. kappale 11). Rikastuskokeissa tuotettuja grafiittirikasteita lähetettiin myös mineralogisiin tutkimuksiin (ks. kappale 8) Oulun yliopiston Kaivannaisalan yksikköön (Oulu Mining School, OMS); nämä tutkimukset liittyivät työpakettiin 5. Grafiitin rikastamisen lisäksi valituista vaahdotuskokeista lähetettiin rikastushiekkanäytteitä jatkotutkimuksiin (ks. kappale 10), joissa selvitettiin niiden ympäristöominaisuuksia (Työpaketti 4, GTK:n vesitalouden ratkaisut yksikkö).

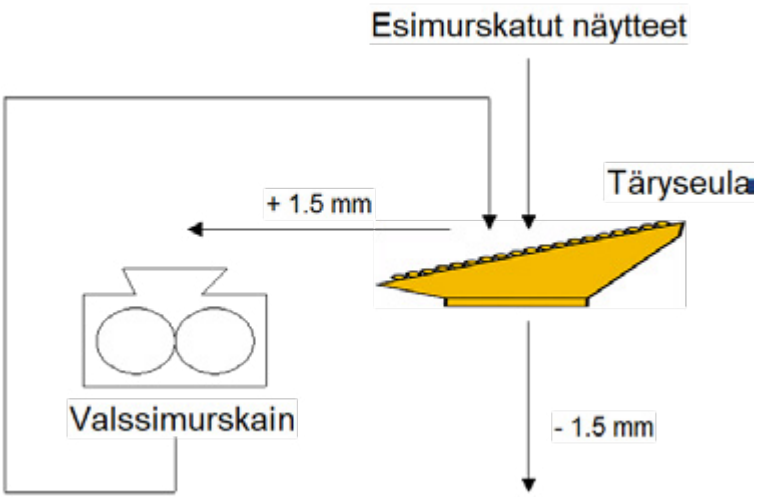
7.2 Näytteet

Grafiitin rikastustutkimuksia varten vastaanotettiin kaksi näytettä kahdesta eri kairareiästä (Q4222023R4 ja Q4422024R6, ks. sijainti kappaleesta 6). Näytteet olivat esimurskattuja niistä tehtyjen geokemiallisten analyysien yhteydessä ALS:n tutkimuslaboratoriossa). Jokainen näyte oli pakattu muovipusseihin (Kuva 41).



Kuva 41. Ensimmäinen näyte-erä kairareiästä Q4222023R4.

Molemmat näyte-erät murskattiin erikseen < 1,5 mm:n raekokoon jatkuvatoimisessa murskauspiirissä, joka koostui täryseulasta, valssimurskaimesta ja tarvittavista kuljetinhihnoista. Näytteissä oli silmämääräisesti jo huomattava määrä valmista < 1,5 mm:n materiaalia, joten se seulottiin pois murskauspiirissä olevalla täryseulalla ennen murskausta. Murskauksen jälkeen molemmista näytteistä jaettiin sopivia 1,5 kg:n ja 5 kg:n panoksia rikastuskokeita varten sekä lisäksi pienemmät näytteet kemiallisia analyyseja varten. Yksinkertaistettu kaavio murskauksesta on esitetty kuvassa 42.



Kuva 42. Näytteiden murskaus.

Taulukossa 10 on esitetty murskattujen komposiittinäytteiden kemiallista koostumusta muutamien valittujen elementtien osalta. Näytteiden välillä ei ollut kovin suuria eroja, ja komposiittinäytteiden hiilipitoisuudet olivat noin 4–5 %.

Taulukko 10. Komposiittinäytteiden kemiallinen koostumus.

Näyte	C (Leco) %	S (Leco) %	SiO2 (XRF) %	Al2O3 (XRF) %	Fe (XRF) %	MgO (XRF) %	CaO (XRF) %
Composite _Q4222023R4	4.34	4.57	54.10	13.60	8.20	2.78	3.05
Composite _Q4422024R6	5.28	3.36	57.85	13.26	5.32	3.47	2.19

7.3 Jauhatuskokeet

Ennen vaahdotuskokeita tehtiin jauhatuskokeita, joissa selvitettiin jauhatusajan ja jauhatushienouden välistä suhdetta. Jauhamisen tavoitteena on saada eri mineraalit erilleen toisistaan, niin että ne esiintyisivät mahdollisimman puhtaina ja vapaina partikkeleina ja mahdollistaisivat siten arvomineraalien ja harmemineraalien erottamisen toisistaan jollakin tekniikalla. Mahdolliset sekarakeet vaikeuttavat grafiitin rikastusta ja heikentävät rikasteen laatua.

Primäärijauhatukset 1,5 kg:n syötepanoksille tehtiin pienellä tankomyllyllä ja 5 kg:n panoksille hieman suuremmalla Mergan tankomyllyllä. Käytettäessä 1,5 kg:n syötepanosta jauhintankojen määrä oli 8 kg ja veden määrä 0,9 litraa, kiintoainepitoisuus noin 62,5 %. Suuremmalla 5 kg:n syötepanoksella jauhintankojen määrä oli vastaavasti 22,5 kg ja veden määrä 5 litraa, kiintoainepitoisuus noin 50 %.

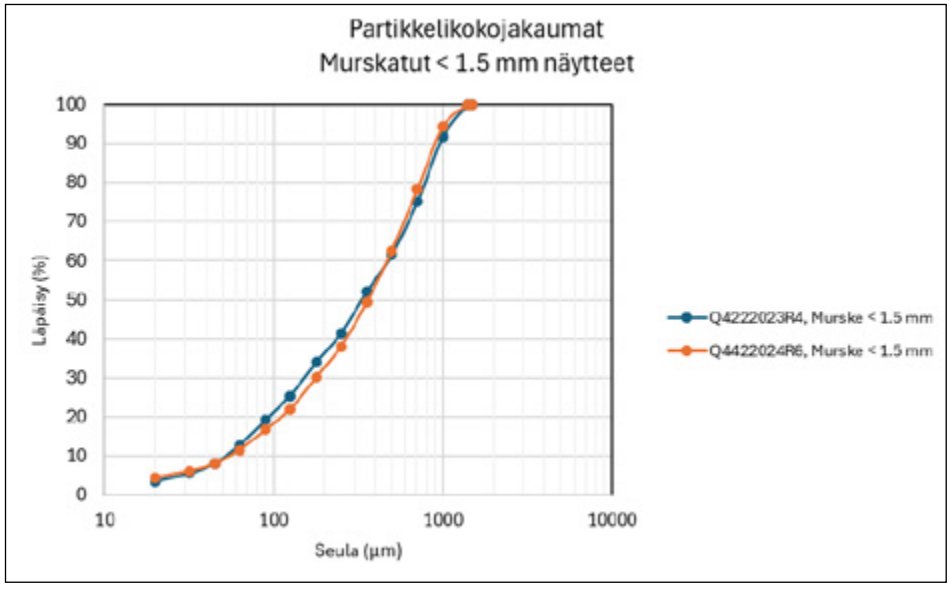


Kuva 43. Mergan-tankomylly vasemmalla ja pienempi tankomylly oikealla.

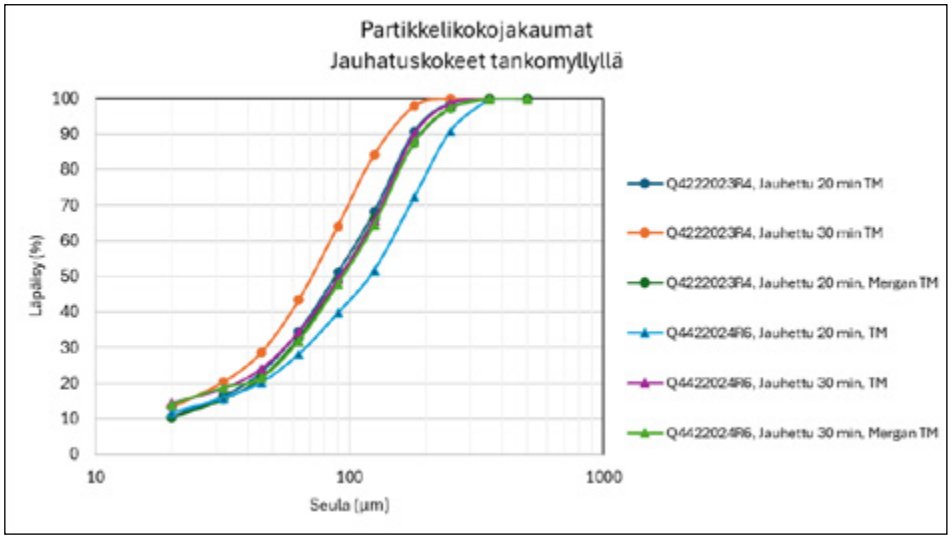
Murskattujen < 1,5 mm:n komposiittinäytteiden partikkelikokojakaumat olivat lähellä toisiaan ja 80 %:n läpäisyt vaihtelivat 739 ja 794 µm:n välillä (Kuva 44 ja taulukot 11–12). Partikkelikokojakaumat määritettiin märkä- ja kuivaseulonnalla. Ensin tehtiin märkäseulonta 20 µm:n seulalla ja tämän jälkeen karkealle +20 µm:n tuotteelle tehtiin koneellinen kuivaseulonta (Rotap). Kuivaseulonnan jälkeen kaikki eri seulafraktiot punnittiin ja niiden perusteella voitiin määrittää läpäisyt.

Murskattujen komposiittinäytteiden hienoudet olivat varsin lähellä toisiaan, mutta jauhatuskokeissa niiden välillä oli selviä eroja. Komposiittinäytteen Q4222023R4 jauhatushienous oli 20 minuutin tankojauhatuksen jälkeen D80~154 µm, ja vastaavasti komposiittinäytteellä Q4422024R6 se oli selvästi karkeampi D80~209 µm. Komposiittinäytettä Q4422024R6 piti jauhaa 10 minuuttia kauemmin, että päästiin samaan jauhatushienouteen.

Suurempia 5 kg:n panoksia jauhettaessa käytettiin samoja jauhatusaikoja (Q4222023R4, 20 min ja Q4422024R6, 30 min), ja jauhatushienoudet olivat noin D80~160 µm.



Kuva 44. Partikkelikokojakaumat murskauksen jälkeen.



Kuva 45. Partikkelikokojakaumat primäärijauhatuskokeissa (tankomylly).

Taulukko 11. Komposiitti Q4222023R4, partikkelikokojakaumat primäärijauhatuskokeissa.

Seula	Läpäisy			
(µm)	Murske < 1.5 mm	Jauhettu 20 min TM	Jauhettu 30 min TM	Jauhettu 20 min Mergan TM
1500	100.0			
1400	99.9			
1000	91.7			
710	75.2			
500	61.6	100.0		100.0
355	52.0	100.0	100.0	99.9
250	41.4	98.8	99.9	97.3
180	34.1	90.8	97.9	87.6
125	25.4	68.1	84.1	66.3
90	19.2	51.1	64.2	49.1
63	12.8	34.5	43.3	32.7
45	8.1	23.1	28.7	21.6
32	5.5	16.4	20.4	15.6
20	3.6	10.5	13.3	10.3
D80 (µm)	793.8	153.8	117.8	160.3

Taulukko 12. Komposiitti Q4422024R6, partikkelikokojakaumat primäärijauhatuskokeissa.

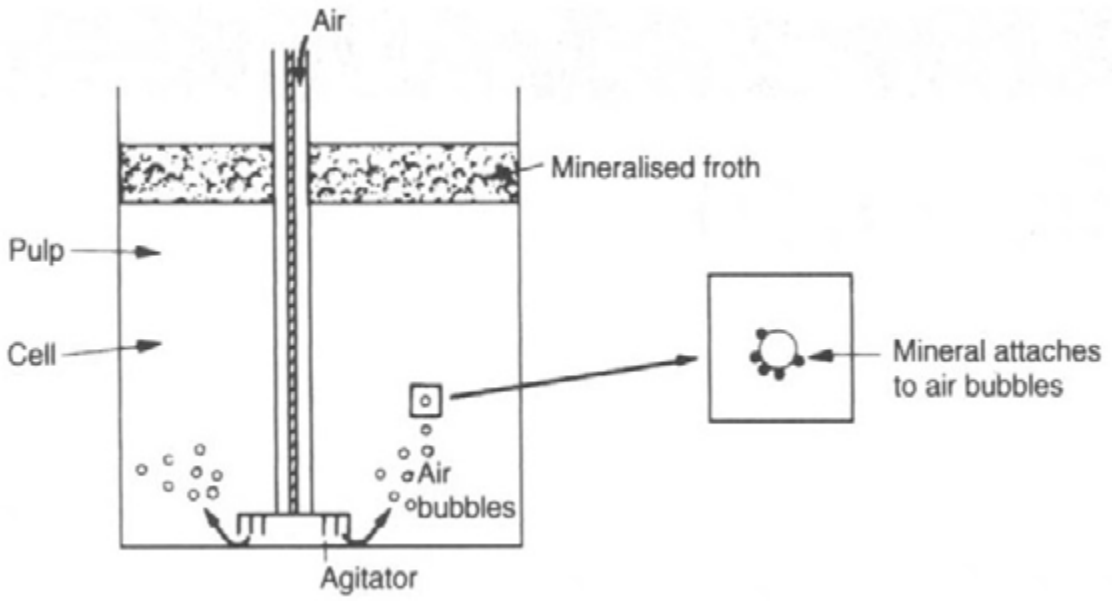
Seula	Läpäisy			
(µm)	Murske < 1.5 mm	Jauhettu 20 min TM	Jauhettu 30 min TM	Jauhettu 20 min Mergan TM
1500	100.0			
1400	100.0			
1000	94.3			
710	78.4			
500	62.6			100.0
355	49.3	100.0	100.0	99.8
250	38.0	90.8	98.7	97.5
180	30.3	72.2	90.0	87.8
125	21.9	51.6	65.8	64.4
90	16.8	39.7	49.3	47.8
63	11.6	28.0	34.4	31.8
45	8.0	20.2	24.1	21.5
32	6.2	15.9	18.6	18.8
20	4.5	11.7	14.5	14.2
D80 (µm)	739.4	209.4	157.3	161.6

7.4 Vaahdotuskokeet

Vaahdotus on fysikaaliskemiallinen rikastusmenetelmä, jossa hyödynnetään arvomineraalien ja harmemineraalien erilaisia pintaominaisuuksia. Murskattu ja jauhettu malmi syötetään vaahdotuskennoon lietteenä, jossa sitä sekoitetaan riittävän tehokkaasti, ettei materiaali laskeudu kennon pohjalle. Vaahdotuksessa käytetään erilaisia kemikaaleja sen mukaan, mikä rikastettava materiaali on. Yleensä tarvitaan vähintäänkin vaahdote vaahdon luomiseksi. Kun olosuhteet ovat sopivat, aletaan syöttää ilmaa vaahdotuskennoon sekoitusakselin, roottorin ja staattorin läpi ja näin hajotetaan ilma pieniksi ilmakupliksi. Tehokkaan sekoituksen ja ilmastuksen vaikutuksesta mineraalipartikkelit törmäilevät ja tarttuvat ilmakupliin ja nousevat vaahdotuskennon pintaan, josta ne voidaan kerätä pois vaahdon mukana.

Mineraalipartikkelit voivat tarttua ilmakupliin vain, jos ne ovat hydrofobisia eli vettä hylkiviä. Esimerkiksi talkki on luonnostaan hydrofobinen mineraali ja grafiitti osittain. Yleensä tarvitaan vaahdotteen lisäksi jotakin kokoojakemikaalia,

joka adsorboituu mineraalipartikkelin pintaan ja tekee sen hydrofobiseksi. Lisäksi voidaan käyttää erityyppisiä painaja- tai aktivaattorikemikaaleja. Voidaan esimerkiksi pyrkiä painamaan ei-halutuja mineraaleja, etteivät ne nouse vaahdotusrikasteeseen. Tilanteen mukaan vaahdotus voi olla joko suoravaahdotusta, jossa tavoitteena on saada arvomineraalit nousemaan vaahtokerrokseen, tai käänteisvaahdotusta, jossa vaahdotetaan harmemineraalit ja arvomineraalit jäävät kennon pohjalle. Vaahdotus on yksi eniten käytettyjä mineraalien rikastusmenetelmiä kaivosteollisuudessa.



Kuva 46. Vaahdotuksen periaate. Kuva kirjasta Wills' Mineral Processing Technology (Wills & Napier-Munn 2005).

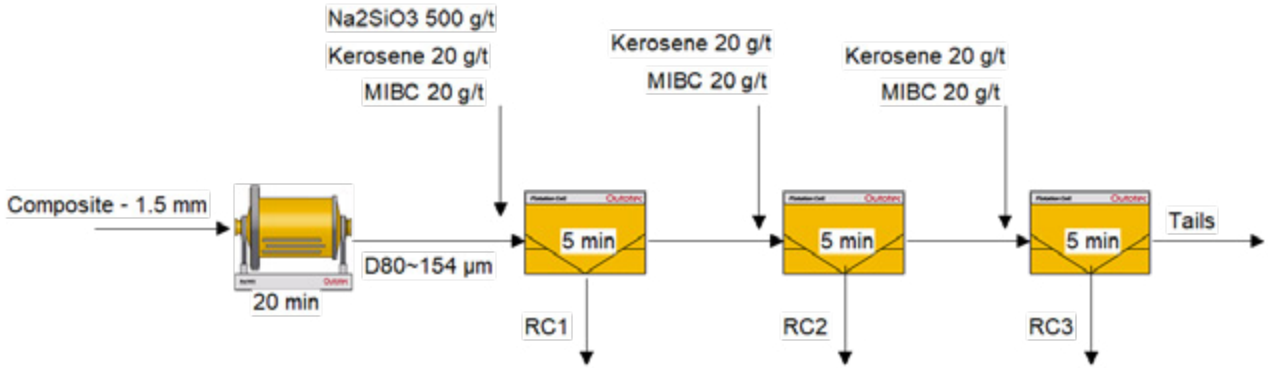
7.4.1 Esivaahdotuskokeet

Esivaahdotuskokeissa oli tarkoituksena saada mahdollisimman suuri osa grafiitista talteen. Lisäksi selvitettiin vaahdotuksessa tarvittavien kemikaalien määriä sekä vaahdotuksen kinetiikkaa eli sitä, kuinka nopeasti grafiitti vaahdottuu. Esivaahdotuskokeissa käytetyt olosuhteet on esitetty taulukossa 13 ja yksinkertaistettu prosessikaavio kuvassa 47.

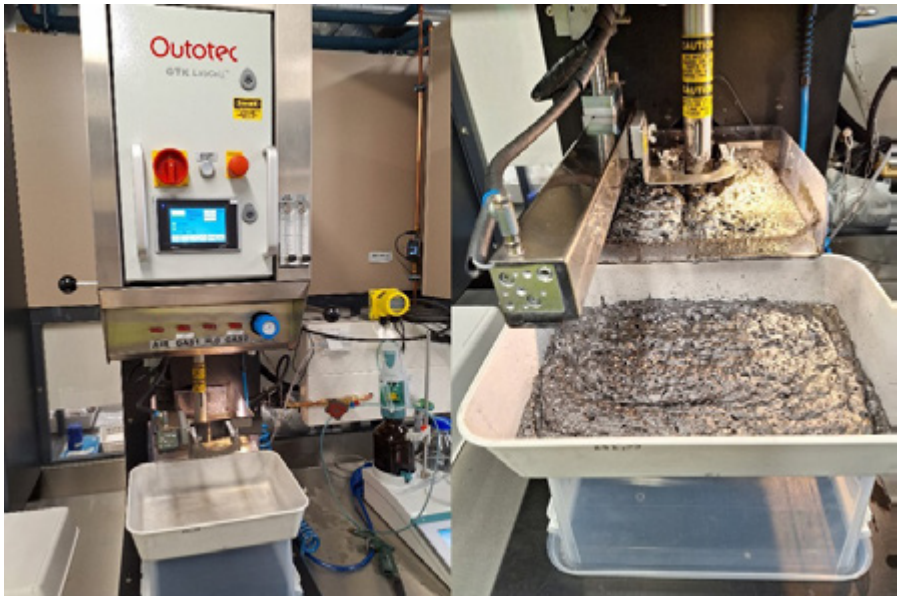
Esivaahdotuskokeet tehtiin 1,5 kg:n syötepanoksilla. Komposiittinäytteitä jauhettiin tankomyllyllä joko 20 tai 30 minuuttia, jolloin jauhatushienous oli noin 154–157 µm. Vaahdotus tehtiin Outotec-GTK LabcellTM -laitteella 4 litran vaahdotuskennossa, jossa sekoitusnopeus oli 1800 rpm ja käytetty ilmamäärä 3 l/min. Grafiitin kokoojakemikaalina käytettiin kerosiinia 60 g/t ja vaahdotteena 60 g/t MIBC. Silikaattimineraaleja pyrittiin painamaan käyttämällä vesilasia 500 g/t (Na_2SiO_3). Vaahdotuksen aikana kerättiin kolme kappaletta rikasteita aikasarjana (5 + 5 + 5 min) ja kokonaisvaahdotusaika oli 15 min. Vaahdotuskokeiden lopputuotteet suodatettiin, kuivattiin ja punnittiin ja lopuksi niistä jaettiin osanäytteet kemiallisia analyyseja varten.

Taulukko 13. Esivaahdotuskokeet, parametrit.

Testi no:	Näyte	Jauhatus		Vaahdotus			
		Aika min	D80 µm	Aika min	Na2SiO3 g/t	Kerosene g/t	MIBC g/t
1	Q4222023R4	20	154	15	-	60	60
2	Q4222023R4	20	154	15	500	60	60
15	Q4422024R6	30	157	15	500	60	60



Kuva 47. Yksinkertaistettu prosessikaavio komposiitti Q4222023R4:sta (testi 2).



Kuva 48. Outotec-GTK LabcellTM -laite vasemmalla ja grafiitin vaahdotusta oikealla.



Kuva 49. Vaahdotuskokeen tuotteiden suodatusta.

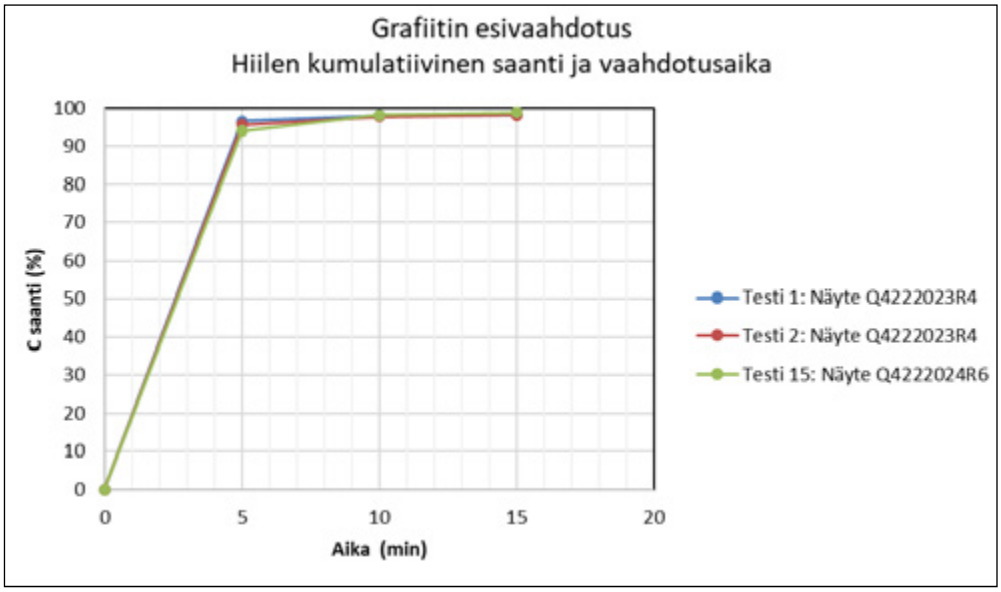
Esivaahdotuskokeiden tuloksia on esitetty taulukossa 14 ja kuvissa 50–51. Suurin osa grafiitista saatiin talteen jo viiden minuutin vaahdotuksen jälkeen, jolloin hiilen saannit esirikasteessa RC1 olivat 94–97 %. Hiilen kumulatiiviset saannit esirikasteisiin RC1-3 olivat noin 98–99 % ja pitoisuudet 20–30 %. Vaahdotuksen kinetiikka oli hyvin samanlainen molemmilla komposiittinäytteillä.

Vesilasin käyttö silikaattimineraalien painamiseksi vaikutti positiivisesti. Vaahdotuskokeessa 2 saatiin hieman korkeampi hiilipitoisuus 23,5 % esirikasteisiin RC1-3 kuin testissä 1, jossa se oli 20,1 %. Hiilen kokonaissaannit olivat kuitenkin samat 98 %.

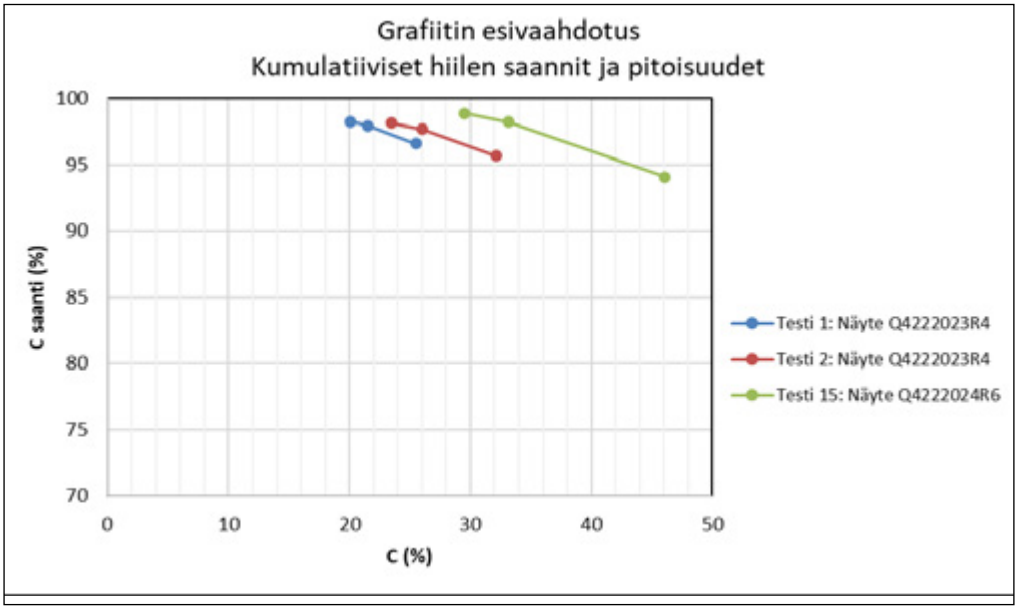
Esirikasteiden RC1-3 hiilipitoisuus 29,5 % oli selvästi korkeampi komposiittinäytteellä Q4422024R6 (testi 15). Tätä voi selittää osittain kenties komposiittinäytteen hieman korkeampi hiilipitoisuus 5 %, kun taas komposiittinäytteessä Q4222023R4 se oli noin 4 %.

Taulukko 14. Hiilen ja muutamien muiden elementtien saannit ja pitoisuudet esivaahdotuskokeissa.

Test	Product	Mass	C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
		%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1	RC1	14.1	25.5	96.6	36.6	9.6	10.9	11.4	4.7	8.4	2.1	6.3
	RC2	2.9	1.7	1.3	55.9	3.0	15.5	3.3	6.9	2.5	3.5	2.1
	RC1-2	17.0	21.5	97.9	39.9	12.6	11.7	14.7	5.0	10.9	2.4	8.4
	RC3	1.3	1.0	0.3	54.0	1.3	15.3	1.4	7.4	1.2	4.0	1.1
	RC1-3	18.2	20.1	98.2	40.8	13.9	11.9	16.2	5.2	12.1	2.5	9.4
	Tails	81.8	0.1	1.8	56.4	86.1	13.8	83.8	8.5	87.9	5.3	90.6
	Calc. feed	100.0	3.7	100.0	53.6	100.0	13.5	100.0	7.9	100.0	4.8	100.0
2	RC1	11.9	32.1	95.6	32.2	7.0	9.7	8.5	4.2	6.3	1.9	4.8
	RC2	3.1	2.6	2.0	54.6	3.1	15.3	3.5	6.4	2.5	3.2	2.1
	RC1-2	15.0	26.0	97.7	36.8	10.1	10.8	12.0	4.7	8.8	2.2	7.0
	RC3	1.7	1.1	0.4	55.4	1.7	15.2	1.9	6.8	1.4	3.8	1.4
	RC1-3	16.6	23.5	98.1	38.7	11.9	11.3	13.9	4.9	10.2	2.3	8.3
	Tails	83.4	0.1	1.9	57.5	88.1	13.9	86.1	8.6	89.8	5.2	91.7
	Calc. feed	100.0	4.0	100.0	54.4	100.0	13.5	100.0	7.9	100.0	4.7	100.0
15	RC1	10.3	46.1	94.0	30.6	5.4	8.0	6.2	4.2	8.2	1.8	5.5
	RC2	4.6	4.5	4.1	55.7	4.4	14.6	5.1	5.6	4.9	3.3	4.7
	RC1-2	15.0	33.2	98.2	38.4	9.9	10.0	11.2	4.6	13.1	2.2	10.2
	RC3	2.0	1.7	0.7	57.3	2.0	14.8	2.2	5.9	2.2	3.8	2.3
	RC1-3	17.0	29.5	98.9	40.6	11.9	10.6	13.4	4.8	15.3	2.4	12.4
	Tails	83.0	0.1	1.1	61.6	88.1	13.9	86.6	5.4	84.7	3.5	87.6
	Calc. feed	100.0	5.1	100.0	58.0	100.0	13.4	100.0	5.3	100.0	3.3	100.0



Kuva 50. Grafiitin esivaahdotus, hiilen kumulatiivinen saanti ja vaahdotusaika.



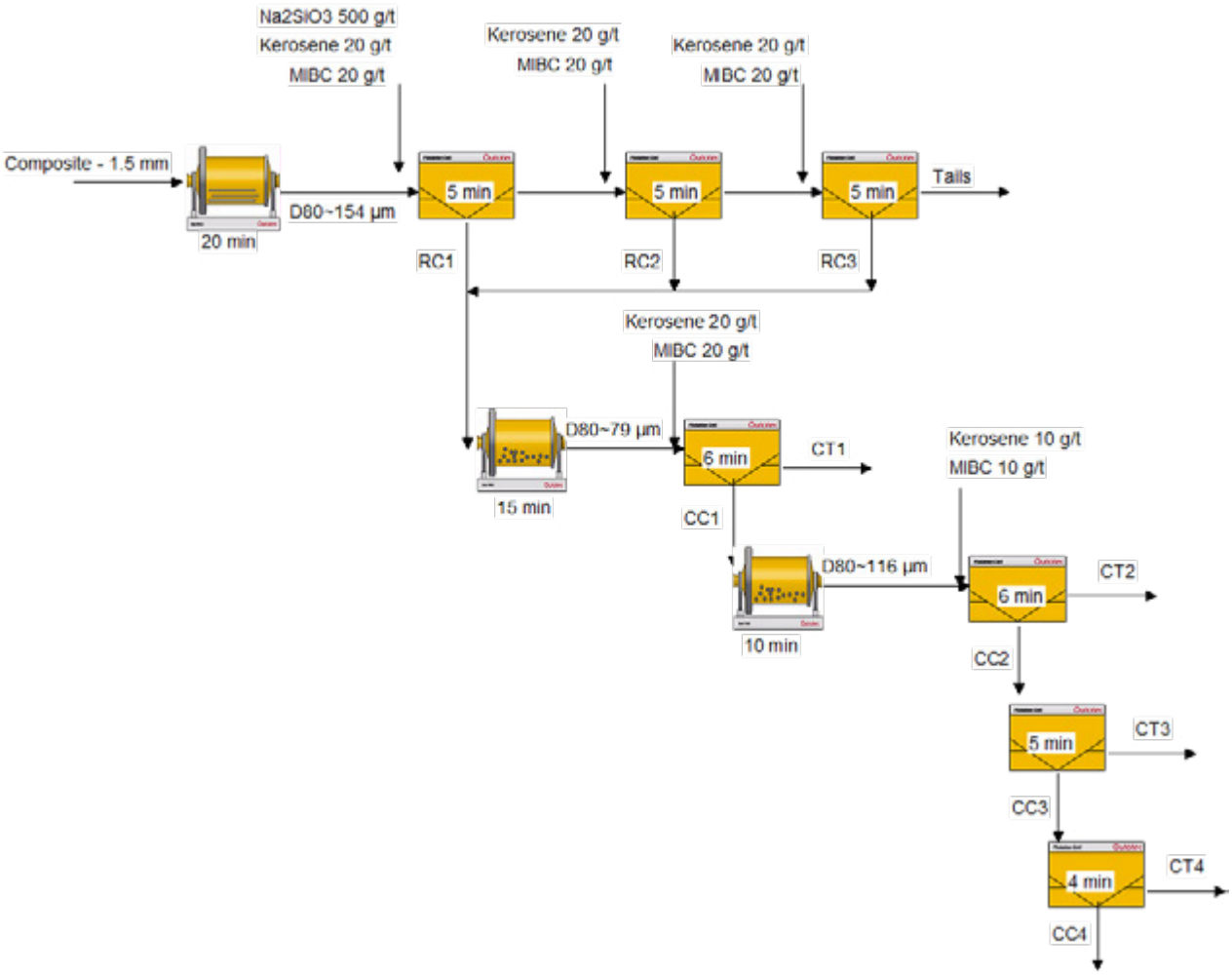
Kuva 51. Grafiitin esivaahdotus, kumulatiiviset hiilen saannit ja pitoisuudet.

7.4.2 Kertausvaahdotuskokeet

Kertausvaahdotuskokeiden tavoitteena oli mahdollisimman korkea hiilipitoisuus loppurikasteessa hyvällä saannilla. Esivaahdotus tehtiin kappaleessa 7.4.1 esitetyllä tavalla. Esirikasteita RC1–3 jauhettiin kuulamyllyllä ennen ensimmäistä kertausvaahdotusvaihetta ja lisäjauhatus tehtiin lisäksi myös ensimmäiselle kertausrikasteelle suurimassa osassa testejä. Lisäjauhatusten tarkoituksena oli parantaa grafiittipartikkeleiden liberaatioita rikkomalla mahdollisia sekarakeita. Kertausvaahdotukset (4 kpl) tehtiin pääasiassa 2 litran vaahdotuskennoissa, sekoitusnopeus oli 1300 rpm ja käytetty ilmamäärä 2 l/min. Kertausvaiheissa käytettiin myös pieniä määriä kerosiinia ja vaahdotetta.

Taulukko 15. Kertausvaahdotuskokeet, pääasialliset muuttujat. Ei määritetty partikkelikokojakaumaa.

Testi	Näyte	Jauhatus		Vaahdotus						
		Aika min	D80 µm	Vaihe	Aika min	Na2SiO3 g/t	Kerosene g/t	MIBC g/t	CuSO4 g/t	SIBX g/t
3	Q4222023R4	20	154	RC1-3	15	500	60	60		
		15	79	CC1	6		20	20		
				CC2	5		10	10		
4	Q4222023R4	20	154	RC1-3	15	500	60	60		
		15	79	CC1	6		20	20		
		10	116	CC2	5		10	10		
8	Q4222023R4	20	154	RC1-3	15	500	60	60		
		15	79	CC1	6		20	20		
		10	116	CC2	5		10	10		
				Sconc 1-2	15			40	300	200
16	Q4222023R6	30	157	RC1-3	15	500	39	39		
		15	78	CC1	6		13	13		
				CC2	5		7	7		
17	Q4422024R6	30	157	RC1-3	15	500	60	60		
		15	78	CC1	6		20	20		
		10	112	CC2	5		10	10		
19	Q4422024R6	30	157	RC1-3	15	500	60	60		
		15	78	CC1	6	250	20	20		
		10	112	CC2	5		10	10		
21	Q4422024R6	30	157	RC1-2	10	500	40	40		
		15	78	CC1	6		20	20		
		10	112	CC2	5		10	10		
				CC3	4		10	10		
				CC4	4		10	10		
				Sconc 1-2	15			40	300	200
24	Q4422024R6	30	157	RC1	5	500	20	20		
		15	-	CC1	6		20	20		
		10	-	CC2	5		10	10		



Kuva 52. Yksinkertaistettu prosessikaavio komposiitti Q4222023R4:lle (testi 4). Komposiitilla Q422024R6 tehtiin myös vastaavanlainen vaahdotuskoe (testi 17).



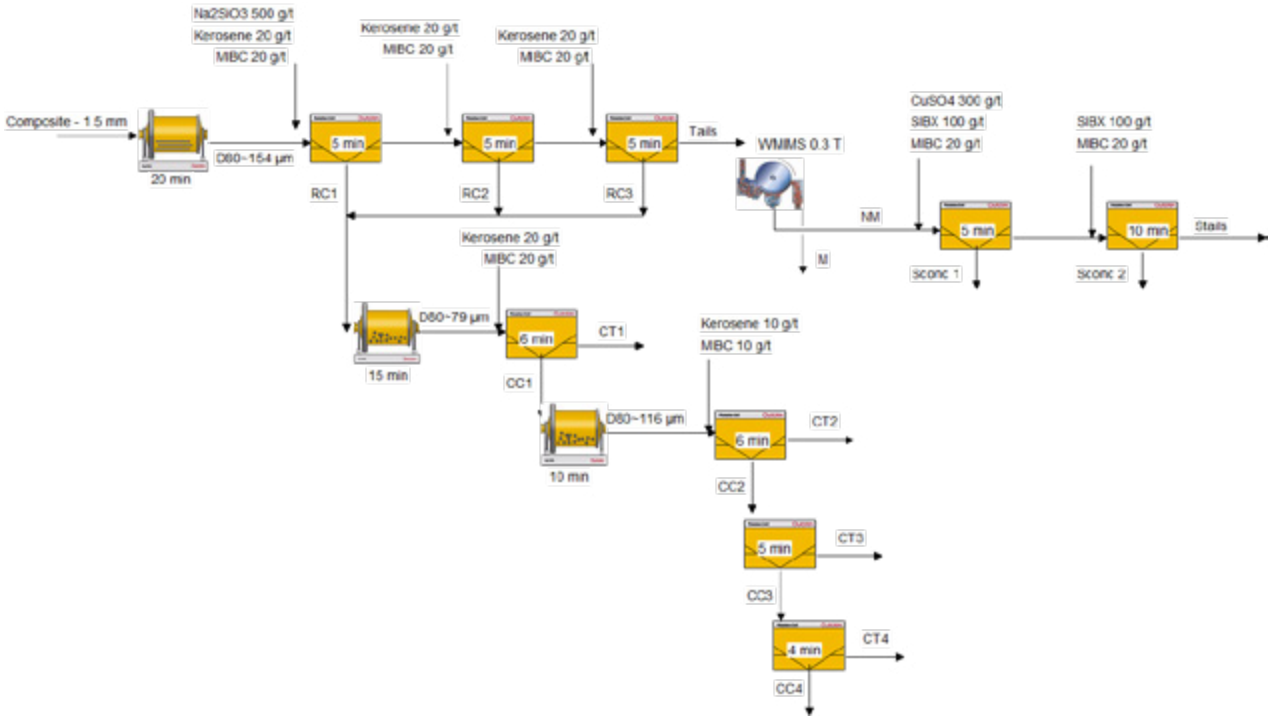
Kuva 53. Esikertausrikasteiden lisäjauhatuksessa käytetty kuulamylly ja kuulapanos.

Testeissä 8 ja 21 tutkittiin lisäksi mahdollisuuksia tehdä rikastushiekka, jossa on matala rikkipitoisuus. Tämä tehtiin lisäämällä grafiittivaahdotuksen jätteelle magneettierotus ja sulfidivaahdotus. Yksinkertaistettu prosessikaavio on esitetty kuvassa 55. Grafiittivaahdotuksen jäte sekoitettiin hyvin saavissa ja syötettiin letkupumpulla lietteenä rumpumagneettierottimelle (magneetin voimakkuus 0,3 Teslaa) magneettikiisun poistamiseksi. Näin magneettinen tuote jää kiinni rumpuun, josta se kaavitaan talteen. Ei-magneettinen tuote poistuu magneettirummun alapuolelta

olevasta poistoaukosta. Lopuksi ei-magneettiselle tuotteelle tehtiin sulfidivaahdotus, jossa tarkoituksena oli poistaa rikkiä sisältäviä mineraaleja. Tässä vaahdotuksessa käytettiin kuparisulfaattia ($CuSO_4$) aktivoijana (300 g/t) ja natriumisobutyyliksantaattia (SIBX) kokoojakemikaalina (200 g/t).



Kuva 54. Magneettierotin ja koejärjestely.



Kuva 55. Yksinkertaistettu prosessikaavio komposiitti Q4222023R4:lle (testi 8). Komposiitilla Q422024R6 tehtiin myös vastaavanlainen vaahdotuskoe (testi 21).

Hiilen saannit ja pitoisuudet eri kokeissa on esitetty kuvassa 56 ja taulukossa 16. Lisäjauhatuksen vaikutus näkyi selvästi grafiittirikasteiden hiilipitoisuudessa. Komposiittinäytteellä Q4222023R4 (testi 3) hiilen saanti esirikasteisiin RC1-3 oli 98,4 % ja hiilipitoisuus 23 %. Esirikasteelle tehtiin lisäjauhatus ja neljä kertausvaahdotusta, jonka jälkeen hiilipitoisuus oli 85 % ja saanti 89,5 %. Testissä 4 tehtiin lisäjauhatus myös ensimmäiselle kertausrikasteelle, jolloin loppurikasteen CC4 hiilipitoisuus oli tässä selvästi korkeampi (96,8 %) ja saanti 83 %. Vaahdotuskokeessa 8 grafiitin vaahdotus tehtiin samalla tavalla kuin testissä 4 ja tulokset olivat myös hyvin

samanlaisia. Loppurikasteen CC4 hiilipitoisuus oli 97,3 % ja saanti 82 %.

Vastaavanlainen trendi lisäjauhatusten vaikutuksesta todettiin myös komposiitilla Q422024R6 vaahdotuskokeissa 16 ja 17. Tosin loppurikasteen hiilipitoisuudessa ei ollut yhtä huomattavaa parannusta. Testissä 16 loppurikasteen CC4 hiilipitoisuus oli 86,3 % ja testissä 17 vastaavasti 89,5 %. Hiilen saannit loppurikasteessa olivat vain 18,5–25,5 %; todennäköisesti olisi tarvinnut lisätä enemmän vaahdotuskemikaaleja kertausvaiheisiin. Testissä 19 lisättiin 250 g/t vesilasia (Na_2SiO_3) ensimmäiseen kertausvaahdotusvaiheeseen, ja tavoitteena oli tehostaa silikaattien painamista. Rikasteiden hiilipitoisuudet olivat kuitenkin matalampia kuin verrokkitesteissä 16 ja 17.

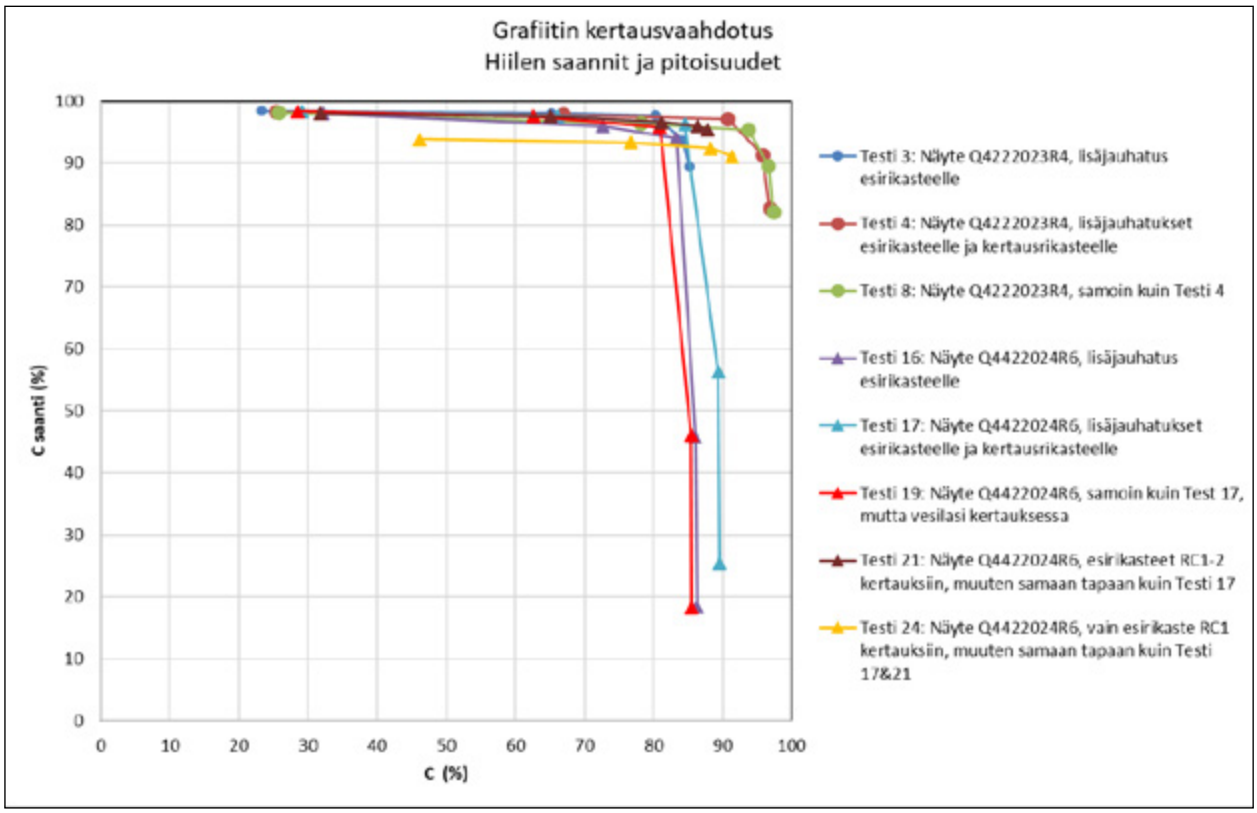
Vaahdotuskokeessa 21 (komposiitti Q422024R6) tehtiin kertaukset vain kahdelle ensimmäiselle esirikasteelle (RC1-2) ja lisättiin hieman vaahdotuskemikaaleja jokaiseen kertausvaiheeseen. Tarkoituksena oli parantaa esirikasteen laatua ja kertausrikasteiden saanteja. Esirikasteen RC1-2 hiilipitoisuus oli 31,7 % ja saanti 98 %. Loppurikasteen hiilipitoisuus oli näin 87,9 % ja saanti 95,5 %. Loppurikasteen hiilipitoisuus oli melko sama kuin testissä 17, mutta saanti parani huomattavasti.

Parhaat tulokset komposiittinäytteellä Q422024R6 saatiin testissä 24, jossa kertaukset tehtiin vain ensimmäiselle esirikasteelle (RC1). Esirikasteen hiilipitoisuus oli 46 % ja saanti 94 %. Loppurikasteen CC4 hiilipitoisuus oli 91,4 % ja saanti 91 %.

Taulukko 16. Grafiitin esirikasteet ja loppurikasteet eri testeissä.

Test	Product	Mass	C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
		%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
3	RC1-3	17.3	23.2	98.4	40.8	12.9	11.6	15.1	5.8	12.6	2.4	8.8
	CC4	4.3	85.2	89.5	3.3	0.3	1.3	0.4	1.2	0.6	0.3	0.3
4	RC1-3	16.8	25.4	98.3	40.3	12.4	11.6	14.5	6.0	12.1	2.3	8.1
	CC4	3.7	96.8	82.8	1.4	0.1	0.6	0.2	0.7	0.3	0.3	0.2
8	RC1-3	16.8	25.8	98.2	39.9	12.5	12.0	14.5	5.5	11.5	2.5	9.4
	CC4	3.7	97.3	82.2	1.0	0.1	0.4	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2
16	RC1-3	15.6	32.2	98.0	38.4	10.4	10.5	12.0	4.8	14.0	2.2	10.3
	CC4	1.1	86.3	18.5	6.6	0.1	2.3	0.2	1.7	0.3	0.4	0.1
17	RC1-3	17.2	29.2	98.4	39.9	12.0	10.8	13.7	5.1	16.3	2.5	12.2
	CC4	1.5	89.5	25.5	5.0	0.1	1.8	0.2	1.3	0.4	0.3	0.1
19	RC1-3	17.2	28.5	98.3	40.3	11.7	10.8	13.9	5.3	17.1	2.3	12.9
	CC4	1.1	85.5	18.2	6.9	0.1	2.3	0.2	2.0	0.4	0.3	0.1
21	RC1-2	15.6	31.7	98.0	38.2	10.1	10.5	11.9	5.1	14.3	2.3	11.3
	CC4	5.5	87.9	95.5	5.7	0.5	2.0	0.8	1.6	1.6	0.3	0.5
24	RC1	10.1	46.2	93.8	29.4	5.1	8.2	6.2	4.6	8.8	1.8	5.6
	CC4	4.9	91.4	91.1	3.8	0.3	1.4	0.5	1.3	1.2	0.2	0.3

*Testit 3–8 (komposiittinäyte Q4222023R4) ja testit 16–24 (komposiittinäyte Q422024R6).



Kuva 56. Hiilen saannit ja pitoisuudet kertausvaahdotuskokeissa.

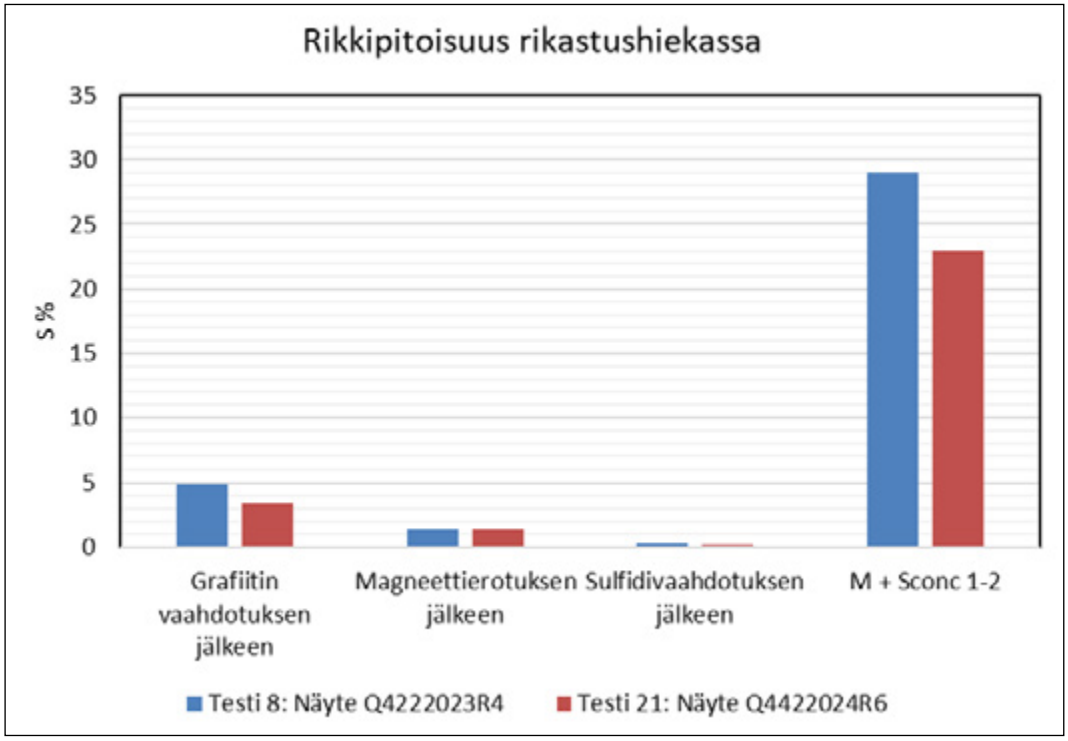
Testeissä 8 ja 21 tutkittiin grafiitin vaahdotuksen lisäksi mahdollisuuksia tuottaa matalarikkipitoinen rikastushiekka. Tulosten perusteella voidaan todeta, että komposiittinäytteellä Q4222023R4 (testi 8) rikastushiekan (Tails) rikkipitoisuus oli grafiitin vaahdotuksen jälkeen 4,9 %. Kun rikastushiekalle tehtiin magneettinen erotus magneettikiisun poistamiseksi, rikkipitoisuus laski 1,4 %:iin ei magneettisessa tuotteessa (NM). Vastaavasti magneettisen tuotteen rikkipitoisuus oli 32 % ja suurin osa rikistä 67 % tuli tähän tuotteeseen. Ei-magneettiselle tuotteelle (NM) tehtiin vielä lopuksi vaahdotus, jossa vaahdotettiin sulfidimineraaleja pois. Tämän jälkeen rikkipitoisuus laski 0,3 %:iin. Massansaanti yhdistettyyn magneettisen tuotteeseen ja sulfidirikasteeseen (M+Sconc 1–2) oli 13 % ja laskennallinen rikkipitoisuus 29 % sekä rikin saanti 87 %.

Komposiittinäytteellä Q422024R6 saatiin suurin piirtein vastaavat tulokset testissä 21. Grafiitin vaahdotuksen jälkeen rikastushiekan rikkipitoisuus oli 3,3 % ja magneettisen erotuksen jälkeen 1,4 % sekä sulfidivaahdotuksen jälkeen enää 0,2 %. Massansaanti yhdistettyyn magneettisen tuotteeseen ja sulfidirikasteeseen (M+Sconc 1–2) oli 11,5 % ja laskennallinen rikkipitoisuus 23 % sekä rikin saanti 83 %.

Testeissä 8 ja 21 tuotetut matalarikkiset jätteet (Stails) sekä hieman korkeapitoisemmat grafiittivaahdotuksen jätteet testeissä 4 ja 17 lähetettiin jatkotutkimuksiin, jossa selvitettiin niiden ympäristöominaisuuksia (Eurofins Environment Testing Finland ja GTK Espoo).

Taulukko 17. Tulokset, vaahdotuskokeet 8 ja 21.

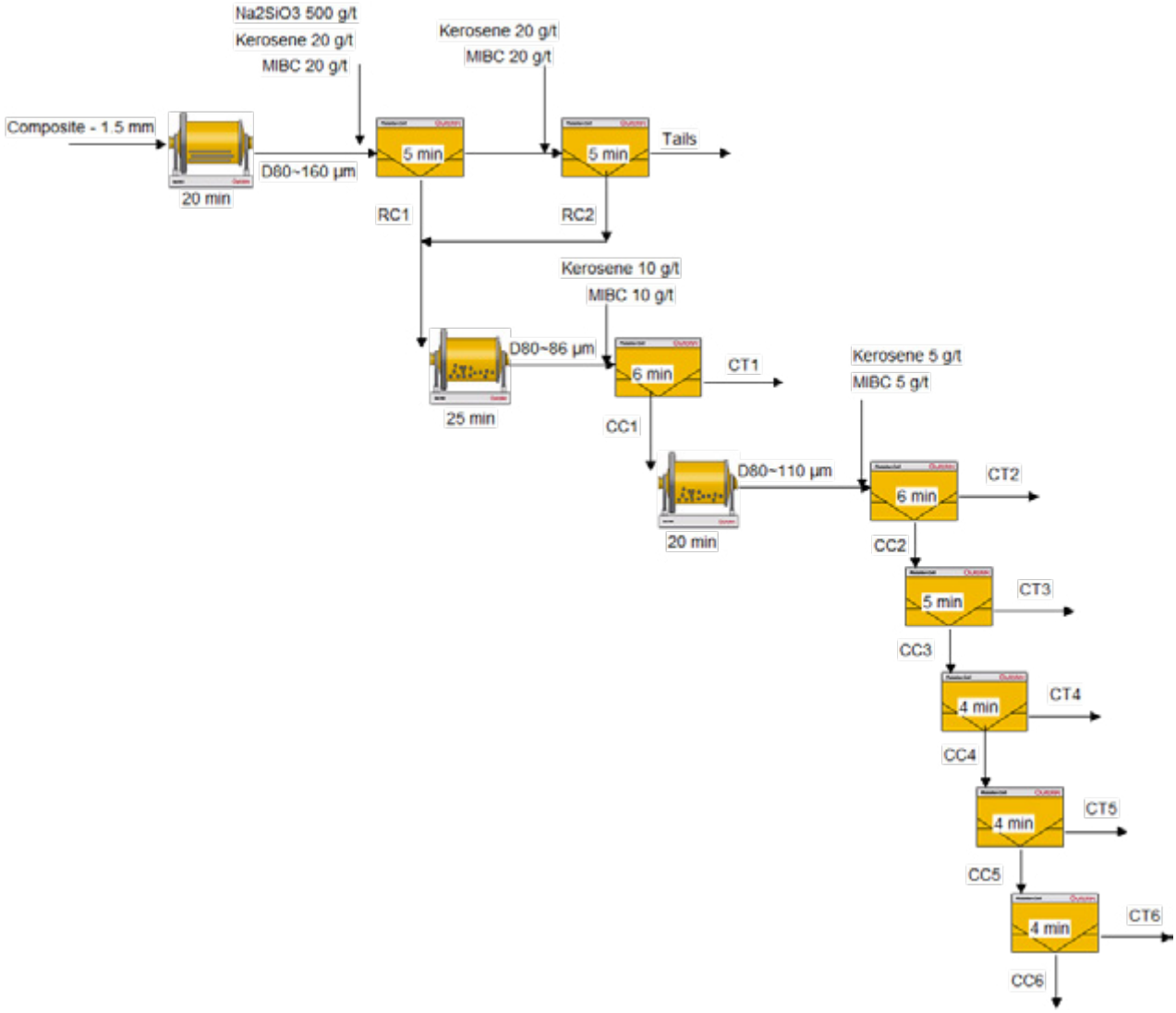
Test	Product	Mass	C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
		%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
3	RC1-3	17.3	23.2	98.4	40.8	12.9	11.6	15.1	5.8	12.6	2.4	8.8
	CC4	4.3	85.2	89.5	3.3	0.3	1.3	0.4	1.2	0.6	0.3	0.3
4	RC1-3	16.8	25.4	98.3	40.3	12.4	11.6	14.5	6.0	12.1	2.3	8.1
	CC4	3.7	96.8	82.8	1.4	0.1	0.6	0.2	0.7	0.3	0.3	0.2
8	RC1-3	16.8	25.8	98.2	39.9	12.5	12.0	14.5	5.5	11.5	2.5	9.4
	CC4	3.7	97.3	82.2	1.0	0.1	0.4	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2
16	RC1-3	15.6	32.2	98.0	38.4	10.4	10.5	12.0	4.8	14.0	2.2	10.3
	CC4	1.1	86.3	18.5	6.6	0.1	2.3	0.2	1.7	0.3	0.4	0.1
17	RC1-3	17.2	29.2	98.4	39.9	12.0	10.8	13.7	5.1	16.3	2.5	12.2
	CC4	1.5	89.5	25.5	5.0	0.1	1.8	0.2	1.3	0.4	0.3	0.1
19	RC1-3	17.2	28.5	98.3	40.3	11.7	10.8	13.9	5.3	17.1	2.3	12.9
	CC4	1.1	85.5	18.2	6.9	0.1	2.3	0.2	2.0	0.4	0.3	0.1
21	RC1-2	15.6	31.7	98.0	38.2	10.1	10.5	11.9	5.1	14.3	2.3	11.3
	CC4	5.5	87.9	95.5	5.7	0.5	2.0	0.8	1.6	1.6	0.3	0.5
24	RC1	10.1	46.2	93.8	29.4	5.1	8.2	6.2	4.6	8.8	1.8	5.6
	CC4	4.9	91.4	91.1	3.8	0.3	1.4	0.5	1.3	1.2	0.2	0.3



Kuva 57. Rikkipitoisuudet grafiitin vaahdotuksen jälkeen rikastushiekoissa.

7.4.3 Rikasteen tuotanto

Molemmista komposiittinäytteistä tuotettiin grafiittirikastetta jatkotutkimuksia varten (mm. pallotustestit, ks. kappale 11). Rikastetta tuotettaessa käytettiin suurempia 5 kg:n syötepanoksia. Grafiitin vaahdotus tehtiin samaan tapaan kuin aiemmin oli kuvattu. Suurin ero oli, että grafiitin esirikasteelle tehtiin 6 kpl kertauksia ja lisäjauhatusajat olivat myös hieman pidempiä suuremman syötemäärän vuoksi. Esivaahdotus tehtiin 12 litran kennossa, jossa käytetty ilmamäärä oli 5 l/min ja sekoitusnopeus oli 2300 rpm. Kertaukset tehtiin 4 litran vaahdotuskennoissa, jossa sekoitusnopeus oli 1800 rpm ja ilmamäärä 3 l/min.



Kuva 58. Rikasteen tuotanto komposiittinäytteellä Q4222023R4 (testit 9–14).

Käytännössä pallotustestejä varten tuotettu rikaste koostettiin kertausrikasteista CC6 ja kertausjätteistä CT6 (yhteensä yli 2 kg).

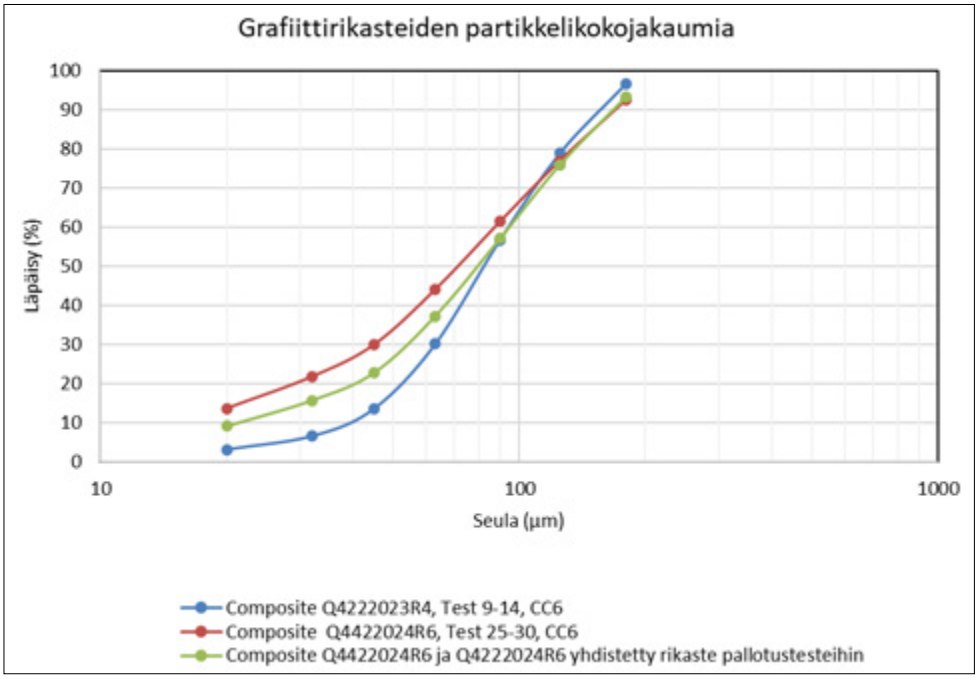
Taulukko 18. Rikasteen tuotanto pallotustestejä varten (ts. yhdistetyt rikasteet).

Näyte	Testi	Tuotteet	
Q4222023R4	Testit 9-14	CC6	CT6
Q422024R6	Testit 25-30	CC6	CT6
Q422024R6	Testit 22-23	CC6	CT6

Rikasteista lähetettiin pienet osanäytteet mineralogisiin tutkimuksiin Oulun yliopistoon (ks. kappale 8):

- Q4222023R4 kertausrikaste CC6 (testit 9–14)
- Q422024R6 kertausrikaste CC6 (testit 25–30)
- yhdistelmänäyte pallotustestejä varten yhdistetyistä rikasteista.

Edellä mainituista rikasteista määritettiin lisäksi partikkelikokojakaumat ja mm. hiili- ja rikkipitoisuudet fraktioittain. Rikasteiden partikkelikokojakaumat olivat hyvin samantyyppisiä (80 %:n läpäisyt vaihtelivat 129 ja 138 µm:n välillä).



Kuva 59. Grafiittirikasteiden partikkelikokojakaumia.

Rikasteiden hiilipitoisuuksia on esitetty fraktioittain taulukossa 19. Tuloksista nähdään, että hiilipitoisuudet ovat korkeampia karkeammissa raeluokissa ja vastaavasti matalampia hienoissa raeluokissa (ts. hienoaines sisältää enemmän epäpuhtauksia).

Taulukko 19. Rikasteiden hiilipitoisuuksia fraktioittain.

Sieve size	Composite Q4222023R4 CC6 Test 9-14				Composite Q4422024R6 CC6 Test 25-30				Composite Q4422024R6 ja Q4222023R4 Yhdistetty rikaste pallotustesteihin			
	Mass		C (Leco)		Mass		C (Eltra)		Mass		C (Eltra)	
µm	g	%	%	Rec. %	g	%	%	Rec. %	g	%	%	Rec. %
180	1.4	3.3	96.6	3.4	3.0	7.4	98.1	7.9	2.6	6.7	97.6	7.9
125	7.3	17.8	96.0	18.2	6.3	15.6	98.5	16.6	6.7	17.4	97.0	16.5
90	9.0	22.1	95.0	22.3	6.3	15.6	96.7	16.3	7.2	18.8	96.0	16.4
63	10.9	26.7	94.1	26.7	7.0	17.4	95.9	18.0	7.6	19.9	94.8	18.0
45	6.8	16.5	93.7	16.5	5.7	14.1	93.3	14.2	5.6	14.5	93.2	14.4
32	5.5	13.5	89.9	12.9	3.3	8.2	91.9	8.1	2.7	7.1	91.0	8.2
20					3.3	8.1	81.9	7.2	2.6	6.6	82.5	7.4
-20					5.5	13.6	79.1	11.6	3.5	9.0	75.5	11.2
Total	40.9	100.0	94.1	100.0	40.4	100.0	92.5	100.0	38.4	100.0	91.4	100.0

7.5 Yhteenveto

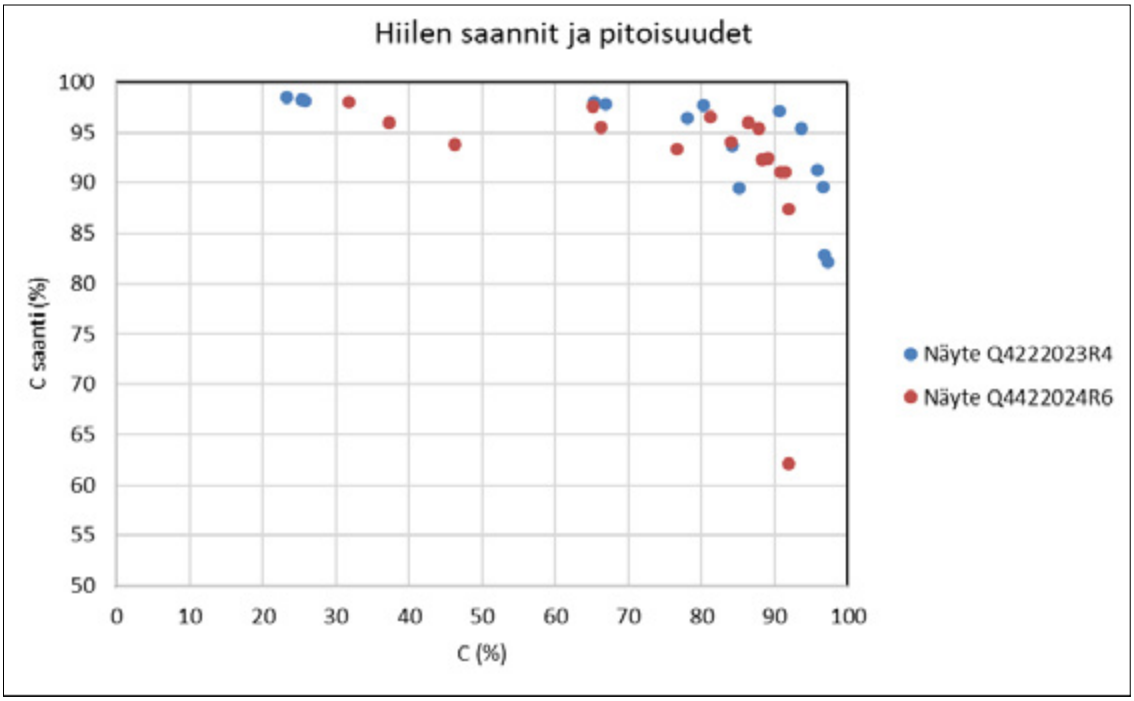
Tässä osassa raporttia kuvattiin Siikalatvan grafiittiprojektin rikastustutkimukset, jotka tehtiin kahdelle eri kairasydännäytteelle (Q4222023R4 ja Q4422024R6). Näiden tutkimusten yhteydessä suoritettujen vaahdotuskokeiden perusteella näyteaineksesta voidaan tuottaa grafiittirikastetta, jonka hiilipitoisuus on noin 90–95 % ja saanti 90 % (Kuva 60).

Komposiittinäytteellä Q4222023R4 saatiin hieman korkeampipitoisia loppurikasteita, vaikka syötteen hiilipitoisuus oli matalampi kuin komposiittinäytteessä Q422024R6. Grafiitin esivaahdotuksen kinetiikka oli hyvin nopea, jolloin grafiitin saanti oli > 94 % jo viiden minuutin vaahdotuksen jälkeen. Tämän jälkeen rikasteisiin alkoi nousta enemmän epäpuhtauksia. Esi- ja kertausrikasteiden lisäjauhaminen paransi selvästi loppurikas-

teiden hiilipitoisuuksia. Lisäjauhamisella voidaan vähentää sekarakeita ja vapauttaa grafiittipartikkelit puhtaiksi. Molemmista komposiittinäytteistä tuotettiin myös grafiittirikastetta jatkotutkimuksia varten. Partikkelikoko- ja hiilianalyysien perusteella todettiin, että hiilipitoisuudet olivat korkeampia karkeammissa raeluokissa. Esimerkiksi + 125 µm:n fraktioissa hiilipitoisuudet olivat yli 96 % ja – 20 µm:n fraktioissa alle 80 %.

Lisäksi tutkimuksissa selvitettiin mahdollisuuksia tuottaa matalarikkipitoinen rikastushiekka lisäämällä grafiitin vaahdotuksen jätteelle magneettierotus ja sulfidivaahdotus. Tällä menettelyllä rikastushiekan rikkipitoisuutta saatiin laskettua noin 0,2–0,3 %:iin alkuperäisestä noin 3–5 %:sta.

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi hyvä optimoida vaahdotusaikoja, kemikaaliannostuksia sekä jauhatusta. Mikäli halutaan saada suurempisuomuisia grafiittipartikkeleita loppurikasteisiin, pitäisi esirikasteen laatua tutkia tarkemmin eli sitä, onko esirikasteessa jo puhtaita suurikokoisia grafiittirakeita ja voidaanko ne erottaa sieltä ennen mahdollista lisäjauhatusta rikkomatta niitä liikaa.



Kuva 60. Hiilen saannit ja pitoisuudet eri komposiittinäytteillä muutamissa valituissa testeissä.

8 RIKASTENÄYTEANALYYSIT

8.1 Tutkimuksen materiaali

Oulun yliopiston Kaivannaisalan yksikön (OMS) tutkimuskeskukseen analysoitava materiaali tuli GTK:n Mintecillä suoritetuista Siikalatvan grafiittimalmin rikastuskokeista, jotka on käyty läpi kappaleessa 7.

Analysoidut näytteet sekä niiden komposiitti olivat kahdesta eri rikastuskokeesta:

- rikaste 1: bulkkinäyte ja kokojakeet 0–75, 75–125 ja 125+ µm
- rikaste 2: bulkkinäyte
- 50/50 % komposiitti rikastenäytteistä 1 ja 2: bulkkinäyte.

Kaikista näytteistä otettiin lisäksi duplikaatit, joten kaikkiaan analysoitiin 12 näytettä.

8.2 Analyysimenetelmät

Käytetty elektronimikroskooppilaitteisto on FE-SEM JEOL JSM-7900F. Näytteistä valmistettiin erikseen viipalepintahieet FE-SEM-analyyseja varten. Viipalepintahieissä näytemateriaali sekoitetaan jähmeämpään massaan, jolloin kaikki mineraalirakeet ovat näytteessä satunnaisessa asennossa. Massasta leikataan viipaleet, jotka asetellaan näytenapin pinnalle niin, että analysoitavaa materiaalia on tasaisesti koko näytenapin alalla. Näin saadaan vältettyä esim. ripottelunäytepintahieissä esiintyvä suomumaisten mineraalirakeiden sivulleen kääntyminen ja samalla suomumaisen materiaalin pitoisuuden ylikorostuminen.

FE-SEM-raakadataa käsiteltiin Oxford Instrumentsin AZtec- ja GrainAlyzer 2 -ohjelmistoilla. GrainAlyzerilla saatiin tehtyä myös mineraalien liberaatioanalyysit (MLA). Liberaation lisäksi sillä saadaan tietoa mineraalirakeiden välisistä assosiaatioista sekä laskennallisia saanti-pitoisuustuloksia (grade-recovery).

8.3 Tulokset

Tehty mineraaliluokitus on melko karkea: vain sulfidi- ja silikaattimineraalit on grafiitin lisäksi luokiteltu omiksi harmemineraaliryhmikseen eikä yksittäisiä mineraaleja ole lähdetty mm. hankkeelle varatun ajankäytön vuoksi erottelemaan. Mineraalien luokitteluun käytettiin AZtec-ohjelmistolla seuraavia alkuainekoostumusten vaihteluvälejä: mineraalirae on luokiteltu

- grafiitiksi, jos sen C-pitoisuus on 75–100 %
- sulfidimineraaliksi, jos S-pitoisuus yli 5 %
- silikaattimineraaliksi, jos Si-pitoisuus yli 5 %
- luokittelemattomaksi, mikäli ei ole luokiteltu mihinkään em. luokista.

Osa grafiitin analyysituloksista ei ole 100-prosenttisesti hiiltä analyysitekniikan tai materiaalin vuoksi (epäpuhtauksia grafiitissa tai mahdollisia seka-analyysejä toisen mineraalirakeen ja näytenapin epoksin kanssa), vaan grafiitiksi on jouduttu luokittelemaan tuloksia, joissa osa aineesta voi olla muutakin kuin hiiltä. Suurin, ja monesti myös ainoa, epäpuhtaus grafiitin alkuaine-analyysituloksissa oli happi (Taulukko 20).

Taulukossa 20 on esitetty GrainAlyzerilla saadut alkuainepitoisuudet rikastenäytteissä. Tuloksista on nähtävissä, että rikaste 2:n happipitoisuus 15,9 % on huomattavan korkea. Harmemineraalien happipitoisuus ei täysin selitä hapen määrää, joten osa siitä voi olla näytepohjan epoksista peräisin. Näytteet on pinnoitettu platinalla, mikä selittää sen löytymisen näytteistä. Sen osuus kasvaa partikkelikoon mukana. Alkuaineiden totaalimäärästä (yht.) ohjelma on jättänyt pois havainnointirajan alle jääneet alkuaineet (eli tuloksia ei ole normalisoitu 100 %:iin).

Taulukko 20. GrainAlyzerilla analysoidut alkuainepitoisuudet.

	Rik 1	0-75	75-125	125+	Rik 2	Rik 1+2
C	93,6	90,4	88,2	95,8	75,3	85,7
O	4,3	7,2	7,2	2,3	15,9	10,9
Si	0,5	0,7	1,3	0,2	3,5	1,3
S	0	0	0,1	0	0,2	0,1
Fe	0,2	0,4	0,9	0,1	1,2	0,5
Mg	0,1	0,2	0,6	0,1	0,5	0,2
K	0	0,1	0,2	0	0,3	0,1
Al	0	0,3	0,6	0,1	1,3	0,5
Ca	0	0	0	0	0,2	0,1
Na	0	0	0	0	0,3	0,1
Ti	0	0	0	0	0,1	0
Pt	0,9	0,4	0,8	1,2	0,2	0,1
Yht.	99,6	99,7	99,9	99,8	99	99,6

Todennäköisin syy mahdolliseen seka-analyysitulokseen on mineraalirakeiden pieni koko (ECD D50 eli rakeen laskennallinen mediaanihalkaisija, kun sen pinta-ala on muutettu ympyräksi, Taulukko 21), jolloin analysoitava ala voi olla suurempi kuin kohteena oleva rae. Suomumaisella grafiitilla suomun sivun paksuus voi olla alle 1 µm. Koska tämä koskee vain pienimpiä analysoituja partikkeleita bulkkinäytteissä (joissa karkeampaa materiaalia on enemmän), jää suhteellinen virhekin silloin pieneksi.

Taulukosta 21 voidaan nähdä, että rikaste 2-näytteessä grafiitti on huomattavasti hienojakoisempaa kuin harmeet keskimäärin (silikaatit, sulfidit ja luokittelematon materiaali näytteessä yhteensä). Sen lisäksi, että näytteessä oli ylipäätään vähemmän materiaalia (Kuvat 67 ja 68), näytteessä oleva grafiitti on hienompaa kuin muissa rikastenäytteissä. Tämä vaikuttaa myös pinta-alan mukaan laskettavaan grafiittipitoisuuteen, mikä jääkin rikaste 2:ssa selvästi muita näytteitä alhaisemmaksi, 68,7 %. Taulukoiden 21 ja 22 tulokset on laskettu suoraan AZtecin antamasta raakadatasta.

Taulukko 21. Partikkelikoko ECD-halkaisijan mukaan mikrometreinä [µm]. ECD on kaikkien partikkelien mediaaniarvo D50 % eli koon mukaan järjestettynä keskimmäisen mineraalirakeen halkaisija, ja keskiarvo on partikkelien keskimääräinen ECD-halkaisija.

Partikkelikoko ECD-halkaisijan mukaan [µm]						
	Rikaste 1 Bulkki		Rikaste 2 Bulkki		Rikaste 1+2 Bulkki	
	D50	Keskiarvo	D50	Keskiarvo	D50	Keskiarvo
Harmeet	11,48	13,98	12,44	13,60	11,32	12,68
Grafiitti	11,26	14,07	9,35	11,52	9,63	11,98

Taulukko 22. Partikkelikoko pinta-alan mukaan neliömikrometreinä [µm2]. D50 on pinta-alojen mediaani, ja keskiarvo on partikkelien keskimääräinen pinta-ala.

Partikkelikoko pinta-alan mukaan [µm2]						
	Rikaste 1 Bulkki		**Rikaste 2 Bulkki**		**Rikaste 1+2 Bulkki**	
	D50	Keskiarvo	D50	Keskiarvo	D50	Keskiarvo
Harmeet	102,27	156,87	121,62	175,57	100,71	151,32
Grafiitti	99,50	221,57	68,75	148,59	72,90	159,67

Taulukosta 23 nähdään, että silikaatit ovat hienommissa kokojakeissa. Jakeessa 0–75 µm:n silikaatteja on 5,1 % ja jakeessa 75–125 µm:n 9,3 %. Suurimmassa kokojakeessa +125 µm:n silikaatteja on vain 1,2 %. Sulfideja rikastenäytteessä 1 oli vain 1/10-osa rikasteen 2 sulfidimäärästä. Myös silikaatteja rikasteessa 2 oli huomattavasti enemmän, 24,3 %.

Luokittelemattomiin mineraalirakeisiin jäi myös grafiitiksi luokiteltavia rakeita, joiden mitattu C-pitoisuus jäi alle 75 %:n, sekä silikaatti- tai sulfidirakeita, joiden mitattu Si- tai S-pitoisuus jäi alle 5 %:n.

Taulukko 23. Rikastenäytteiden mineraalikoostumukset AZtecilla luokiteltuna pinta-alan mukaan laskettuna.

[%]	**Rikaste 1**	**0-75**	**75-125**	**125+**	**Rikaste 2**	**Rikaste 1+2**
Grafiitti	95,13	91,71	82,02	97,53	68,71	89,04
Silikaatit	2,54	5,12	9,30	1,22	24,33	7,72
Sulfidit	0,11	0,22	0,82	0,15	1,10	0,54
Luokittelematon	2,22	2,96	7,86	1,10	5,86	2,70

GrainAlyzer 2 -ohjelmisto (GA2) sen sijaan tekee luokittelupäätökset ”itsenäisesti”, eli sille ei ole annettu etukäteen luokitteluparametreja, vaan ohjelmisto käyttää luokitteluun omaa mineraalikirjastoaan (käsittäen myös mineraalien ominaistiheydet, joita on käytetty massa-%-pitoisuuksien laskentaan näytteiden mineralogiaa määritettäessä).

Ohjelmiston käyttäjä kuitenkin tekee päätöksen siitä, onko GrainAlyzerin tarjoama luokitus oikea. Grafiitiksi hyväksyttiin n. 50 % sovelluksen grafiitiksi tunnistamista mineraalirakeista, joiden C-pitoisuus ylitti 50 %. Luokittelemattoman ja alimittaisen materiaalin tiheydeksi asetettiin 2,50, koska molemmissa näissä luokittelemattomissa jakeissa on sekaisin sekä grafiittia (tiheys 2,16) että harmemineraaleja (tiheys 2,31–5,01).

Taulukko 24. Rikastenäytteiden mineraalikoostumukset Grainalyzer 2:lla luokiteltuna pinta-alan ja massan mukaan laskettuna. Vertailun vuoksi mukana myös AZtec:n pinta-alan mukaan lasketut tulokset.

Grafiittipitoisuus %			
	GA2 [pinta-ala]	**GA2 [massa]**	**Aztec [pinta-ala]**
Rikaste 1 Bulk	97,12	96,68	95,13
Rikaste 2 Bulk	62,68	58,51	68,71
Rikaste 1+2 Bulk	74,54	71,42	88,93
Rikaste 1 0-75	85,82	83,83	91,71
Rikaste 1 75-125	90,51	89,18	82,02
Rikaste 1 125+	98,50	98,26	97,53

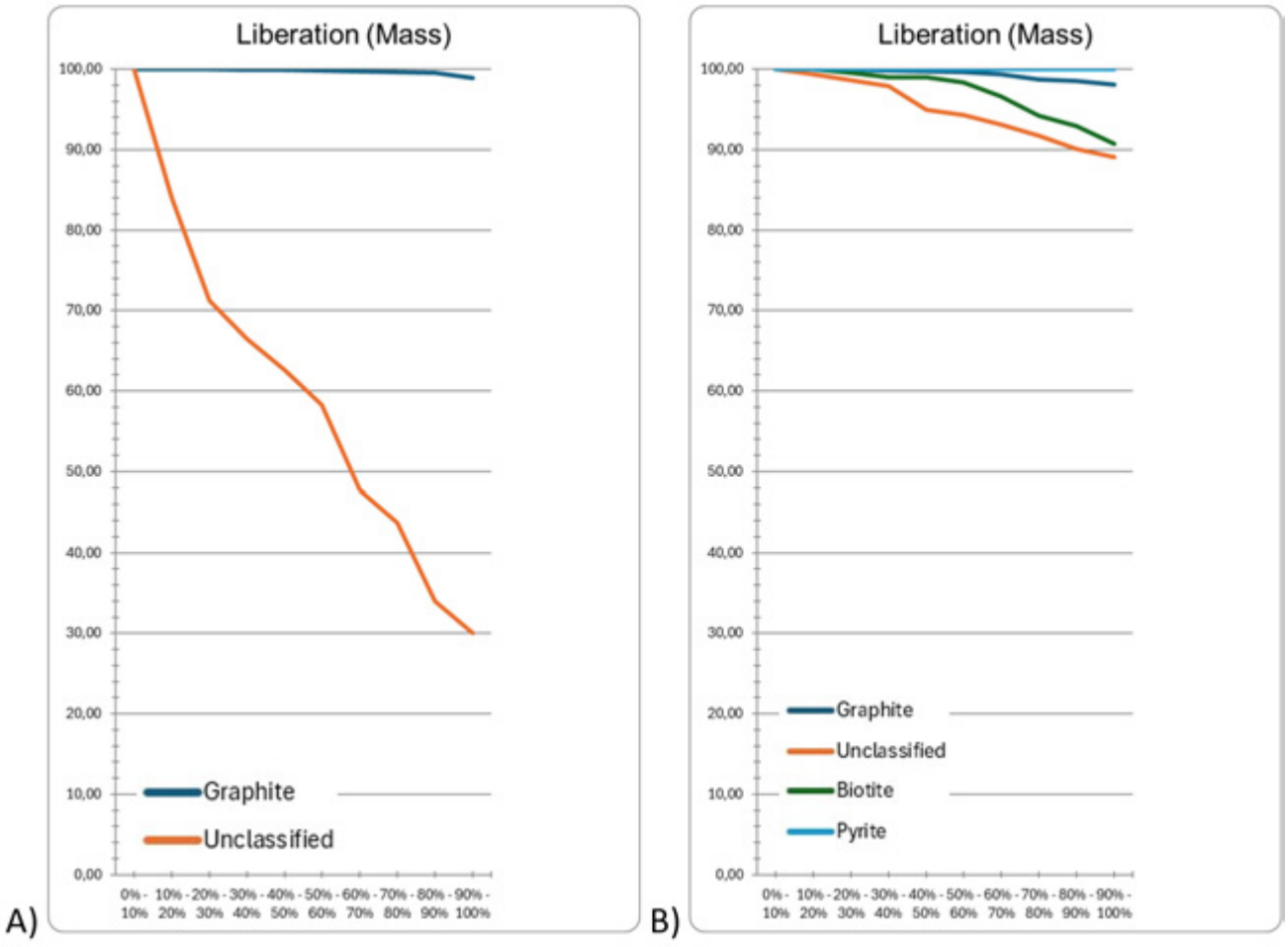
Joistakin näytteistä GrainAlyzer tunnisti satunnaisesti yksittäisiä harmemineraaleja, mutta yleensä alkuainekoostumuksen perusteella ei-grafiittiset mineraalirakeet jätettiin kuitenkin luokittelematta, koska koostumus ei suoraan viitannut mihinkään tiettyyn malmikivessä olevaan mineraaliin.

GrainAlyzer 2 on myös herkempi alimittaiselle materiaalille kuin AZtec. GrainAlyzer lisäksi antaa tuloksen alimittaisen tunnistamattoman materiaalin määrästä. Tunnistamatonta hienoainesta oli rikasteessa 2 17,38 % ja komposiittinäytteessä 18,82 %. Myös rikasteen 1 kokojakeissa 0–75 µm:n hienoaineksen määrä oli suuri, 9,85 %. Muissa rikasteen 1 kokojakeissa ja bulkkinäytteessä alimittaista materiaalia oli alle 1 %. Huomionarvoista on, että näytteissä, joissa hienoainesta oli paljon, myös grafiittipitoisuus jäi alhaisemmaksi, kuten taulukosta 24 voidaan nähdä.

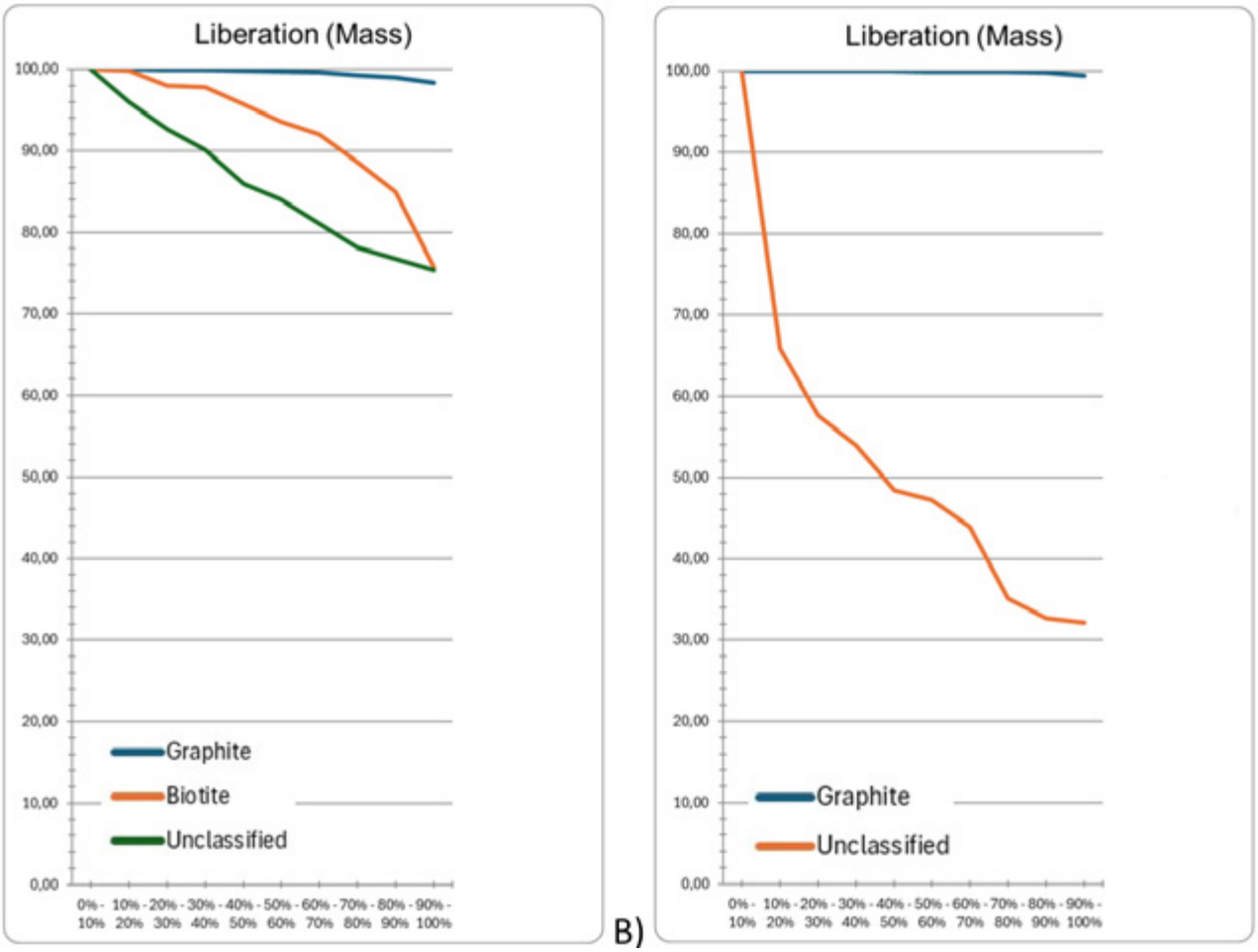
8.3.1 Mineraalien liberaatioanalyysit (MLA)

Liberaatioanalyysit tehtiin GrainAlyzer 2 -ohjelmistolla FE-SEM-raakadatan perusteella. Kuten edellä on mainittu, GrainAlyzer tunnisti oikein joistain näytteistä satunnaisia harmemineraaleja. Niiden liberaatioasteet ovat esitettynä kuvissa 61 ja 62.

Suurimman kokojakeen +125 µm liberaatio on grafiitilla lähes 100 % (Kuva 62B). Pienemmissä kokojakeissa grafiitin liberaatio putoaa hieman, koska suurin osa harmemineraaleista on hienommissa jakeissa (0–75 ja 75–125 µm). Silti myös niissä grafiitin liberaatioaste on korkea.



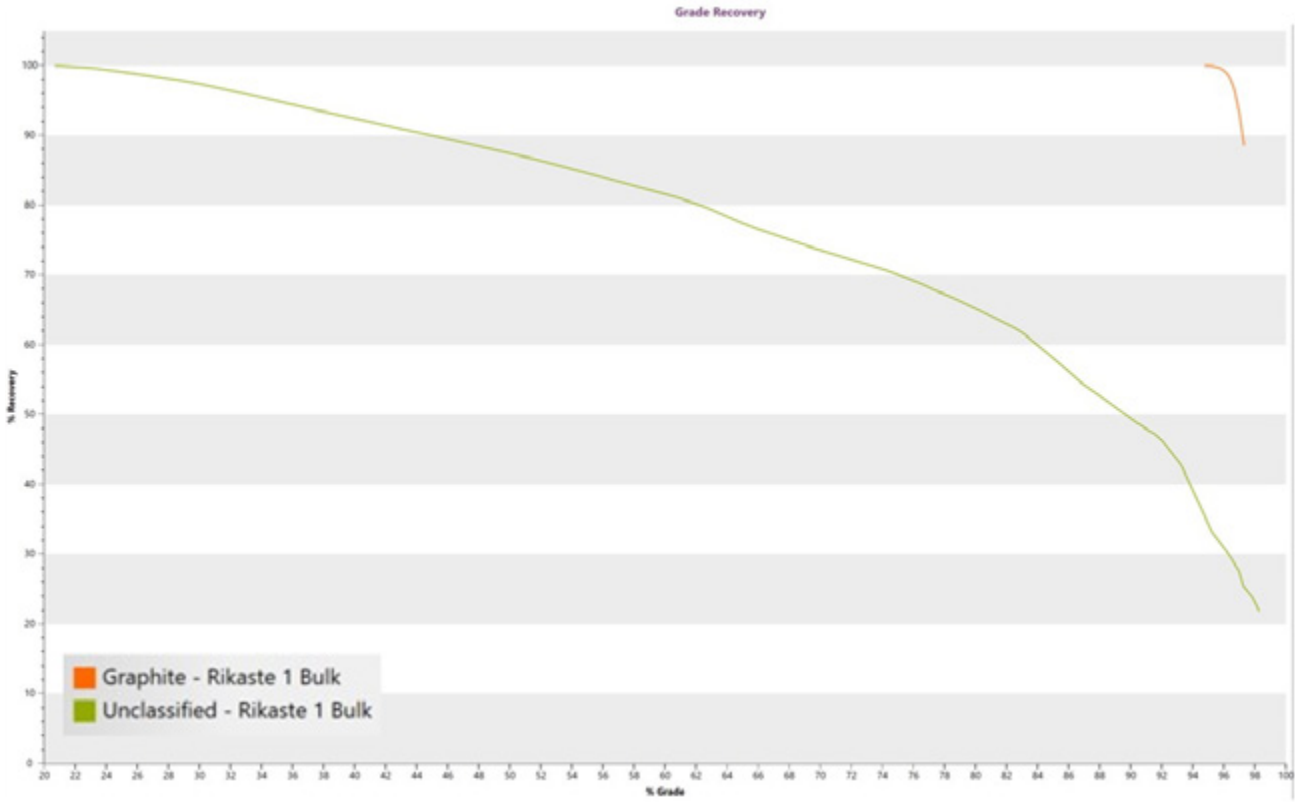
Kuva 61. Kuvissa A) rikasteen 1 ja B) rikasteen 2 liberaatioastekuvaajat.



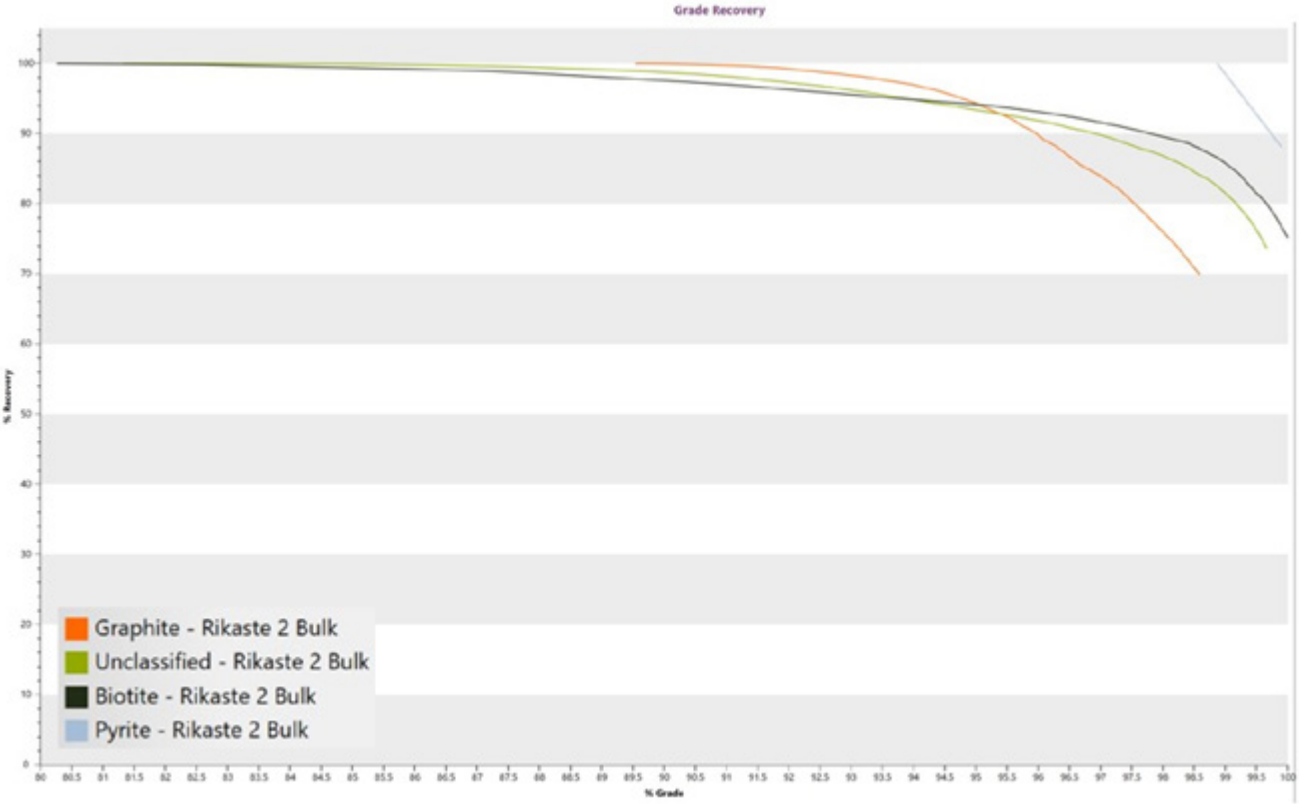
Kuva 62. Kuvissa A) komposiittinäytteen 1+2 ja B) rikasteen 1 kokojakeen +125 µm:n liberaatioastekuvaajat.

Seuraavissa kuvissa 63, 64 ja 65 on esitelty GrainAlyzerilla saadut rikastenäytteiden saanti-pitoisuuskuvaajat (grade-recovery) (Goodall 2009). Kuvaajista voidaan nähdä, kuinka paljon grafiitista (oranssi käyrä) voidaan saada talteen tällä jauhatusasteella. Optimaalinen saantipitoisuussuhde on mahdollisimman lähellä graafin oikeaa yläkulmaa (100/100 %), jolloin rikasteeseen päätyy mahdollisimman paljon grafiittia mahdollisimman puhtaana.

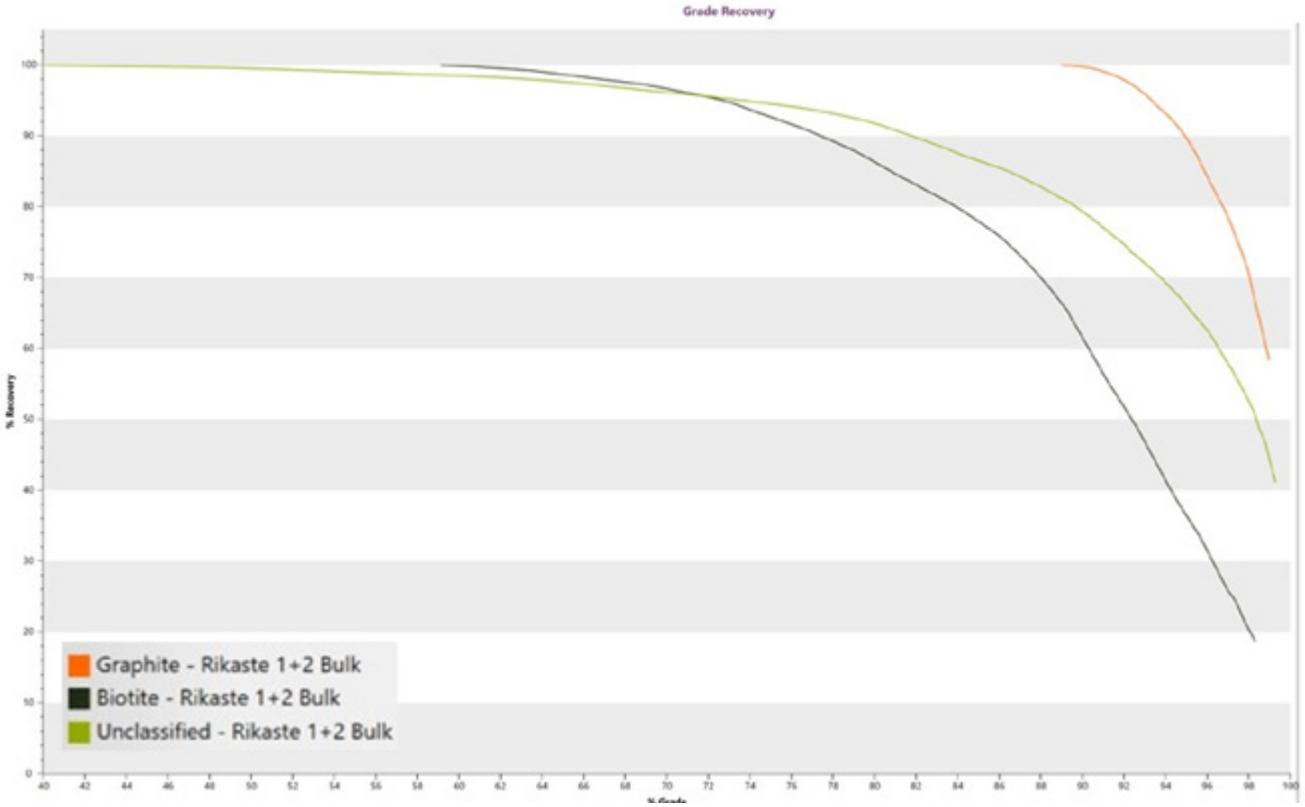
Kuvissa Saanti (ts. Recovery) on pystyasteikolla ja Pitoisuus (ts. Grade) vaaka-asteikolla. Kuvan 63 graafista nähdään, että rikasteen 1 saanti ja pitoisuus ovat hyvin lähellä optimaalista tulosta – varsinkin verrattuna luokittelemattomaan materiaaliin, jossa on selvästi enemmän sekarakeita eli harmemineraalit eivät ole yhtä vapaana kuin grafiitti. Sama voidaan todeta myös kuvasta 66, jossa on esitettynä rikasteen 1 mineraalien välisiä assosiaatioita. Kuvaajan vihreä pylväs esittää vapaana esiintyvää mineraalia (Solo) ja punainen sekarakeiden esiintyvyyttä (Binary). Jos GrainAlyzerilla olisi määritetty useampia mineraalifaaseja, olisi useamman kuin kahden mineraalin väliset assosiaatiot/sekarakeet esitetty sinisellä pylväällä (Ternary+).



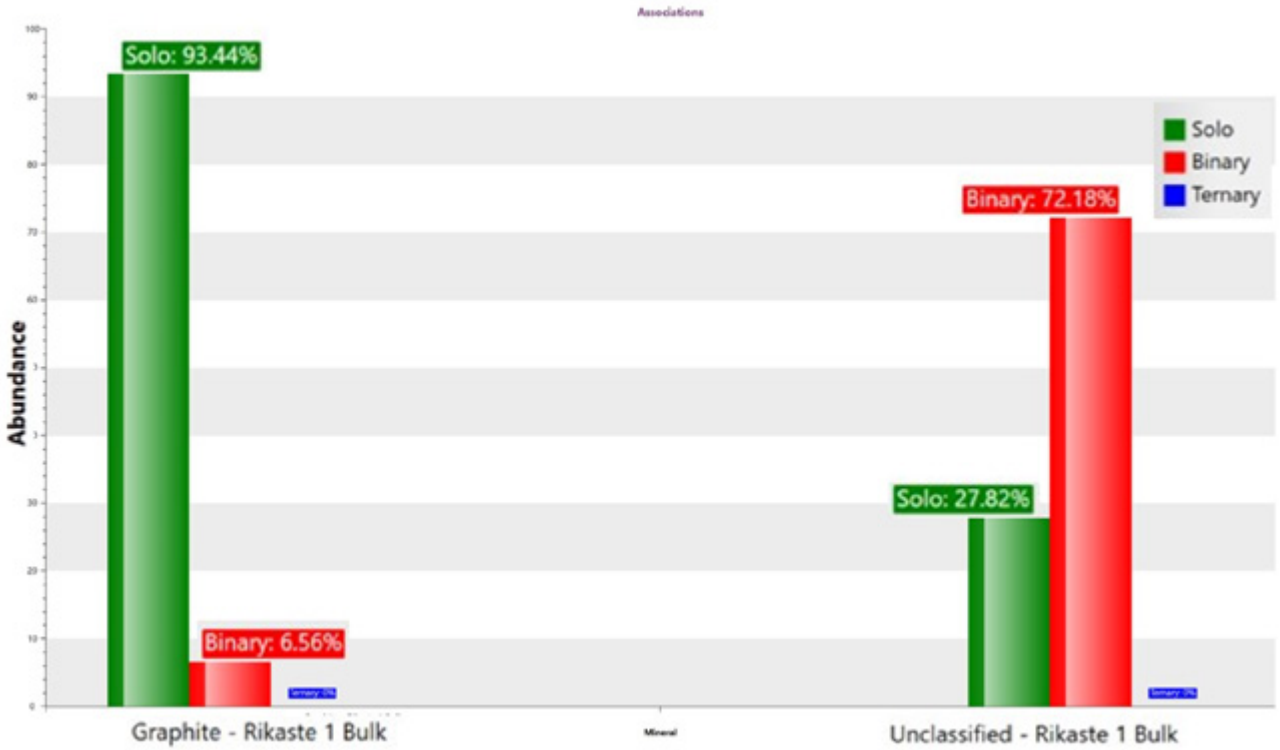
Kuva 63. Rikasteen 1 saanti-pitoisuuskuvaaja (X-akseli: Pitoisuus % (Grade) ja Y-akseli: Saanti % (Recovery).



Kuva 64. Rikasteen 2 saanti-pitoisuuskuvaaja (X-akseli: Pitoisuus % (Grade) ja Y-akseli: Saanti % (Recovery)).



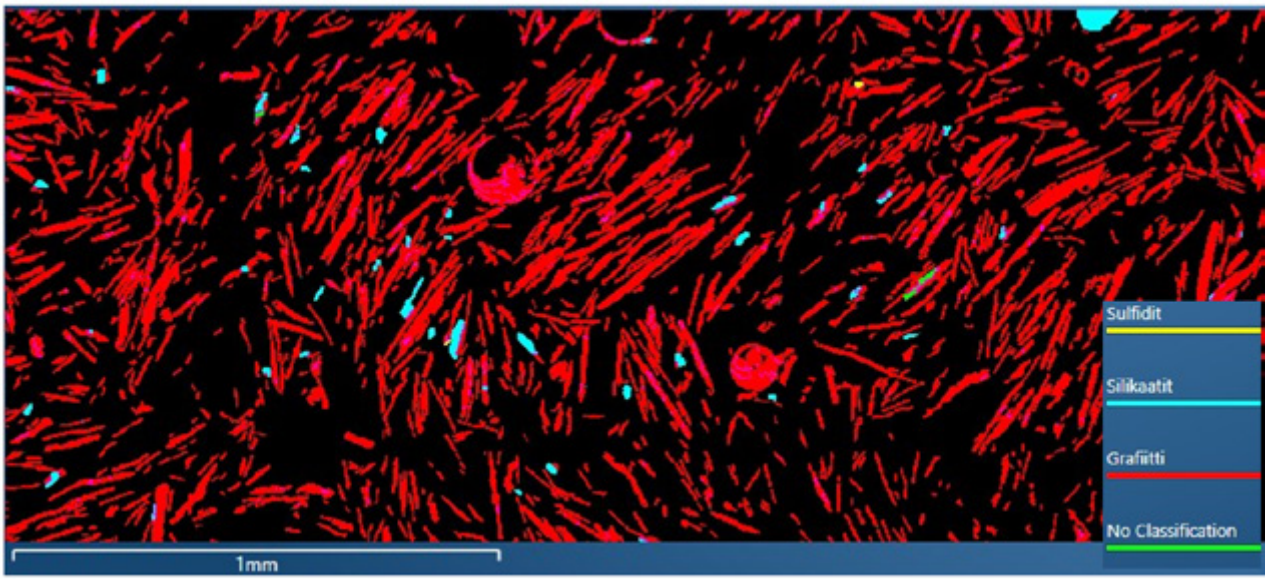
Kuva 65. Komposiittinäytteen (rikasteet 1 ja 2) saanti-pitoisuuskuvaaja (X-akseli: Pitoisuus % (Grade) ja Y-akseli: Saanti % (Recovery)).



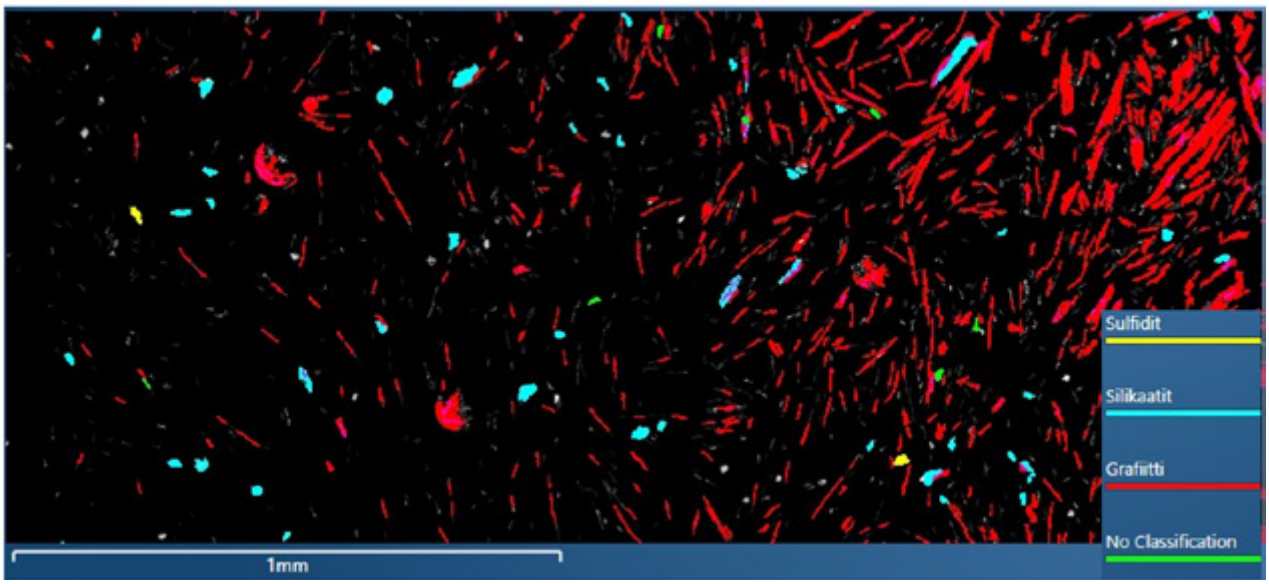
Kuva 66. Rikasteen 1 mineraalifaasien assosiaatiot (X-akseli: Mineraali) ja Y-akseli määrä % (Abundance)).

Kuvissa 67, 68, 69 ja 70 on esitetty grafiitin ja harmemineraalien esiintyminen bulkkinäytteissä. Rikasteen 2 matalat tulokset johtuvat siitä, että analysoituun alueeseen ei osunut suomuista grafiittia tasaisesti vaan analyyseihin osui paljon tyhjää aluetta ja hienoainesta, josta suuri osa oli harmemineraaleja (Kuvat 68 ja 69).

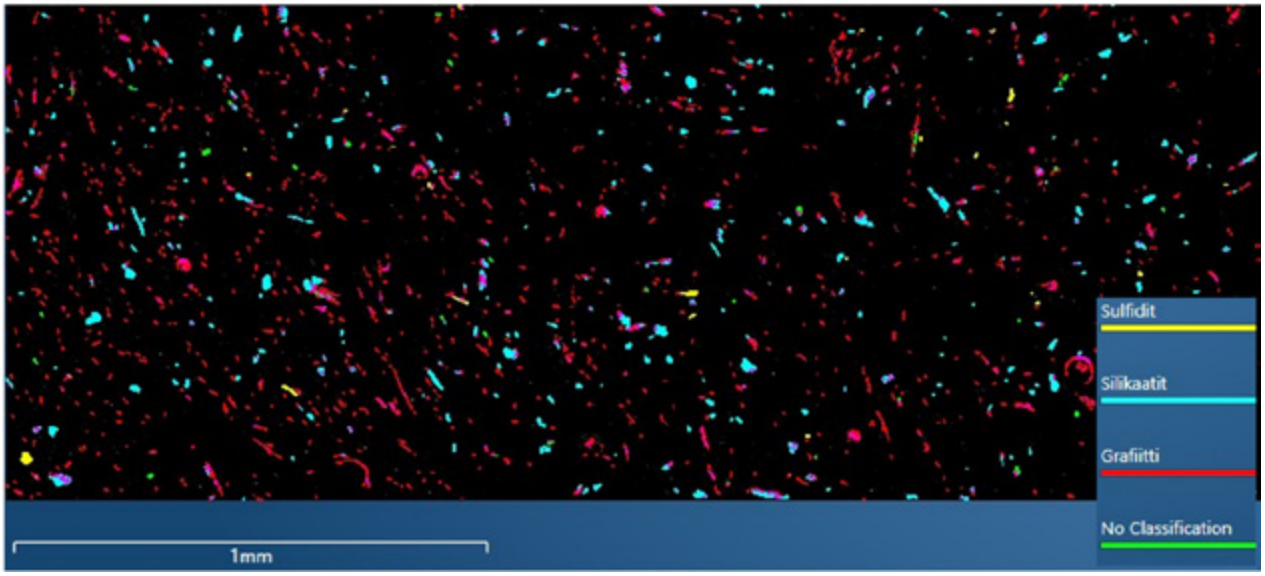
Verrattuna rikasteeseen 1 (Kuva 67) ja komposiittinäytteeseen (Kuva 70) isokokoista suomumaista grafiittia on rikasteessa 2 näkyvissä selvästi vähemmän, kuten myös duplikaattinäytteessä (Kuva 68). Joko molemmat analyysit tehtiin sattumalta huonosta kohdasta näytettä tai lajittumista on mahdollisesti päässyt tapahtumaan molempien näytteiden valmistuksen jossain vaiheessa (eli preparaatti ei ole keskimääräinen grafiittipitoisuuden suhteen).



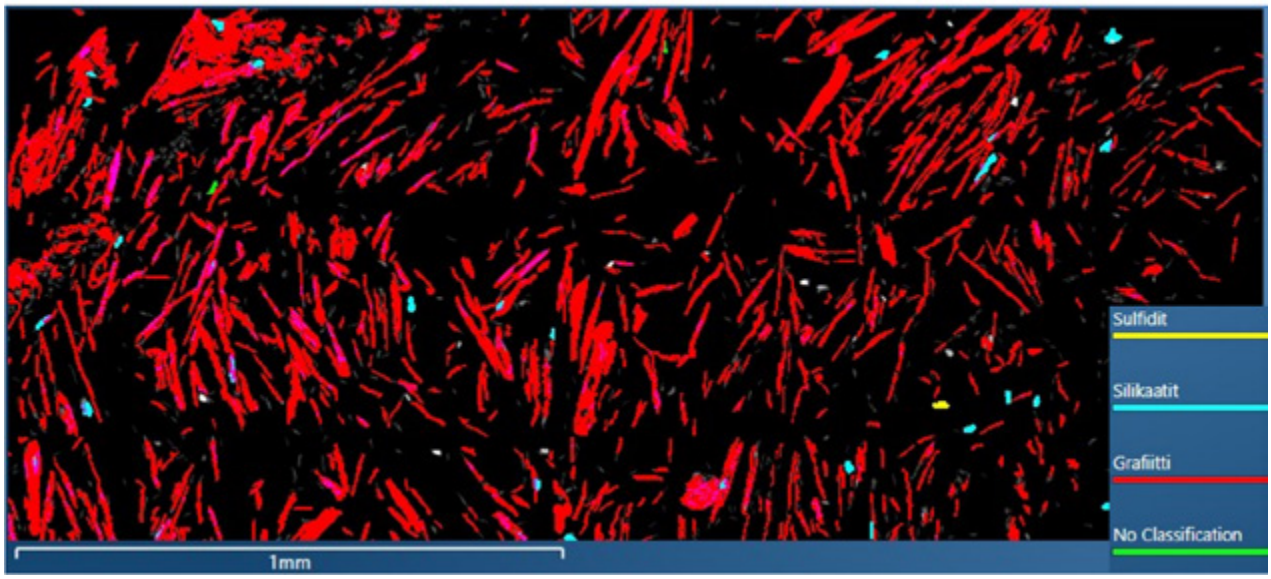
Kuva 67. AZtecilla saatu väärävärikuva rikasteen 1 bulkkinäytteestä 1.



Kuva 68. AZtecilla saatu väärävärikuva rikasteen 2 bulkkinäytteestä 1.



Kuva 69. AZtecilla saatu väärävärikuva rikasteen 2 bulkkinäytteestä 2 (duplikaatti).



Kuva 70. AZtecilla saatu väärävärikuva rikasteiden 1+2 komposiitin bulkkinäytteestä 1.

8.4 Yhteenveto ja pohdintaa

Näissä rikasteanalyyseissä saadut tulokset vastaavat muuten hyvin muita tuloksia, joita on saatu esim. GTK:n analyyseistä aiemmin, mutta jostain syystä rikasteen 2 tulokset poikkesivat linjasta huomattavasti. Siihen voi olla syynä se, että lähetetty näyte ei ollut edustava tai näytteessä on päässyt tapahtumaan lajittumista (hienoaines on ollut yliedustettuna) ennen näytteenvalmistusta tai sen aikana ja/tai FE-SEM-analyysiin sattui huonosti asetettu analyysialue (analysoitavalla alueella oli hyvin vähän materiaalia ja se oli hienojakoista, jolloin harmemineraalit ylikorostuivat). Tilanne oli sama rikasteen 2 duplikaattinäytteellä, jonka tulokset myös eroavat molemmissa näytesarjoissa, primäärisissä ja duplikaateissa, joten virhe oli systemaattinen.

Rikasteen 1 FE-SEM-tulokset (grafiittia rikasteessa 95,1 %) ovat kuitenkin hyvin linjassa muiden analyysimenetelmien tulosten kanssa (esim. Leco-analyysillä saatu Ctot 93,3 %). Pitää ottaa huomioon, että luonnongrafiitissa voi olla joitain epäpuhtauksia, jolloin grafiitin määrä on suurempi kuin puhtaan hiilen. Myös komposiittirikasteen 1+2 FE-SEM-tulokset (grafiittipitoisuus 89,0 %) vastaavat aika hyvin muita analyysituloksia, vaikka hieman alhaisempi partikkelikoko näkyy myös grafiittipitoisuustuloksissa pienempänä pitoisuutena. Tämä oli erityisesti GrainAlyzer-ohjelmiston heikkous hienoainesta luokittaessa, sillä suuri osa hienoaineksesta jäi luokittumatta, mikä vaikutti luokitellun grafiitin pitoisuuksiin alentavasti. Materiaalin pieni partikkelikoko vaikeutti jossain määrin myös AZtec-luokitusta, koska pienten mineraalirakeiden mittaustuloksissa oli paljon seka-analyysejä viereisen mineraalirakeen tai näytenapin epoksin kanssa. Varsinkin hapen suuri määrä vaikeutti mineraalimäärityksiä, koska se lasketaan epäpuhtaudeksi mineraalissa, jonka C-pitoisuus pitäisi olla 100 %.

Mineraalien liberaatioanalyysien (MLA) tulokset kertovat, että grafiitin vapausaste on korkea kaikissa näytteissä valitulla jauhatusasteella ja rikastuskokeet ovat onnistuneet hyvin paitsi erikseen analysoitujen Ctot -pitoisuuksien, myös määritettyjen grafiittipitoisuuksien mukaan (tuloksissa mainitut rajoitteet huomioiden). Grafiitin puhtausaste saadaan kasvamaan edelleen, kun poistetaan esim. alle 20 µm:n kokoinen materiaali (lieju/slime) ennen vaahdotusta. Toimenpide (desliming) parantaa vaahdotukseen menevän syötteen laatua sekä vähentää vaahdotettavan materiaalin määrää. Se taas auttaisi jatkossa tässä työssä käytettyjen analyysityökalujen tuloksien analysoinnissa ja käsittelyssä. Lisäksi esim. akkumateriaalien jatkoprosessoinnissa raaka-aineena käytettäväksi grafiitti soveltuu paremmin ilman ultrahienoa ainesta.

9 SIIKALATVAN KAIRASYDÄNTEN JA RIKASTENÄYTTEIDEN SEKÄ TEOLLISTEN SIVUVIRTOJEN MINERALOGISET TUTKIMUKSET

9.1 Johdanto

Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena-hanke teki mineralogisia tutkimuksia teollisten sivuvirtojen grafiittia sisältäville näytteille. Lisäksi tutkittiin Siikalatvan grafiittia sisältäviä kairasydännäytteitä ja rikasteita grafiitin kannalta. Menetelmiä olivat seuraavat: 1) optinen mikroskooppi, 2) SEM-EDS (pyyhkäisyelektronimikroskooppi + röntgenspektroskooppi) ja 3) XRD (röntgendiffraktio). Grafiittia tutkittiin myös RAMAN-spektroskopialla (Ramansironnan mittaaminen). Tutkimukset suoritettiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) mineralogisissa laboratoriossa Espoossa ja Outokummussa. Mineralogian lisäksi näytteille tehtiin kokokivianalyysit (XRF) ja hivenalkuainepitoisuuksien (ICP-MS) sekä hiili- ja rikkipitoisuuksien määritykset (LECO-menetelmä) ALS-laboratoriossa. Tässä raportissa esitetään keskeiset tulokset mineraalisisällöstä ja grafiitin kiteisyydestä. Varsinainen työraportti on saatavilla Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Hakku-palvelusta (Leinonen ym. 2026).

9.2 Näytteet

Teollisuuden sivuvirtojen karakterisointiin saatiin tutkimusnäytteiksi terästeollisuuden käyttämiä tulenkestäviä MgO-C-tiiliä, bioliuotettua sulfidimalmia (mustaliuske), masuunipölyä ja masuunilietettä sekä rikinpoistokuonaa. Vertailunäytteiksi otettiin Siikalatvalta tutkimuskairauksen prosessoituja grafiittinäytteitä (ts. näytteet sekä rikastuksen syötteistä että rikasteista; katso kappale 7). Tulenkestävät tiilet saatiin Bet-Ker Oy:ltä, masuunijätteet sekä rikinpoistokuona olivat SSAB:n Raahen terästehtaalta, kun taas kahteen kertaan bioliuotettu malminäyte saatiin Terrafamelta Sotkamosta (Taulukko 25).

Taulukko 25. Tutkitut grafiittia sisältävät sivuvirta- ja kairasydännäytteet sekä niiden grafiittipitoisuudet (määritys tehty ALS:lla, LECO-menetelmä).

Näyte	Alkuperä	Näytetyyppi	Grafiittista hiiltä
Q4222023R4_Feed	Siikalatva	Murskattu kairasydän (syöte)	-
Q4422024R6_Feed	Siikalatva	Murskattu kairasydän (syöte)	-
Q4222023R4	Siikalatva	Rikaste	95 % (saanti 69 %)
Q4422024R6	Siikalatva	Rikaste	89 % (saanti 40 %)
STL2-2025-1.1	Bet-Ker Oy (SSAB)	MgO-C tulenkestävä tiili	13.50 %
STL2-2025-1.2	Bet-Ker Oy (SSAB)	MgO-C tulenkestävä tiili	12.50 %
STL2-2025-2.1	Terrafame (Talvivaara)	Mustaliuske (bioliuotettu malmi)	5.73 %
STL2-2025-3.1	SSAB (Raahe)	Masuunipöly	40 %
STL2-2025-3.2	SSAB (Raahe)	Masuuniliete	18.30 %
STL2-2025-3.3	SSAB (Raahe)	Rikinpoistokuona	0.20 %

9.3 Menetelmät

Näytteistä analysoitiin niiden kemiallinen koostumus sekä tutkittiin ne mineralogisesti. Grafiitin esiintymistapaa tarkasteltiin sekä optisesti että elektronimikroskoopilla (SEM-EDS). Mineraalien identifiointi ja kiderakenteen määritys tehtiin röntgendiffraktorilla (XRD) ja RAMAN-spektroskopialla selvitettiin myös kiderakenteen järjestäytyneisyyttä. Mineraloginen tutkimus tehtiin GTK:n Espoon tutkimuslaboratoriossa lukuun ottamatta RAMAN-spektroskopiaa, joka tehtiin GTK:n Outokummun laboratoriossa. Kemialliset koostumusmääritykset sisälsivät pää- ja hienalkuaineiden analysoinnin, hiilen ja rikin sekä haihtuvien komponenttien mittaukset (ALS-laboratorio).

9.3.1 Kemian analyysit

Kokokivikemian analysointi tehtiin XRF-menetelmällä (ALS koodi ME-ICP06), kun taas hivenainepitoisuudet analysoitiin ICP-MS-menetelmällä (ME-MS8). Korkeassa lämpötilassa hapettuvista komponenteista grafiittisen ja karbonaattihiilen pitoisuus määritettiin LECO-analysaattorilla (C-IR18 ja C-GAS05), samoin kuin kokonaisrikin pitoisuus (S-IR08). Hehkutushäviö (LOI) määritettiin kuumentamalla näytteitä ilma-atmosfäärissä 1000°C:een (OA-GRA05). Hehkutushäviöön sisältyy mineraalien kidevesi ja muut näytteiden haihtuvat komponentit (esimerkiksi hiilen hapettuminen). Taulukossa 26 on esitetty kokokivikemian analyysin mukaan korkeimman pitoisuuden alkuaineet, hehkutushäviö (LOI) sekä myös grafiittisen hiilen, karbonaattihiilen ja rikin pitoisuudet. Kemian analyysitulokset ovat Leinonen ym. 2026 työraportin liitteessä D. Rikastuksen syötenäytteissä oli rautaa 5–8 % ja rikkiä 3–5 %, kun taas rikasteen rikkipitoisuus oli vain noin 0,2 % ja rautapitoisuus noin 1,5 %.

Taulukko 26. Sivuvirtanäytteiden alkuainepitoisuuksia XRF- ja LECO-mittauksissa.

Näyte-nro.	Näyte	C Grafiitti %	S %	C Karbon. %	LOI %	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Cr2O3 %	TiO2 %
-1.1	MgO-C tiili 1	13.45	0.02	0.05	15.95	1.16	0.66	0.66	1.24	70.90	<0.002	0.01
-1.2	MgO-C tiili 1	12.50	0.03	0.05	15.85	1.81	1.84	0.69	1.13	77.30	0.00	0.01
-2.1	Bioliuotettu malmi	5.84	6.33	<0.05	26.85	33.80	5.28	13.55	2.45	1.50	0.01	0.41
-3.1	Masuunipöly	39.90	0.45	1.28	48.30	0.82	0.23	4.30	1.20	0.11	0.00	0.03
-3.2	Masuunilisete	18.30	0.36	0.95	25.40	0.61	0.19	6.03	0.65	0.12	0.00	0.02
-3.3	Rikinpoistokuona	0.19	1.54	2.39	7.57	16.80	2.32	22.65	39.60	1.17	0.08	1.06

9.3.2 Mineralogiset tutkimukset

Mineralogiset tutkimukset grafiitin ja muiden mineraalien tunnistamiseksi tehtiin optisesti, elektronimikroskoopilla (SEM-EDS), röntgendiffraktometrilla (XRD) ja RAMAN-laitteella. Elektronimikroskooppinen kuvannus (SEM) tehtiin JEOL 5900 -LV-laitteella GTK:n mineraalilaboratoriossa Espoossa. Laitteessa oli myös EDS-detektori. Grafiitin morfologiaa ja mineraalisten epäpuhtauksien jakautumista tarkasteltiin takaisin sironneista elektroneista (ts. BSE-kuvantaminen). Kvalitatiiviset alkuaineanalyysit tehtiin EDS-menetelmällä. Näytteiden yksityiskohtaiset SEM-EDS-tulokset on esitetty Leinonen ym. 2026 työraportin liitteessä A.

Röntgendiffraktiota (XRD) käytettiin mineraalifaasien tunnistamiseen ja kiderakenteiden määrittämiseen. Mittaukset tehtiin GTK:n Espoon mineralogisessa laboratoriossa Bruker D8 Discover (A25) -diffraktometrillä (Cu-Kα-säteilylähde, keskimääräinen aallonpituus 1,5418 Å). Tunnistimena oli LYNXEYE XE-T 1D -piiteknologiaan perustuva detektori (silicon strip detector).

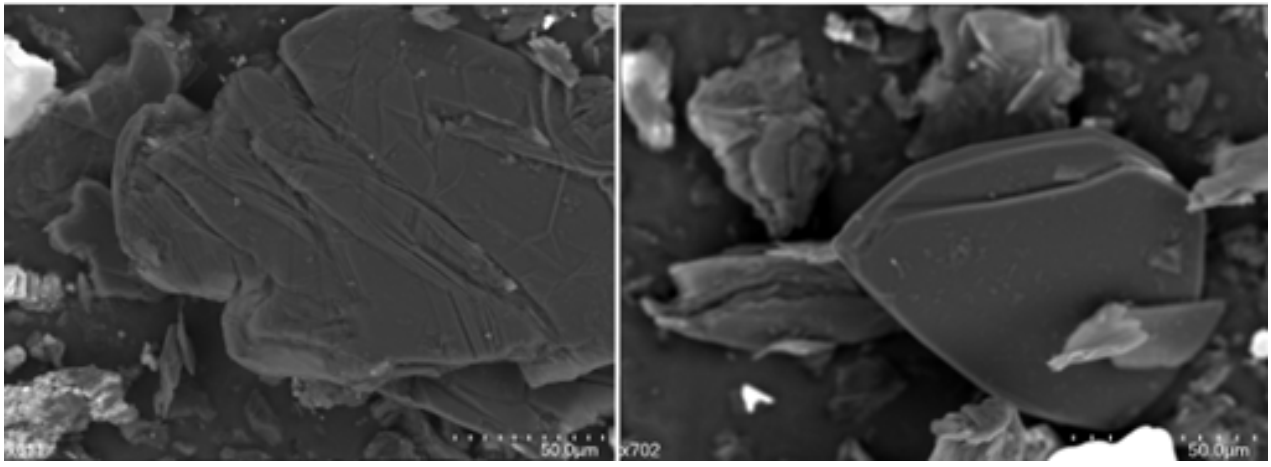
Mittausdataa kerättiin 2θ-alueella 4–110°, 0,015° 2θ jaksolla ja skannausnopeudella 0,06° 2θ/s, yhteensä 0,5 tuntia skannausta kohden. Goniometrin säde oli 280 mm, ja mittaukset tehtiin jännitteen ja sähkövirran asetuksilla 40 kV/40 mA. Faasien tunnistus suoritettiin Bruker EVA 6.0 -ohjelmistolla, tietokantana ICDD PDF-4 Minerals 2024. Mineraalikirjasto sisältää vain luonnossa esiintyviä epäorgaanisia faaseja. Tiedonkäsittelyyn sisältyi taustan sovitus, siirtymän korjaus ja raon simulointi. Grafiitin hilaparametrien Rietveld-tarkennus suoritettiin Malvern Panalytical High Score Plus v4.9-ohjelmistolla. Kaikkien analysoitujen näytteiden yksityiskohtaisemmat XRD-tulokset löytyvät tutkimuksiin perustuvasta raportista, joka on Leinonen ym. (2026) Työraportin liite B.

RAMAN-mittaukset tehtiin GTK:n Mintecin laboratoriossa Outokummussa, laitteena InVia Renishaw Confocal Raman -mikroskooppi. Mittauksissa käytettiin kahta aallonpituutta: 532 nm (vihreä) tai 785 nm (punainen). Mittausjärjestelynä oli takaisin hajoava geometria ja 5 mW:n laserteholla lämpövaurioiden minimoimiseksi. Kaikkiaan mitattiin yli 500 spektriä ×50- ja ×100-objektiiveilla (numeerinen aukko vaihteli 0,5–0,9). Mittausajat olivat 10–30 sekuntia. Spektrit kalibroitiin piistandardilla (520,6 cm^{-1}). Piikkien paikat, leveydet ja pinta-alat analysoitiin PeakFit v4.12-ohjelmalla grafiitin kiteisyyden ja grafiittiutumisasteen arvioimiseksi. Mittauksissa keskityttiin 1000–2000 cm^{-1} kaista-alueelle. Mittaukset tekivät GTK:n tutkijat Akseli Torppa ja Thair Al-Ani. RAMAN-tulokset Leinonen ym. (2026) liitteessä C.

9.4 Tulokset

9.4.1 Syöte- ja rikastenäytteet

GTK:n suorittamien Siikalatvan tutkimuskairausten kairasydämistä (ks. kappale 6) tehtiin rikastuskokeet GTK:n Mintec laboratoriossa. Rikastus sisälsi malmin murskauksen sekä useamman jauhatus- ja vaahdotuskierroksen (ks. kappale 7). Rikasteessa Q4222023R4 grafiitti esiintyy pieninä, levymäisinä kiteinä, joiden pisin halkaisija oli 50–200 µm ja raekoko yleisimmillään noin 100 µm (d80). Vallitsevin suomupakkojen paksuus on noin 3,2 µm (Kuva 71). Näytteessä Q4422024R6 suomujen pituus oli 30–150 µm ja pääasiallinen raekoko hieman pieniempi kuin R4:ssa, 90 µm (d80). Suomujen keskipaksuudeksi mitattiin 3,8 µm.



Kuva 71. Pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) BSE-kuvat grafiittirikasteesta (näyte Q4422024R6 (vaahdotuskoe 18/CC7)). Grafiitti nähdään tummanharmaina levyinä.

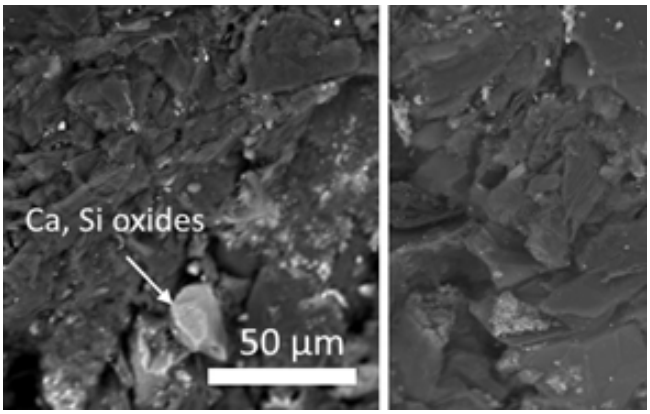
XRD-mittauksen perusteella Siikalatvan tutkimuskairauksista kerättyjen näytteiden ja niistä saaduissa rikasteissa grafiitti on kiteistä (Q4222023R4 ja Q4422024R6). Kairasydännäytteissä esiintyy myös kvartsia, muskoviittia ja biotiittia, albiittia, kloriittia ja savimineraalia (vermikuliitti). Muita mineraaleja olivat amfiboli, rikkikiisu, magneettikiisu ja molybdeenihohde. Mittaukset tehtiin murskatuista ja jauhetuista näytteistä. Rikasteista identifioitiin vähäisinä epäpuhtauksina kvartsia, albiittia, kloriittia, biotiittia ja muskoviittia ja lisäksi hieman sulfidimineraaleja (rikkikiisu ja magneettikiisu). Rikastei-

den hiilipitoisuus oli noin 90–95 % ja rikastuksen keskisaanti oli 90 %.

Siikalatvan grafiitin RAMAN-spektrissä on voimakas piikki G-vyöhykkeellä 1574 cm^{-1}. Tämä viittaa atomien korkeaan järjestäytyneisyyteen ja kiteiseen rakenteeseen.

9.4.2 MgO-C tulenkestävät tiilet

Magnesiumia ja hiiltä sisältäviä tulenkestäviä materiaaleja käytetään teräksen valmistuksessa sulatusuunien vuoraukseen (esim. happipuhallusuunit, BOF ja valokaariuunit, EAF). Materiaalit on valmistettu erittäin puhtaasta magnesiumoksidista (periklaasi), josta osa on sulatettua ja osa korkeassa lämpötilassa inertiksi poltettua magnesiumoksidia. Grafiitti on luonnongrafiittia, ja sitä on lisätty valmisteeseen yleensä yli 10 % (Kuva 72). Tehdyissä määrityksissä grafiitti esiintyy näytteissä STL2-2025-1.1 ja STL2-2025-1.2 varsin karkeasuomuisena (noin 200–1000 µm). Tulenkestävien materiaalien sideaineena käytetään orgaanista hiiltä ja myös kalsium- ja piioksidia. Koostumukseen lisätään myös antioksidantteja hidastamaan grafiitin korkean lämpötilan hapettumista. EDS-analyysissä korostuvat magnesium ja hiilipitoisuus, ja myös piille, kalsiumille ja alumiinille mitattiin korkeita intensiteettejä.



Kuva 72. Pyyhkäisyelektronimikroskoopin BSE-kuva. Grafiittisuomuja MgO-C-tiilessä.

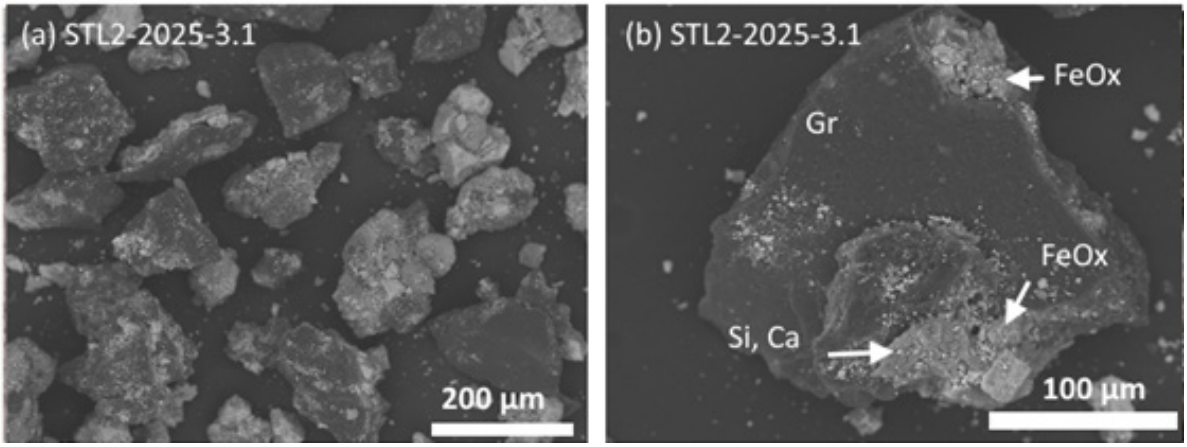
XRD-mittausten mukaan käytetyissä MgO-C tulenkestävissä materiaaleissa (näytteet STL2-2025-1.1 ja STL2-2025-1.2) esiintyy periklaasia (MgO) ja grafiittia. Muita mittaustarkkuuden puitteissa havaittuja kiteisiä yhdisteitä ovat montiselliitti, ($Ca(Mg,Fe)SiO_4$), spinelli ($MgAl_2O_4$), brusiitti ($Mg(OH)_2$) ja merviniitti ($Ca_3Mg(SiO_4)_2$).

Raman-mittausten mukaan tulenkestävän tiilen grafiitti on kiteistä. Atomirakenteessa on sekä hyvin järjestäytyneen ja epäjärjestäytyneen grafiitin piirteitä. Tämä tulee todennäköisesti siitä, että käytetty grafiitti on tuotettu useasta geologisesta ympäristöstä, joten osa on korkean ja osa matalan metamorfoosiasteen alueilta.

9.4.3 Masuunipöly ja -liete

Rautamalmia sulatetaan polttamalla koksia masuunissa, jolloin koksi toimii samalla raudan pelkistimenä. Reaktioissa vapautuu suuria määriä kuumia kaasuja. Nämä kaasut nostavat uunista mukaansa rautapitoista hienoainesta, hiiltä sekä muita epäpuhtauksia. Masuunipölyn koostumus muodostuu masuuniin syötetyistä raaka-aineista. Tyypillisesti pöly koostuu raudan oksideista, hiilestä ja kalkista. Raskasmineraalit, sinkki, kalium ja lyijy esiintyvät usein masuunipölyn epäpuhtauksina. Tässä tutkimuksessa oli mukana myös masuunilietettä. Se muodostuu masuunikaasujen pesureissa ja sisältää masuunipölyä.

SEM-tarkastelun perusteella masuunipölyn ja -lietteen (STL2-2025-3.1 ja STL2-2025-3.2) grafiittisuomut esiintyvät monikerroksisina ”kiteinä”, joilla on epäsäännölliset reunat. Grafiittihiutaleiden pinnat ovat yleisesti rautaoksidien ja karbonaatin peitossa (Kuva 73). Hiutaleiden pinnoilla nähtävät kolot ovat sulan metallin ja muiden epäpuhtauksien aiheuttamia. Grafiittisuomut ovat varsin ohuita. EDS-alkuaineanalyysit osoittivat, että Fe-, Si- ja Ca-epäpuhtaudet esiintyvät sekä suomujen pinnalla että niiden välissä. Suomujen halkaisijat vaihtelivat 50 ja 200 µm:n välillä, ja keskimääräinen raekoko on noin 100 µm. Suomujen paksuus on yleisesti 3,5 µm.



Kuva 73. Pyyhkäisyelektronimikroskoopin BSE-kuva. Grafiittisuomuja masuunipölyssä. Vaalea aines suomujen pinnalla on valtaosin raudan oksideja ja rautakarbonaattia.

XRD-ajojen mukaan masuunin pöly- ja lietenäytteessä on grafiitin lisäksi hematiittia (Fe_2O_3), kalsiittia ($CaCO_3$) sekä vähäisissä määrin kvartsia (SiO_2). Rautaa esiintyy myös alemman hapetusasteen magnetiittina (Fe_3O_4) ja wüstiittinä (FeO). XRD-kuvaajasta havaittiin myös pieniä määriä kipsiä.

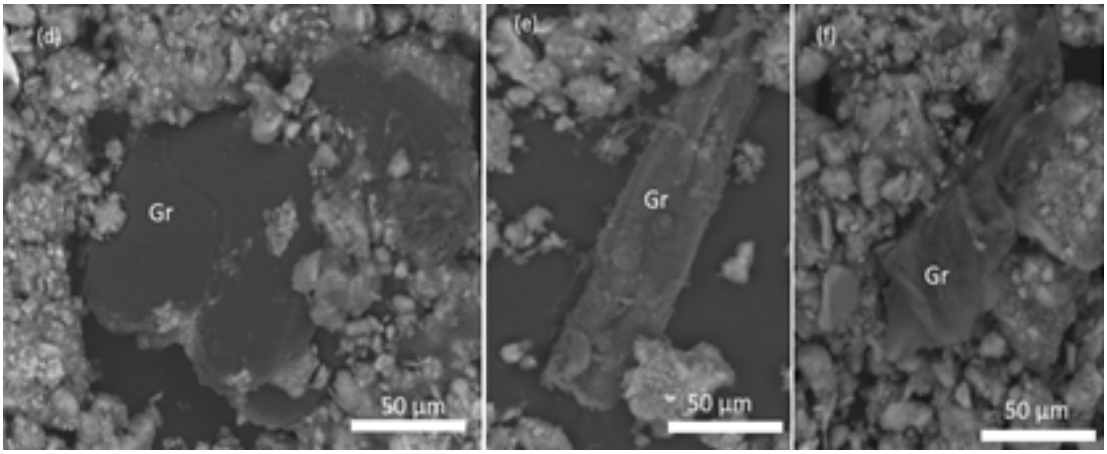
Masuunipölyä puhdistettiin vähäinen määrä kemiallisesti, minkä tarkoituksena oli nostaa hiilen pitoisuutta ja saada grafiitille spesifimpi XRD-mittaus, josta olisi puolestaan mahdollista arvioida luotettavammin grafiitin kideominaisuudet. Puhdistus tehtiin Oulun yliopistolla, kestävän kemian tutkimusyksikössä, mikroaaltoavusteisella happoliuotuksella käyttäen suolahapon, HCl (3 M, 19 mL) ja vetyfluorihapon, HF (48–51 %, 1 mL) seosta. Röntgendiffraktion mukaan grafiitti on epätäydellisesti kiteytynyttä (ts. puhdistetusta näytteestä verkkopintojen väliksi saatiin 0,3442 nm). Tämä on merkittävästi suurempi kuin luonnongrafiitilla (0,335–0,336 nm) (Leinonen ym. 2026: liite E).

RAMAN-spektroskooppisen tarkastelun perusteella masuunipölyn hiili on sekoitus heikosti kiteistä ja kohtalaisen kiteistä grafiittia. Tämä tulee siitä, että osa masuunipölyn hiilestä on grafiittia ja osa järjestäytymätöntä hiiltä. Grafiittia analysoitaessa LECO:lla mitataan vain kiteistä grafiittia. Ennen mittausta näytteestä poistetaan karbonaattihiili suolahapolla ja järjestäytymätön orgaaninen hiili hajotetaan voimakkaalla hapettimella.

9.4.4 Rikinpoistokuona

Rikinpoiston kuona (STL2-2025-3.3, Taulukko 26) koostuu pääasiassa kalkkijauheesta, Fe-rikkaista faaseista ja silikaatista sekä muista jäämistä. Se on hienorakeista ja huokoista. Rikinpoistokuona on teräksen valmistuksen sivutuote, joka muodostuu, kun sulaan metalliin lisätään emäksistä ainesta, esimerkiksi kalkkia sitomaan epäpuhtauksia. Rikinpoistossa sulan metallin pinnalle kertyy kuonakerros, joka kaavitaan mekaanisesti metallin pinnalta. Kuonaan kertyy muun muassa runsaasti rikkiä ja sen erottamiseen käytettyjä mineraalisia reagensseja.

Grafiittia esiintyy hyvin vähän tämän tutkimukseen näytteessä 0,2 % (LECO-mittaus, Taulukko 26), kun taas kokonaishiili on 7,57 % (LOI, Taulukko 26). Rikinpoistossa muodostuvaa, niin kutsuttua kish-grafiittia esiintyy yleensä rikinpoiston pölyssä ja kuonassa varsin runsaasti. Tässä tutkimuksessa grafiitti esiintyi pieninä suomuina, ja suomujen läpimitta on tyypillisesti alle 50 µm. Satunnaisesti havaittiin yksittäisiä kookkaita 40–100 µm:n suomuja (Kuva 74).



Kuva 74. SEM:llä otettu BSE-kuva. Grafiittisuomuja rikinpoistokuonassa. Vaalea aines on valtaosin rikinpoistoon käytetystä kalkista muodostunutta kalsiumhydroksidia.

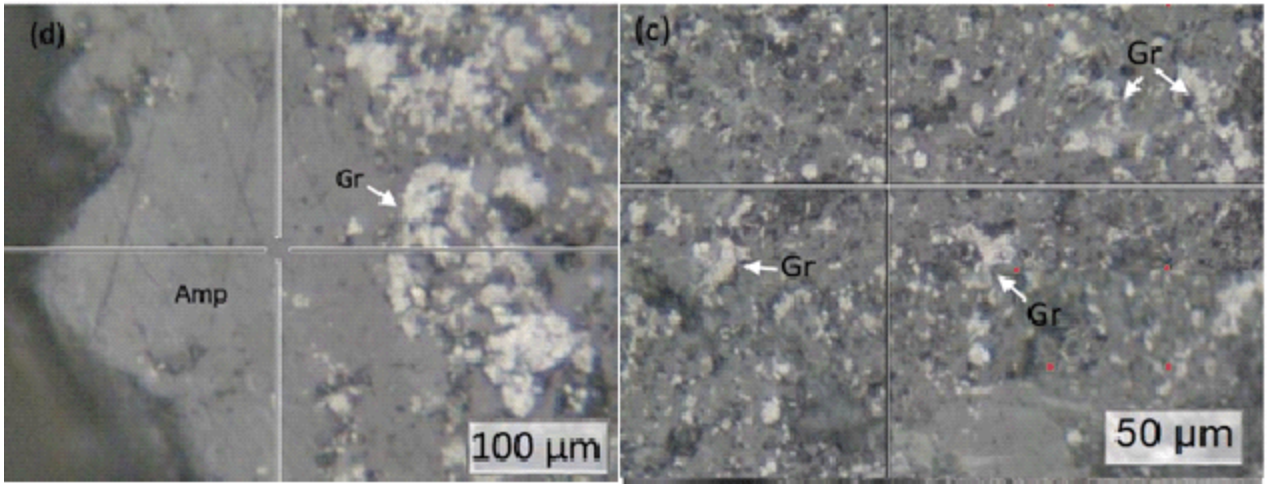
Elektronimikroskoopilla tehdyn tarkastelun mukaan (SEM) rikinpoistokuona (STL2-2025-3.3, Taulukko 25) on hienorakeista ja sen rakenne on huokoinen. Kuona koostuu kalkkijauheesta, Fe-rikkaista faaseista, rikkiyhdisteistä ja silikaatista sekä muista jäämistä. EDS-mittauksen mukaan alkuainekoostumusta hallitsevat rikin lisäksi Ca, Fe, Si ja Al, kun taas Mg, Mn ja Ti esiintyvät vähäisinä tai hyvin pieninä määrinä.

XRD-analyysin mukaan rikinpoistokuonalla on monimutkainen faasikoostumus, jossa pääasiallisena aineksena esiintyi kalsiumin ja rikin muodostamaa ei kiteistä ainesta ja kalsiumhydroksidia (portlandiitti, $Ca(OH)_2$). Lisäksi tunnistettiin merkittävässä määrin kvartsia ja kalsiittia. Rauta esiintyy sekä magnetiittina (Fe_2O_3) että wustiittina (FeO).

RAMAN spektroskopian mukaan kuonan grafiitti on erittäin kiteistä. Kuvaajille ovat ominaisia terävät G-piikit (~1580 cm^{-1}) ja suhteellisen heikko D1-vyöhyke (~1345 cm^{-1}).

9.4.5 Bioliuotettu mustaliuskemalmi

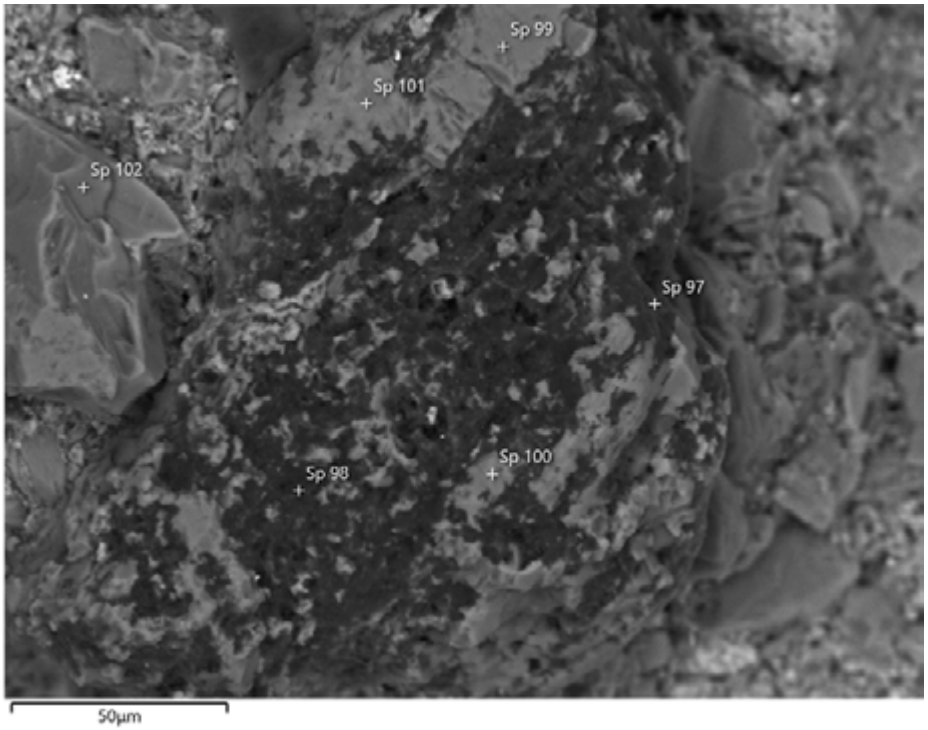
Tutkimukseen Terrafamelta saatu bioliuotettu grafiittia sisältävä mustaliuskemalmi oli kerätty niin kutsutulta sekundäärikasalta (näyte STL2-2025-2.1, Taulukko 25). Ennen aumaan kasaamista murskattu ja jauhettu malmi agglomeroidaan huokoisuuden lisäämiseksi. Esimerkkejä grafiitin esiintymisestä on nähtävillä mikroskoopilla otetuissa kuvissa (Kuva 75). Näytteen fyysinen olemus oli helposti mureneva. Talvivaaran mustaliuskeissa pääosin esiintyvä malmi sisältää Ni-Cu-Co-Zn-Mn-mineralisaatioita.



Kuva 75. Mikroskooppikuvat kasaliotetusta mustaliuskemalmista. (d) Grafiittia (Gr) amfibolissa ja (c) grafiitti huokoisessa hienojakoisessa osassa malmia. Grafiitti nähdään vaaleanharmaana tummanharmaita silikaatti- ja muita mineraaleja vasten.

Grafiitti esiintyy sulkeumina primäärimineraaleissa, yleisesti myös frakmentoidun ja agglomeroidun malmin huokosissa ja raoissa. SEM-tutkimuksen mukaan grafiitti esiintyy varsin pienirakeisesti, jolloin mikrokoon suomut yleensä pisimmältä mitaltaan ovat keskimäärin vain 10–30 µm (vaihtelu muutamasta mikronista 150 mikroniin), Kuva 76.

Terrafamen grafiitin mikrosuomuista olemusta selittää se, että mustaliuske on kiteytynyt matalan metamorfoosin olosuhteissa (vihreäliuskefasies). Grafiitti on niin kutsuttua massamaista mustaliusketyyppiä. Korkeampi lämpötila ja paine (amfiboliitti-granuliittifasies) suosii karkean grafiittisuomun kasvua, kuten Siikalatvan tapauksessa on todettu.



Kuva 76. SEM:llä otettu BSE-kuva, jossa nähdään grafiittia sekundäärimalmissa (tumma hienorakeinen aines). Grafiitti esiintyy kuva-alassa amfibolin sulkeumana.

XRD-tulosten perusteella Terrafamen toisen liuotuskierroksen kasalta otettu näyte koostuu grafiitin lisäksi silikaattimineraaleista, kuten kvartsista, maasälvästä, amfibolista ja kloriitista. Muita mineraaleja ovat kipsi ja eri hapetusasteen rautaoksidit (hematiitti, magnetiitti ja götiitti) sekä jäännössulfidit (rikkikiisu ja magneettikiisu). Korkean kvartsipitoisuuden ja 10 Å:n kiilteiden vuoksi grafiitin piikkejä ei voitu varmuudella vahvistaa XRD-menetelmällä. Kvartsin päähuipun lievä epäsymmetria viittaa siihen, että grafiittia saattaa olla kasaliuotetun malminäytteen mineraalikoostumuksessa.

RAMAN-spektrien mittaukset osoittavat, että grafiitti on rakenteellisesti järjestäytynyttä ja kohtalaisesti kiteytynyttä. G-vyöhyke, ~1580 cm^{-1} on suhteellisen kapea ja hieman voimakkaampi kuin D1-vyöhyke. Mittaus tukee näytteen geologista alkuperää Kainuun liuskejaksolta, jossa esiintyvät grafiittiset kivet ovat massamaisia ja hienorakeisia mustaliuskeita, joskin näissäkin on paikoin silmämääräisesti havaittavaa suomukokoa.

9.5 Yhteenveto

Tässä projektissa tutkittiin Siikalatvan grafiittia GTK:n tutkimuskairausnäytteistä. Näytteet oli jauhettu rikastuskokeita varten. Lisäksi grafiitin kiteisyyttä selvitettiin rikasteista. Grafiitin mineralogiaa selvitettiin myös teollisuuden sivuvirtamateriaaleista. LECO-mittauksen mukaan teollisuuden jätteissä oli vaihtelevasti grafiittista hiiltä: MgO-C tulenkestävissä tiilissä 12,50–13,5 p-%, masuunipölyssä 40,00 p-%, masuunilietteessä 18,30 p-%, rikinpoistokuonassa 0,20 p-% ja sekundäärikasan mustaliuskemalmissa 5,73 p-%. Vertailumateriaaleina käytetyissä Siikalatvan kairasydämistä valmistetuissa rikasteissa oli grafiittia 95,00 p-% ja 89,00 p-%.

Mineralogisia tutkimusmenetelmiä olivat optinen mikroskooppi, elektronimikroskooppi SEM-EDS, XRD ja RAMAN. Suomukoko on kookasta tulenkestävissä tiilissä varsin yleisesti yli 200 µm ja masuunipölyssä ja -lietteessä noin 200 µm. Rikinpoistokuonan grafiitti on pienisuomuista (< 50 µm), kun taas murskatussa, jauhetussa ja rakeistetussa mustaliuskemalmissa yleisesti mikrosuomuista (< 30 µm).

Raekoon ja epäpuhtauksien (muut mineraalit) lisäksi kiteisyysaste oli erityisen kiinnostuksen kohteena, kun arvioidaan grafiitin käyttöä akkuanodina ja muissa sovelluksissa. Kiteisyyttä voidaan arvioida grafiitin verkkopintojen eheyden ja kerroksellisuuden perusteella. Akkukäytössä verkkopintojen etäisyys on kriittinen. Toisin sanoen sillä pyritään selittämään, minkä kokoinen ioni sopii liikkumaan kerrosten väliin ja sieltä pois (yleisimpien elektrolyyttien ionit pienimmästä suurimpaan litium < natrium < kalium < alumiini jne.).

Tutkimusten mukaan hyvin järjestäytynyttä kiteistä grafiittia esiintyy tulenkestävissä tiilissä ja mustaliuskemalmissa mutta myös rikinpoistokuonassa. Masuunissa muodostuneen grafiitin atomirakenteessa on epäjärjestystä. XRD-mittauksen perusteella d_{002}-mitta on luonnongrafiittia merkittävästi suurempi. Tarkka d_{002}-mitta saatiin erikseen puhdistetusta näytteestä, 0,3442 nm. Muille näytteille ei ollut vastaavaa puhdistettua näytettä käytössä.

Tässä esitetyt tulokset ovat suuntaa antavia. Jatkotutkimuksissa on selvitettävä, mihin käyttöön sivuvirtojen grafiitti soveltuu ja ovatko grafiittia sisältävät jätteet ylipäätään rikastettavissa riittävään puhtauteen. Osassa näytteissä korkea grafiittipitoisuus puoltaa niiden hyötykäyttöä selvittäviä lisätutkimuksia.

Siikalatvan kairasydännäytteiden grafiitin suomuinen olemus on muodostunut korkeassa metamorfoosiasteessa (ylempi amfiboliitti- ja granuliittifasies). XRD-mittaus kertoo verkkopintojen korkeasta järjestäytyneisyydestä. RAMAN-tulos indikoi myös korkeaa kerrospintojen järjestäytyneisyyttä ja vastaavasti vähäistä tai kokonaan puuttuvaa indikaatiota atomien epäjärjestyksestä. Mineralogisten tutkimusten mukaan Siikalatvan grafiitilla on erittäin kiteinen olemus ja se todennäköisesti soveltuu suomugrafiitille tyypillisiin materiaaleihin, kuten voiteluaineisiin ja kitkamateriaaleihin ja myös Li-ioniakkujen anodeiksi (ks. kappale 11, akkutestin tulokset).

10 SIIKALATVAN RIKASTUSHIEKKANÄYTTEIDEN YMPÄRISTÖOMINAISUUDET

10.1 Johdanto

Tässä osassa raporttia tarkastellaan rikastuskokeiden yhteydessä syntyvien jäteainesten hyödynnettävyyttä sekä vaikutuksia ympäristöön. Tutkimusten perustana ovat mineralogiset ja geokemialliset tutkimukset.

10.2 Tutkimuksen tarkoitus

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) tutkimuskairauksissa lävistettyä grafiittipitoista kiveä lähetettiin GTK:n Mintec-tutkimuslaboratorioon rikastuskokeisiin (kts. kappaleet 6 ja 7). Grafiittipitoisen kiven rikastuksen yhteydessä syntyi myös jäteainesta eli rikastushiekkaa. Tässä osassa raporttia tarkastellaan tämän aineksen ympäristöominaisuuksia ja mahdollista hyötykäyttöpotentiaalia. Tutkimusmenetelminä käytettiin rikastushiekasta tehtyjä XRD- ja FE-SEM-EDS-analyysejä neljästä näytteestä. Näytteet on esitetty taulukossa 27. Hyötykäyttöpotentiaalin lisäksi tarkoituksena oli tarkastella materiaalin ympäristöominaisuuksia, kuten hapontuottopotentiaalia ja haitta-ainepitoisuuksia.

Mineralogiset tutkimukset toteutettiin XRD- ja FE-SEM-EDS-menetelmillä vuoden 2024 lopulla ja 2025 alussa GTK:n tutkimuslaboratoriossa Espoossa. Keväällä 2025 näytemateriaalit toimitettiin Eurofins Environment Testing Finlandille Jyväskylään kemiallisia analyysejä varten, jotka suoritettiin rikki- ja hiilianalysaattoreilla sekä titraus- ja uuttomenetelmin. Kemiallisissa analyyseissä näytteet esikäsiteltiin seuraavasti:

- kuivaus <40 °C:ssa
- murskaus leukamurskaimella >70 % < 2 mm
- jauhatus karkaistussa hiiliteräsjauhinpannussa
- ositus rännijakolaitteella.

Taulukko 27. Tutkimuksessa käytetyt grafiittiesiintymän korkean (Tails) ja matalan (Stails) rikkipitoisuuden rikastushiekkanäytteet.

Näyte	Paikka	Materiaali	XRD osanäytteet
Test4 /Tails	Siikalatva	Syötemateriaali 1, korkearikkinen rhk	CT1, CT2, CT3, CT4, CC4, Tails
Test8 /Stails	Siikalatva	Syötemateriaali 1, matalarikkinen rhk	CT1, CT2, CT3, CT4, CC4, M, S conc1, S conc2, S tails
Test17 /Tails	Siikalatva	Syötemateriaali 2, korkearikkinen rhk	CT1, CT2, CT3, CT4, CC4, Tails
Test21 /Stails	Siikalatva	Syötemateriaali 2, matalarikkinen rhk	CT1, CT2, CT3, CT4, CC4, M, S conc1, S conc2, S tails

10.3 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

10.3.1 Mineralogiset analyysit

Tutkimuksessa tarkasteltiin korkean (näytetunnus Tails) ja matalan (näytetunnus Stails) rikkipitoisuuden näytteitä. Rikastushiekkaa, joissa oli matalampi rikkipitoisuus, putsattiin magneettisella erotuksella ja sulfidivaahdotuksella GTK Mintecin rikastuslaboratoriossa Outokummussa. Tails-näytteiden Test 4/Tails ja Test 17/Tails kertausvaahdotuskokeista on saatu rikkiköyhät Stails-näytteet Test 8/ Stails ja Test 21/ Stails.

XRD-analyysissä näytteet jauhettiin käsin akaattihuhmareessa ja jauheesta valmistettiin satunnaisesti suunnattu näyte lasilevylle asetonin avulla. Faasien tunnistuksessa hyödynnettiin Brukerin EVA 6.0 -ohjelmistoa, joka käyttää ICDD:n PDF-4 Minerals 2024 -tietokantaa. Tämä tie-

tokanta sisältää ainoastaan luonnossa esiintyviä epäorgaanisia kiteisiä faaseja eli mineraaleja.

FE-SEM-EDS-analyysi tehtiin JEOL JSM 7100F Schottky -kenttäemissio-pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, johon on liitetty Oxford Instrumentsin X-Max 80 mm² (SDD) -energiaspektrometri. Analyysiä varten näytteistä valmistettiin epoksivalettu ja kiillotettu poikkileikkaus, joka päällystettiin grafiitilla sähkönjohtavuuden varmistamiseksi. Näytteistä analysoitiin 14 000–30 000 pistettä modaalikoostumuksen määrittämiseksi käyttäen Aztec Feature -ohjelmistoa. Tulokset ovat semikvantitatiivisia ja normalisoitu 100 %:iin. Faasit tunnistettiin vertaamalla EDS-spektristä johdettua alkuainekoostumusta GTK:n sisäiseen mineraalitietokantaan.

On kuitenkin huomioitava, että EDS-spektrin perusteella ei aina voida tunnistaa faaseja tarkasti, erityisesti jos ne sisältävät hiiltä, hydroksyyliryhmiä, vettä tai kevyitä alkuaineita, kuten berylliumia. Myöskään faasit, joilla on sama kemiallinen koostumus, eivät erotu toisistaan. Grafiitin määrää näytteissä ei voida tässä yhteydessä arvioida, koska grafiittia on lisätty näytteisiin johtavuuden parantamiseksi.

FE-SEM-EDS-menetelmässä analyysi perustuu noin 3 mikrometrin syvyiseen tilavuuteen, joten tätä pienemmät rakeet jäävät analyysin ulkopuolelle. Menetelmän rajoitteiden vuoksi osa analyysipisteistä (yleensä muutama prosentti) jää luokittelematta. Nämä tunnistamattomat pisteet ovat usein seka-analyysejä, jotka koostuvat useista eri mineraalifaaseista. Tunnistamattomien analyysien osuus kasvaa erityisesti hienorakeisissa tai mineralogisesti monimutkaisissa näytteissä.

10.3.2 Kemialliset analyysit

Näytteiden luokittelun ja hapontuottokyvyn arvioimiseksi kemiallisissa analyyseissä kokonaisrikkipitoisuus määritettiin rikkianalysaattorilla (ns. Leco-rikki), ja kokonaishiilipitoisuus sekä karbonaattisen ja ei-karbonaattisen hiilen pitoisuudet hiilianalysaattorilla. Näytteiden hapontuottokykyä määritettiin lisäksi standardin SFS-EN 15875 mukaisella ABA-testillä (acid-base accounting). Neutraloimispotentiaali (NP) määritettiin titrausmenetelmällä ja hapontuottopotentiaali (AP) rikkianalysaattorilla määritetyn rikkipitoisuuden mukaan. Näiden perusteella laskettiin neutralisoimispotentiaalisuhde (NP/AP). Koska magnesiittipitoisten näytteiden tiedetään antavan todellista alhaisempia NP-arvoja ABA-testissä (Karlsson ym. 2018), laskettiin lisäksi karbonaattipitoisuuteen perustuva karb.NP-luku ja neutralointisuhde karb.NP/AP kertomalla karbonaattisen hiilen pitoisuus kertoimella 83,3 (ks. Karlsson ym. 2018). Neutralointikyvyllä tarkoitetaan sivukivissä olevien happamuutta neutraloivien mineraalien kykyä puskuroida sulfidimineraalien hapettumisessa muodostuvaa happamuutta.

Alkuaineiden sitoutumista näytemateriaaleihin tarkasteltiin kuuman kuningasvesiuuton avulla ISO 11466 -standardin mukaan. Kuningasvesiuuttoa käytetään erityisesti sulfidiseen mineraalifraktioon sitoutuneiden alkuainepitoisuuksien määrittelyssä. Uutossa liukenevat myös osittain tai kokonaan Fe- ja Mn-oksidit sekä osa silikaattimineraaleista, kuten rautasilikaatit, kiilteet (esim. biotiitti), kloriitti ja savimineraalit (Doležal ym. 1968, Chao & Sanzalone 1977). Kuuma kuningasvesiuutto ei vastaa kokonaispitoisuutta silikaatteihin ja oksideihin sitoutuneiden metallien osalta. Kuningasvesiuuton tulokset ovat vertailukelpoisia ns. PIMA-asetuksen (VNa 214/2007) ohje- ja raja-arvojen kanssa, joita käytetään arvioitaessa kaivannaisjätteiden pysyvyyttä (vrt. Kaivannaisjäteasetus VNa 190/2013). Metallipitoisuudet määritettiin uutteista ICP-OES- tai ICP-MS-tekniikoilla.

10.4 Tulokset

10.4.1 Näytteiden mineraloginen koostumus XRD-tutkimukseen perustuen

Rikastushiekkanäytteiden mineralogiset koostumustulkinnat (ts. XRD-analyysien perusteella) on esitetty taulukossa 28 näytteistä: Test 4 / Tails, Test 8 / Stails, Test 17 / Tails ja Test 21 / Stails.

Edellä mainittujen näytteiden grafiittia ei voitu XRD-datan perusteella havainnoida, sillä grafiitin pääpiikki on päällekkäinen kvartsin ja biotiitti/flogobiittikiilteen kanssa.

Taulukko 28. Rikastushiekkanäytteiden XRD-tulkinnat.

Testi	Pääfaasit	Sivukomponentit	Hivenfaasit
Test 4 / Tails	kvartsi; albiittinen plagioklaasi-maasälpä (albiitti–oligoklaasi); biotiitti/flogopiitti kiille	magneettikiisu (4M monokliininen magneettinen variantti); kalimaasälpä (mikrokliini); kloriitti (klinokloori–chamosiitti); serpentiini (lizardiitti/antigoriitti)	rikkikiisu
Test 8 /Stails	kvartsi; albiittinen plagioklaasi (albiitti–oligoklaasi); biotiitti/flogopiitti kiille	kalimaasälpä (mikrokliini); kloriitti (klinokloori–chamosiitti); vermikuliitti	rikkikiisu; kalsiitti; klinoamfiboli (tremoliitti)
Test 17/ Tails	kvartsi; albiittinen plagioklaasi-maasälpä; biotiitti/flogopiitti kiille	kalimaasälpä (mikrokliini); kloriitti (klinokloori–chamosiitti); magneettikiisu (4M monokliininen magneettinen variantti); rikkikiisu; klinoamfiboli	vermikuliitti
Test 21 /Stails	kvartsi; albiittinen plagioklaasi-maasälpä; biotiitti/flogopiitti kiille	kalimaasälpä (mikrokliini); kloriitti (klinokloori–chamosiitti); klinoamfiboli	–

10.4.2 FE-SEM-EDS-tutkimukset

Näytteiden FE-SEM-EDS-mittausten perusteella määritetty modaalimineraloginen koostumus on esitetty taulukossa 29. Analysointiin on hyödynnetty Aztec Feature -ohjelmistoa. Mineralogiset analyysitulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteen 6 raportissa.

Taulukko 29. Rikastushiekkanäytteiden modaalimineraloginen koostumus FE-SEM-EDS-mittausten perusteella. Tulokset on esitetty painoprosentteina. Taulukossa on esitetty mineraalit, joiden pitoisuus on näytteessä >1 paino-%, sekä tarkemmin karbonaatit ja sulfidit.

Mineraali	Test 4 / Tails	Test 8 / Stails	Test 17 / Tails	Test 21 / Stails
Kvartsi	35,9	37,9	36,8	42,0
Plagioklaasi	33,7	40,2	35,1	34,4
Biotiitti	8,8	12,0	8,4	9,5
Kalimaasälpä	3,0	3,5	9,1	9,6
Flogopiitti	0,7	1,9	0,6	0,5
Sarvivälke	0,1	0,0	0,9	1,0
Karbonaatit:				
Kalsiitti	0,05	0,04	0,1	0,02
Sulfidit:				
Magneettikiisu	11,6	0,2	4,0	0,01
Rikkikiisu	2,0	0,3	1,3	0,04
Sinkkivälke	0,04		0,01	
Kuparikiisu	0,005		0,02	
Pentlandiitti			0,001	

10.4.3 Näytteiden kemiallinen koostumus

Neutralointi- ja hapontuottopotentiaalien suhdelukua voidaan käyttää arvioitaessa riskiä materiaalin hapon muodostukselle (Price 2009). Mikäli lukuarvo on pienempi kuin yksi, materiaali on mahdollisesti happoa muodostavaa, ja mikäli lukuarvo on yli kaksi, ei materiaali ole happoa muodostavaa. NPR-arvon ollessa välillä 1–2, on hapon muodostus epävarmaa/mahdollista. Kaivannaisjätteasetuksen (VNa 190/2013) mukaan inertin kiviaineksen sulfidirikin enimmäispitoisuus on 0,1 %.

Jos neutraloimispotentiaalin (NP) ja hapontuottopotentiaalin (AP) suhde (NP/AP) on vähintään 3, inertin eli reagoimattoman kiviaineksen sulfideihin sitoutuneen rikin enimmäispitoisuus on 1 %. Standardin SFS-EN 15875 mukaisessa ABA-testissä AP määritetään kokonaisrikin perusteella.

Mitään analysoiduista rikastushiekkanäytteistä ei voida ABA-testin antaman hapontuottopotentiaalin puolesta määritellä kaivannaisjäteasetuksen (VNa 190/2013) tarkoittamiksi inerteiksi kiviaineksiksi, joiden kokonaisrikkipitoisuus olisi alle 0,1 %, tai 0,1–1 % NP/AP-arvon ollessa yli 3. Kokonaisrikkipitoisuudet ja NP/AP-suhteet on annettu taulukossa 30. Näytteiden Test / 4 Tails ja Test 17 Tails kokonaisrikkipitoisuudet olivat >1 % ja NP/AP-luvut <3. Näytteiden Test 8 / Stails ja Test 21 Stails kokonaisrikkipitoisuudet puolestaan olivat välillä 0,1-1 %, mutta NP/AP luvut <3.

Rikastushiekkanäytteen Test 8 / Stails ABA-testin perusteella laskettu NP/AP-luku oli välillä 1–2, joten se on epävarmuusalueella mahdollisesti happoa tuottavaa kiviainesta (Price 2009). Näytteiden Test / 4 Tails, Test 17 Tails ja Test 21 Stails luku oli alle 1, joten ne ovat todennäköisesti happoa tuottavia kiviaineksia (Price 2009).

Karbonaattisen hiilen pitoisuuden perusteella ei voitu laskea karb.NP-lukua (karb.C % x 83,3), koska kokonaishiilipitoisuudet olivat jokaisessa näytteessä <0,05 %.

Taulukko 30. Rikastushiekkanäytteiden kokonaisrikkipitoisuus, kokonaishiilipitoisuus, karbonaattisen hiilen pitoisuus sekä ABA-testissä määritetyt hapontuottopotentiaali (AP), neutralointipotentiaali (NP) ja NP/AP-suhde.

Näyte	kok.S %	kok.C %	karb.C %	AP kg $CaCO_3$/t	NP kg $CaCO_3$/t	NP/AP
Test 4 / Tails	5,06	0,13	<0,05	160	7,6	<0,1
Test 8 / Stails	0,26	0,08	<0,05	8,1	9,4	1,2
Test 17 / Tails	3,43	<0,05	<0,05	110	4,7	<0,1
Test 21 / Stails	0,27	0,09	<0,05	8,4	4,8	0,6

Rikastushiekkanäytteiden geokemialliset haitta-aineiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 31. Kaivannaisjäteasetuksen (VNa 190/2013) mukaan kiviaines voidaan luokitella pysyväksi, jos mm. PIMA-asetuksessa (VNa 214/2007) määriteltyjen haitta-aineiden pitoisuudet eivät ylitä asetuksessa esitettyjä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia.

Siikalatvan alue ei kuulu metalliprovinsseihin, joissa moreenimaan luontaiset haitta-ainepitoisuudet ovat kansallisia moreenin pitoisuuksien keskiarvoa suurempia eikä alueen taustapitoisuudet ylitä PIMA-asetuksen kynnysarvoja GTK:n taustapitoisuusrekisterin mukaan.

Kemiallisen analyysin perusteella rikastushiekkanäytteen Test 4 / Tails kuningasvesiuuttoiset pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon nikkelillä (262 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 150 mg/kg), sinkillä (887 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 400 mg/kg) ja vanadiinilla (401 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 250 mg/kg). PIMA-asetuksen alempi ohjearvo ylittyi kuparilla (150 mg/kg vs. alempi ohjearvo 150 mg/kg). PIMA-asetuksen kynnysarvo ylittyi kadmiumilla (7,68 mg/kg vs. kynnysarvo 1 mg/kg), koboltilla (30,1 mg/kg vs. kynnysarvo 20 mg/kg) ja kromilla (143 mg/kg vs. kynnysarvo 100 mg/kg).

Rikastushiekkanäytteen Test 8 / Stails kuningasvesiuuttoiset pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon vanadiinilla (457 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 250 mg/kg). PIMA-asetuksen kynnysarvo ylittyi kromilla (156 mg/kg vs. kynnysarvo 100 mg/kg) ja kuparilla (127 mg/kg vs. kynnysarvo 100 mg/kg).

Rikastushiekkanäytteen Test 17 / Tails kuningasvesiuuttoiset pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon nikkelillä (208 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 150 mg/kg), sinkillä (671 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 400 mg/kg) ja vanadiinilla (341 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 250 mg/kg). PIMA-asetuksen alempi ohjearvo ylittyi kuparilla (151 mg/kg vs. alempi ohjearvo 150 mg/kg). PIMA-asetuksen kynnysarvo ylittyi kadmiumilla (4,90 mg/kg vs. kynnysarvo 1 mg/kg), koboltilla (20,2 mg/kg vs. kynnysarvo 20 mg/kg) ja kromilla (104 mg/kg vs. kynnysarvo 100 mg/kg).

Rikastushiekkanäytteen Test 21 / Stails kuningasvesiuuttoiset pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen ylemmän ohjearvon vanadiinilla (352 mg/kg vs. ylempi ohjearvo 250 mg/kg). PIMA-ase-

tuksen kynnysarvo ylittyi kuparilla (120 mg/kg vs. kynnysarvo 100 mg/kg).

Vaikka PIMA-asetuksessa ei ole määritetty ohjearvoja molybdeenille, tuloksia voidaan verrata vanhempiin SAMASE-arvoihin (Puolanne ym. 1994), joka molybdeenille on 5 mg/kg (alempi ohjearvo) ja raja-arvo 200 mg/kg (ylempi ohjearvo). Sivukivinäytteiden kuningasvesiuuttoiset molybdeenipitoisuudet ylittivät SAMASE-alemman ohjearvon rikastushiekkanäytteissä Test 4 / Tails (7,13 mg/kg) ja Test 17 / Tails (7,05 mg/kg).

Kemialliset analyysitulokset kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 7.

Taulukko 31. Rikastushiekkanäytteiden haitta-aineiden kuningasvesiliukoiset pitoisuudet. Kuningasvesiliukoisten pitoisuuksien vertailuarvoina on esitetty valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin asetuksen (ns. PIMA-asetus VNa 214/2007) ohjearvot. Asetuksessa ei ole määritelty ohjearvoja molybdeenille.

	Sb mg/kg	**As** mg/kg	**Hg*** mg/kg	**Cd** mg/kg	**Co** mg/kg	**Cr** mg/kg	**Cu** mg/kg	**Pb** mg/kg	**Ni** mg/kg	**Zn** mg/kg	**V** mg/kg	**Mo**** mg/kg
PIMA kynnysarvo	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100	
PIMA alempi ohjearvo	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150	5**
PIMA ylempi ohjearvo	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250	200**
Test 4/ Tails	0,029	0,794	<0,005	7,68	30,1	143	150	32,9	262	887	401	7,13
Test 8/ Stails	0,022	0,333	<0,005	0,877	3,91	156	127	6,46	32,0	192	457	4,79
Test 17/ Tails	0,030	0,662	<0,005	4,90	20,2	104	151	7,20	208	671	341	7,05
Test 21/ Stails	<0,02	0,213	<0,005	0,775	2,62	97,9	120	4,09	36,1	147	352	4,45

*Hg:n määritys pyrolyyttisesti

**SAMASE-ohjearvot (Puolanne ym. 1994).

Kuningasvesiuuttoisten pitoisuuksien perusteella rikastushiekkanäytteiden runsaimpina esiintyvät haitta-aineet olivat erityisesti vanadiini, sinkki ja nikkeli, joista ainoastaan vanadiini ylitti ylemmän PIMA-ohjearvon kaikissa näytteissä. Lisäksi kupari ylitti alemman ohjearvon tai kynnysarvon kaikissa näytteissä. Yksittäisempiä PIMA-kynnysarvon ylityksiä oli kromilla (3), kadmiumilla (2) ja koboltilla (2). Myös SAMASE-arvoihin verratulla molybdeenilla oli kaksi ohjearvon ylitystä.

Mineralogisten analyysien ja alkuaineiden yleisten ominaisuuksien perusteella voidaan arvioida haitta-aineiden esiintymistä eri rikastushiekkanäytteiden mineraaleissa. Nikkeli on pääasiassa sitoutuneena rautasulfideihin, erityisesti magneettikiisuun. Esimerkiksi näytteessä Test 4 / Tails, jossa oli eniten magneettikiisua, oli myös nikkeliä eniten. Samoissa näytteissä esiintyi myös PIMA-kynnysarvon ylittäviä pitoisuuksia koboltia. Koboltti esiintyy usein sulfidimineraaleissa, kuten magneettikiisussa ja siinä esiintyvässä pentlandiitissa ($(Fe,Ni)_9S_8$). Samoin kobolttia voi esiintyä myös rikkikiisussa. Nikkeliä, joka ylitti ylemmän PIMA-ohjearvon näytteissä Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails, sitoutuu magneettikiisun yhteydessä pieninä määrinä esiintyvään pentlandiitin lisäksi usein myös tummiin, mafisiin mineraaleihin, kuten oliviiniin, pyrokseeneihin, serpentiiniin ja amfiboleihin. Näistä kahta viimeistä on löydetty myös mineralogisissa tutkimuksissa (Koljonen 1992). Sinkki esiintyy pääasiassa sinkkivälkkeenä ((Zn,Fe)S), ja sinkkiä saattaa esiintyä vähäisemmissä määrin myös muissa kiisuissa ja sekä silikaateissa raudan ja magnesiumin kanssa (Koljonen 1992). Kadmium ja sinkki esiintyvät usein yhdessä (Schwartz 2000), ja tutkituissa näytteissä kadmiumia esiintyikin PIMA-asetuksen raja-arvoja ylittäviä määriä juuri niissä näytteissä (Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails), joissa kuningasvesiuuttoisia sinkkipitoisuuksiakin esiintyi (Taulukko 30). Kadmiumia voidaan sinkin kanssa tavata sinkkivälkkeen lisäksi myös muissa sulfideissa ja silikaateissa (Koljonen 1992, De Vos & Tarvainen 2006). Myös kupari esiintyi näytteissä Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails, joissa kuparikiisu

oli ainoastaan läsnä, ja sitä esiintyykin kallioperässä harvoin esimerkiksi silikaateissa tai oksideissa (Koljonen 1992). Toisaalta kuparia esiintyi kynnysarvon ylittäviä määriä myös näytteissä Test 8 / Stails ja Test 21 / Stails, joissa kuparikiisua ei havaittu.

Yleisesti Siikalatvan rikastushiekkanäytteissä esiintynyt vanadiini voi rikastua grafiittiin. Sitä voi esiintyä myös kiilteissä ja amfiboleissa sekä oksidimineraaleissa. Vanadiinin kanssa samankaltaisissa mineraaleissa esiintyy usein kromi, joka voi sitoutua amfiboleihin, kiilteisiin ja oksideihin (Koljonen 1992). Siikalatvan näytteissä ei kuitenkaan havaittu selkeitä vanadiinimineraaleja. Kromia esiintyi vanadiinin tavoin kaikissa tutkituissa näytteissä, ja PIMA-kynnysarvo ylittyi kromin suhteen näytteissä Test 4 / Tails, Test 8 / Stails ja Test 17 / Tails. Näytteissä ei esiintynyt kromiittia ($FeCr_2O_4$), mutta kallioperässä kromia esiintyy usein myös tummiin, mafisiin mineraaleihin sitoutuneena (Koljonen 1992). Myöskään selkeitä molybdeenimineraaleja, kuten molybdeenihohdetta (MoS_2), ei havaittu, vaikkakin molybdeenipitoisuudet ylittivät SAMASE-alemman ohjearvon rikastushiekkanäytteissä Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails. Molybdeenihohde-sulfidin lisäksi sitä voi kuitenkin esiintyä korvaajana myös tummien mineraalien hiloissa (Koljonen 1992). Myös grafiittiin voi sitoutua pieniä määriä molybdeeniä (Pang ym. 2019). Koska yllä mainittujen alkuaineiden pitoisuudet ovat alhaisia eikä näitä kantavia mineraaleja ole selkeästi osoitettavissa, on todennäköistä, että alkuaineita kantavat pienessä määrin silikaatti-, sulfidi- ja oksidimineraalit.

Siikalatvan rikastushiekkanäytteiden haitta-aineista mobilisoituvin on herkästi rapautuviin sulfideihin sitoutuva ja runsaana esiintyvä nikkeli. Niukemmin liukeneviin silikaatteihin ja oksideihin sitoutuneet haitta-aineet, kuten kromi, vanadiini ja molybdeeni, eivät todennäköisesti ole merkittävän mobilisoituvia neutraaleissa olosuhteissa. Myöskään kuparikiisuun sitoutunut kupari ei ole merkittävän mobiili haitta-aine neutraaleissa olosuhteissa mutta saattaa mobilisoitua happamissa olosuhteissa.

Suurimman haittapotentiaalin omaavat rikastushiekkanäytteet olivat Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails, jotka sisälsivät runsaasti rikkiä (5,05 ja 3,43 %) ja olivat todennäköisesti happoa tuottavaa kiviainesta (NP/AP <0,1). Tulosten perusteella rikastusprosessin rikkiä poistava vaihe parantaa rikastushiekan ympäristöominaisuuksia huomattavasti.

10.5 Yhteenveto Siikalatvan grafiitin ympäristöominaisuuksista

Siikalatvan rikastushiekkanäytteitä ei voida pitää kaivannaisjäteasetuksen tarkoittamana pysyvänä kiviaineksena, sillä kaikissa näytteissä jokin kuningasvesiuuttoinen haitta-ainepitoisuus ylitti PIMA-asetuksen kynnysarvon. Lisäksi näytteiden Test 4 / Tails ja Test 17 / Tails kokonaisrikkipitoisuus ylitti 1 %:n niiden luokittuessa todennäköisesti happoa tuottaviksi kiviaineksiksi. Lisäksi näytteiden Test 8 / Stails ja Test 21 / Stails kokonaisrikkipitoisuus oli välillä 0,1–1 % mutta NP/AP alle 3.

Rikastushiekkanäytteiden ympäristökelpoisuuteen vaikuttaa erityisesti nikkelin mobilisoituminen. Nikkeli on yleisesti sitoutuneena suhteellisen herkästi rapautuviin sulfidimineraaleihin. Niukasti liukeneviin mineraaleihin sitoutuneista haitta-aineista kromi, vanadiini ja molybdeeni eivät yleensä mobilisoidu neutraaleissa oloissa, mutta kupari voi vapautua happamissa olosuhteissa. Kokonaisuuden kannalta rikastusprosessin rikkiä poistava vaihe parantaa rikastushiekan ympäristöominaisuuksia huomattavasti.

11 ANODIMATERIAALIN VALMISTUS SIIKALATVAN GRAFIITISTA – PALLOTUS JA HIILELLÄ PÄÄLLYSTÄMINEN

11.1 Johdanto

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli selvittää Siikalatvan grafiitin sähkökemiallisia ominaisuuksia akkukäyttöä ajatellen. Akuissa käytettävä grafiitti on muodoltaan pallomaista (spherical graphite), ja sen valmistus tilattiin kilpailutuksen jälkeen ProGraphite GmbH:lta Saksasta. Kaupalliset anodimateriaalit ovat yleensä myös hiilellä päällystettyjä. Projektin grafiitin hiilesti ProGraphite GmbH. Sähkökemiallisten ominaisuuksien testaus pallotetulle grafiitille Li-ioniakun anodissa tilattiin Oulun yliopistolta, ja itse mittaukset tehtiin Kokkolan kampuksen akkulaboratoriossa.

11.2 Materiaali

Pallottamiseen tarvittava grafiittirikaste valmistettiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Outokummun laboratoriossa. Grafiitin rikastukseen toimitettiin edustavat näytteet kahdesta GTK:n kairauksesta Q4222023R4 ja Q4422024R6. Kairareikien lävistämien muodostumien grafiitti on suomuista. Rikastukseen toimitettujen kokoomanäytteiden grafiittihiilen keskipitoisuudet olivat 4,34 p-%, R4 ja 5,28 p-% C, R6.

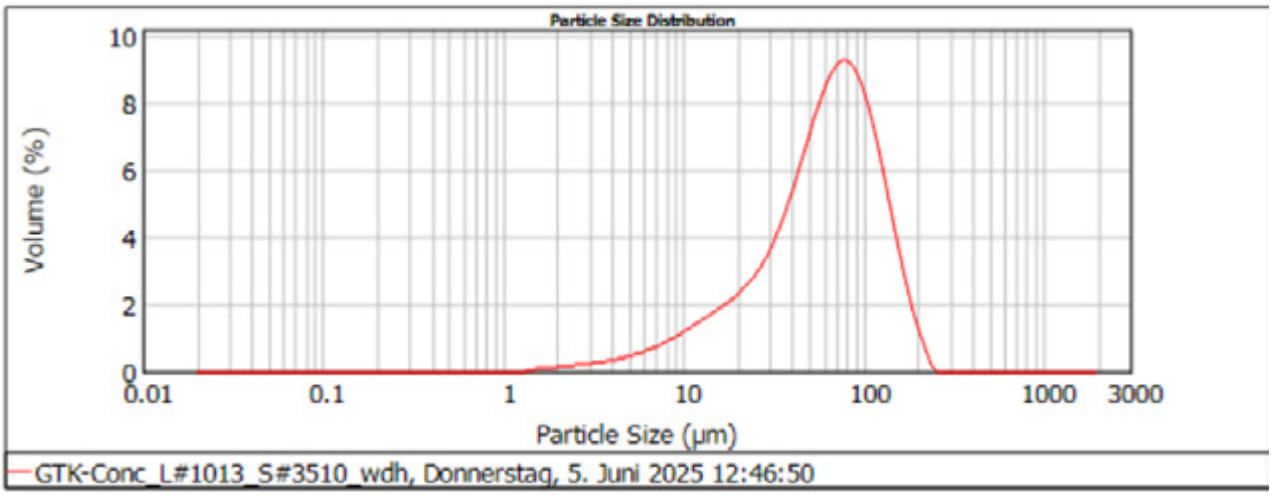
Rikastus aloitettiin murskauksella ja lisäksi näytteille määritettiin kokokiven kemiallinen koostumus. Ennen varsinaisia rikastuskokeita tehtiin jauhatustestejä. Vaahdotuskokeita oli kaikkiaan 30, joissa haettiin sopivia olosuhteita grafiitin rikastamiseen. Pallotusta varten tuotettiin yhteensä 2,269 kg rikastetta (Kuva 77). Materiaali koostettiin rikasteista CC6 sekä korkean hiilipitoisuuden kertausjätteistä CT6 (ks. luku 7.4.3). Materiaalia oli minimimäärä, josta pallotusta oli mahdollista lähteä toteuttamaan.



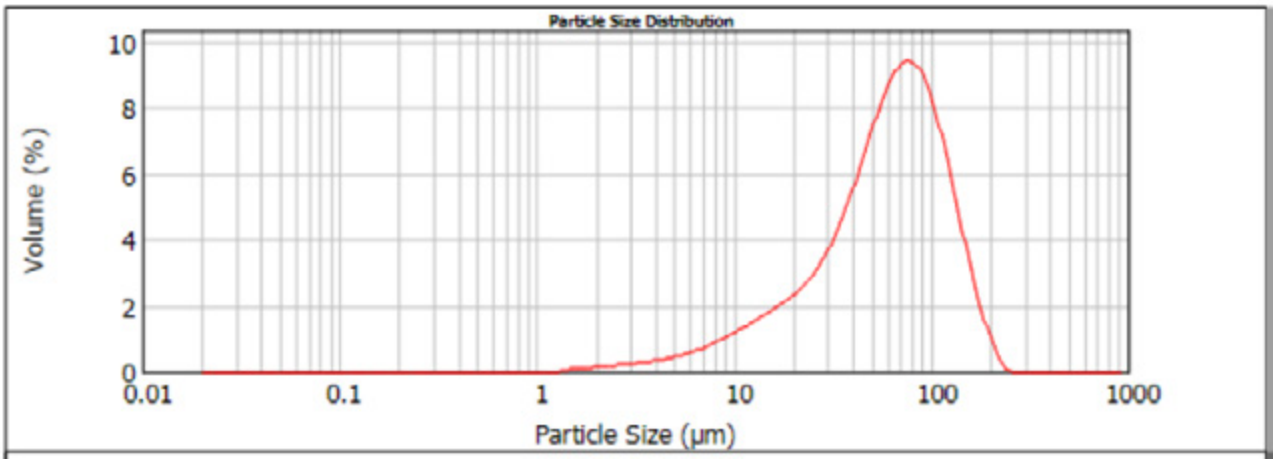
Kuva 77. Grafiittirikaste, valmistettu laboratoriomittakaavan vaahdotuslaitteilla GTK:n Outokummun yksikössä. Partikkelikoko, D50, ts. 50 % > 63,0 µm (ProGraphite GmbH 2025a).

11.3 Pallottaminen ja puhdistus

Grafiitin pallottamisessa suomumainen grafiitti saa pyöristyneen muodon. Tuotteiden partikkelikooksi tavoiteltiin 15 µm ja 20 µm. Pallotusprosessi sisältää mikronisoinnin haluttuihin partikkelimittoihin ja toisella myllyllä tehdyn varsinaisen pallottamisen. Työstettävälle grafiittirikasteelle on vaatimuksena < 150 µm:n raekoon lisäksi korkea hiilipitoisuus 95 p-% C. Pitoisuusmittauksen perustella Saksaan prosessoitavaksi toimitetun näytteen hiilipitoisuus oli 93,06 p-% C (hehkutushäviö, LOI). Tilaustyön tarkoituksena oli tuottaa korkean puhtausasteen anodigrafiittia akkutestaukseen ja tästä syystä rikasteen hiilipitoisuutta oli pyrittävä nostamaan vaadittuun 95 p-%:n pitoisuuteen. Tavoitepitoisuuteen pääsemiseksi rikasteelle tehtiin lisäjauhatus ja vaahdotus. Lisärikastuksella grafiittipitoisuus 95.5 p-%:iin C. Partikkelikoon jakaumassa D50 oli 63,0 µm ja lisärikastetulle tuotteelle vain hieman tätä pienempi 62,1 µm. Lasermitatut partikkelikoon jakaumat ovat kuvissa 78 ja 79 Grafiitin bulkki- ja TAP-tiheydet olivat 408 g/l ja 0,55 kg/l. Lisäksi mitattiin ominaispinta-ala BET2-menetelmällä (Brunauer-Emett Teller), 2,84 m²/g. XRF-analyysin mukaan uudelleen vaahdotetun rikasteen kemiallisessa koostumuksessa oli korkea rautapitoisuus, ja myös piitä ja alumiinia oli varsin runsaasti. Siikalatvan grafiittirikaste oli ominaisuuksiltaan varsin tyypillinen ”195” suomugrafiitti; ainoastaan termogravimetrisessa mittauksessa (TGA) 650 °C:n mittauslämpötilassa hapettumisen aste oli hieman keskimääräistä korkeampi.



Kuva 78. Laserilla mitattu partikkelikoon jakauma pallotukseen toimitetulle rikasteelle.



Kuva 79. Laserilla mitattu partikkelikoon jakauma uudelleen rikastetulle näytteelle.

11.3.1 Mikronisointi

Mikronisointi haluttuihin partikkelikokoihin tehtiin sisäisellä luokittimella varustetulla iskumyllyllä (impact mill). Mylly on jatkuvatoiminen, eli työstettävän mineraaliaineksen määrä pidetään jauhatuskammiossa vakiona. Syötemateriaalina käytetään rikastetta, joka homogenisoidaan ennen myllyyn syöttämistä. Mikronisointi tehtiin kahteen partikkelikokoon tavoitteena valmistaa sekä keskikokoista pallomaista grafiittia (D50 14–16 mikronia) että karkeaa tuotetta (D50 18–22 mikronia). Jauhatusten yhteenvetona Siikalatvan grafiitti mikronisoitui helposti ja suhteellisen pienellä energiankulutuksella. Tuloksena oli tasainen materiaali, joka soveltuu hyvin pallotetun grafiitin tuotantoon.

11.3.2 Pallotus

Pallotukseen käytetään spesifistä jauhinta, jossa kulmikkaista partikkeleista muotoutuu pyöristyneitä partikkeleita. Myllyn sisäinen ilmaluokittelija poistaa hienojakoisen aineen prosessin aikana. Ilmaluokittelijan nopeus (pyörimisnopeus) yhdessä myllyn läpi kulkevan ilmavirran ja ilmaluokittelijan kanssa määräävät poistettavien hienojakoisten aineiden koon. Pallotuksen tavoitteena on tuottaa pyöreitä grafiittihiukkasia, joilla on sekä korkea karkeiden partikkeleiden saanto että tärytiheys (TAP-tiheys) ja kapea partikkelikoon jakauma (pieni D90:D10-suhde). Pallotus tehtiin kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla TAP-tiheys oli hyväksyttävän rajoissa SPG 20 0,93 kg/l ja SPG 15 0,92 kg/l. Toisella pallotuksella TAP-arvot saatiin osin korotettua: SPG 20 -tuotteen tiheys lukuarvoon 0,98 kg/l, mutta tuotteen SPG-tiheys säilyi ennallaan 0,92 kg/l (Taulukko 32).

Taulukko 32. Partikkelikokojakauma ja tärytiheys (TAP-density) toisen pallotusajon jälkeen (ProGraphite 2025a). SPG 20 (syötteen partikkelikoko 21 µm) ja SPG 15 (16 µm).

			Particle Size Distribution			Ratio	Tap Density
Feed Grade	Run	Product	d10	d50	d90	D90/D10	kg/l
SPG21	V889	SPG20	13.0	19.6	29.3	2.3	0.98
SPG16	V887	SPG15	9.0	15.4	26.1	2.9	0.92

11.3.3 Puhdistus

Akkukäyttöön tarkoitetun grafiitin tulee olla erittäin puhdasta, hiilipitoisuus yli 99 p-%. Rikastetun grafiitin epäpuhtaudet ovat tyypillisesti silikaattimineraaleja, yleensä maasälpiä, kvartsia ja kiilteitä (oksidit ja sulfidit saadaan lähes kokonaan poistettua rikasteesta). Puhdistus voidaan tehdä kemiallisesti liuottamalla, myös kuumaklooraauksella tai hehkuttamalla näytettä hapettomassa atmosfäärissä erittäin korkeassa lämpötilassa (2400–3000 °C). Siikalatvan pallotettu grafiitti puhdistettiin kemiallisesti liuottamalla. Menetelminä olivat alkalinen käsittely ja happoliuotus.

Alkalisessa puhdistuksessa käytettiin natriumhydroksidia NaOH ja suolahappoa. Käsittely tehtiin 250 °C:n lämpötilassa ja sen jälkeen suoritettiin happopesu suolahapolla (HCl). Tuote pestiin lopuksi tislatulla vedellä. Näyte puhdistui hyvin alkalisella menetelmällä, ja mitattu grafiittipitoisuus, LOI-arvo oli 99,96 %. Pitoisuus oli jopa parempi kuin pallomaiselle grafiitille vaadittu vähimmäispitoisuus 99,95 %.

Happopuhdistuksessa käytetään pääkemikaalina fluorivetyhappoa (HF), koska se kykenee liuottamaan suurimman osan silikaateista ja monia muita epäpuhtauksia. Myös pieniä määriä muita happoja lisättiin. Hapolla puhdistuksen tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin emäksisen puhdistuksen tulokset: grafiittipitoisuus nousi yli vaaditun pitoisuuden 99,96 %:iin. Kokokivikemian analyysin (XRF) mukaan natriumhydroksidilla paahdetulle ja happopestylle materiaalille korkeimmat pitoisuudet olivat alkuaineille Na, Si, Ti ja Zr, kun taas vetyfluorihapolla käsitellyssä tuotteessa suurimpia pitoisuuksia mitattiin alkuaineille Si, Ti, Mg ja Fe.

Tulosten perusteella käytetyt kemiallisen puhdistuksen alkalinen ja happoliuotusmenetelmä soveltuvat hyvin huippupuhtaan grafiitin valmis-

tamiseen. Molemmilla menetelmillä akkukäytössä kriittiseksi arvioitujen metallien Si, Co, Cr ja Cu pitoisuudet vähenivät vaaditulle matalalle tasolle. Alkalinen puhdistus on näistä kahdesta ympäristöystävällisempi menetelmä. Alkalinen puhdistus tehtiin keskikoon pallotetulle grafiitille (15 µm) ja hapolla puhdistus karkealle tuotteelle (20 µm).

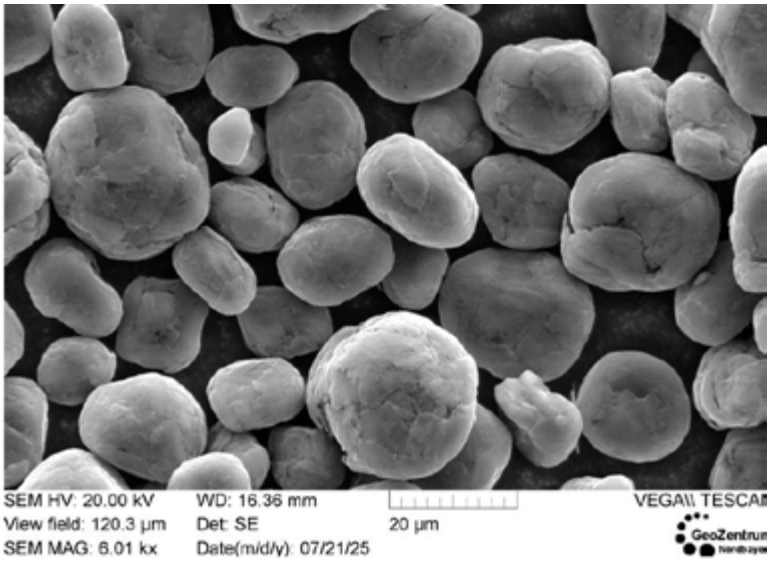
11.4 Hiilellä päällystäminen

Osa pallotetusta grafiitista päällystettiin hiilellä. Menetelmällä lisätään grafiittianodin sähkönjohtavuutta ja parannetaan partikkeleiden kestävyyttä pitkäaikaisen käytön toistuvissa lataus-purkusykleissä. Hiilestettyyn grafiittiin muodostuu myös vähemmän latauskykyä vähentävää SEI-saostumaa (Solid Electrolyte Interphase). SEI-kerros käyttäytyy eristeen kaltaisesti vaikeuttaen sekä elektronien virtaamista elektrolyytistä anodiin että akun varauskykyä. Ilmiö on tyypillinen litiumioniakkujen ensimmäisten latausjaksojen aikana. Anodigrafiitin pintaaminen hiilellä on yleisesti käytössä.

Valmistetut pallotetut tuotteet puolitettiin, joista toinen osa toimitettiin hiilellä pintaamiseen ja toinen puolikas massasta oli tarkoitus toimittaa sellaisenaan akkutestiin. Hiilestykseen toimitettiin 100 g molemmista näytteistä, SPG 20 (19.7 d50 (µm)) ja SPG 15 (15.1 d50 (µm)). Hiilestys sisälsi päällystämisen ja termisen käsittelyn. Molemmissa näytteissä käytettiin 6 % pihkaa näytteen massaa kohti, jotta partikkelien ominaispinta-alan tavoitearvo 2–3 m^2/g saavutettaisiin. Ominaispinta-alan pieneneminen on selvästi havaittavissa molemmissa näytteissä SPG 20 2,4 m^2/g (6,8 m^2/g ennen pinnoittamista) ja SPG 15 2,8 m^2/g (7,1 m^2/g). Pinnoite lisäsi tärytystiheyden (TAP-density) lähelle optimiarvoa 1, SPG 20 1,11 kg/l ja SPG 15 0,99 kg/l. Pinnoite tehtiin ohuella pihkakerroksella (amorfinen hiili). Orgaaninen hiilikerros saadaan sähköä johtavaksi lämpökäsittelyllä. Kuumennus suoritettiin noin 1300 °C:n lämpötilassa inertissä ilmakehässä (ProGraphite GmbH 2025b).

11.5 Anodigrafiitti

Siikalatvan grafiittista oli tuotettavissa laboratoriomittakaavassa varsin tyypillistä puhdistettua pallotettua grafiittia. Rikasteen hiilipitoisuus saatiin uudelleen rikastamalla nostettua vaadittuun 95 p-%:iin C. Mikronisoinnin jälkeen raekokojakauma D50 oli kahdelle tavoitellulle tuotteella 21,6 µm ja 16,8 µm. Pallotuksen jälkeen partikkelien D50 oli karkealle tuotteelle hieman pienempi 19,6 µm (TAP-tiheys 0,98) ja samoin kuin pienemmän partikkelikoon materiaalilla 15,4 µm (TAP-tiheys 0,92) (Kuva 80). Molemmat raekoot ovat tyypillisiä akkuanodeissa. Puhdistus tehtiin 15 µm:n tuotteelle alkalimenetelmällä (NaOH-paahto + HCl-liuotus). Tuotteen hiilipitoisuus oli hieman korkeampi 99,96 p-% kuin vaadittu taso 99,95 p-% (LOI % C). Karkeampi 20 mikronin materiaali käsiteltiin vetyfluorihapolla (HF). Materiaalin puhtaus nousi 99,96 p-%:iin (LOI % C). Pallotetun tuotteen massasaanto mikronisoinnin syötteeseen verrattuna oli SPG 15 -materiaalille 43 % ja SPG 20:lle 45 %. Hiilestyksen jälkeen tuotetta oli noin 60 % lähtömateriaalin massaan verrattuna. Akkutestaukseen toimitettiin 103 g 15 µm:n raekoon pallotettua grafiittia (SPG15 RV349) ja 104 g 20 µm:n raekoon materiaalia (SPG 20 HR273) sekä näistä valmistettuja hiilestettyjä tuotteita, 60 g 15 µm:n partikkelikoossa tuotetta (SPG 15 gecoated) ja 62 g 20 µm:n partikkelikoossa (SPG 20 gecoated).



Kuva 80. Pallotettua Siikalatvan grafiittia. Tuotteen partikkelikoko D50 oli 19,6 µm ja TAP-tiheys 0,98 kg/l ja hiilipitoisuus oli 99,96 p-% (LOI % C). ProGraphite GmbH 2025a.

11.6 Akkutestin tulokset

Anodigrafiitin sähkökemiallisten ominaisuuksien mittaus tehtiin Oulun yliopiston toimesta Kokkolan kampuksen akkutestauslaboratoriossa. Akkutestit suoritettiin puolikennoilla, pisin testi oli 4 varaus-purkusykliä. Testin tulos oli keskimääräistä parempi: kaikkien testattujen näytteiden varauskapasiteetti oli käytettyä kaupallista referenssiä parempi (Hitachi Chemical Co synteettinen grafiitti, purkukapasiteetti 362 Ah kg-1). Tarkemmat akkutestauksen tulokset esitetään liitteessä 8.

LÄHDE- JA KIRJALLISUUSLUETTELO

360 Research Reports 2026. Expandable Graphite Market Overview. Saatavissa: https://www.360researchreports.com/market-reports/expandable-graphite-market-203445 [Viitattu 30.1.2026]

Advanced Energy Technologies 2023. Energy News Monitoring. Graphite: resources, production and prospects. Saatavissa: https://aenert.com/news-events/energy-news-monitoring/n/graphite-resources-production-and-prospects/ [Viitattu 23.11.2025]

Ahtola, T. & Kuusela, J. 2015. Esiselvitys Suomen grafiittipotentiaalista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 88/2015. 14 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/88_2015.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Ahtola, T., Lerssi, J. & Al-Ani, T. 2024. Grafiittitutkimukset Rautalammin Käpysuolla vuosina 2016–2019. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 24/2024 24 s., 124 liites. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/24_2024.pdf [Viitattu 30.1.2026]

Al-Ani, T. & Sarapää, O. 2016. Mineralogy and geochemistry of flake graphite occurrences in Joutsijärvi, Northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 55/2016. 39 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/55_2016.pdf [Viitattu 30.1.2026]

Al-Ani, T., Sarapää, O. & Lintinen, P. 2016. Mineralogy, petrography and geochemistry of Venejärvi, Tervola, Rytijänkä and Jaurujoki graphite schists and gneisses in Northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 54/2016. 17 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/54_2016.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Allaire, A., Cassoff, J., Martel, B.-O., Martel Inc, Pg. B. & Fortier, S. 2025. NI 43-101 Updated Technical Feasibility Study Report for the Matawinie Mine and the Bécancour Battery Material Plant Integrated Graphite Projects.

Alviola, R. & Nurmela, P. 1994. Tutkimustyöselostus Luopioisten kunnassa, valtausalueella Niinimetsä 1, kaiv.rek. n:o 4701/1, suoritetuista tutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, valtausraportti M06/2132/-94/1/81. 11 s., 18 liites. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_2132_94_1_81.pdf [Viitattu 31.1.2026]

AMC Consultants 2025. Graphite. Saatavissa: https://www.amcconsultants.com/graphite-and-amc [Viitattu 2.12.2025]

Aurola, E. 1965. Selostus Merijärvellä suoritetuista grafiittitutkimuksista keväällä 1965. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M17/Mj-65/1/81. 18 s., 20 liitettä. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m17_mj_65_1_81.pdf [Viitattu 30.1.2026]

Barre, F. I., Billy, R. G., Lopez, F. A. & Müller, D. B. 2024. Limits to graphite supply in a transition to a post-fossil society. Resources Conservation and Recycling 208. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107709 [Viitattu 24.11.2025]

Benchmark 2024. Synthetic anode material average prices tip below natural graphite for first time in over three years. Benchmark Intelligence. Saatavissa: https://intelligence.benchmarkminerals.com/article/synthetic-anode-material-average-prices-tip-below-natural-graphite-for-first-time-in-over-three-years [Viitattu 12.2.2026]

Benchmark 2025. Graphite Battery Landscape Map. Saatavissa: https://source.benchmarkminerals.com/publications/special-issues/1313805 [Viitattu 25.11.2025]

Carrère, T., Khalid, U., Baumann, M., Bouzidi, M. & Allard B. 2024. Carbon footprint assessment of manufacturing of synthetic graphite battery anode material for electric mobility applications. Journal of Energy Storage 94. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112356 [Viitattu 14.1.2026]

Cefai, S., Wang, V. & the Fastmarkets team 2025. African graphite supply in 2025: Market shifts, challenges and strategic importance. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/african-graphite-supply-in-2025-market-shifts-challenges-and-strategic-importance/ [Viitattu 7.1.2025]

Chao, T. T. & Sanzolone, R. F. 1977. Chemical dissolution of sulphide minerals. Journal of Research of the U.S. Geological Survey 5(4), 409–412.

Chico, C. 2026. 2025 was the year battery execution became real in Europe. The Battery Chronicle. Saatavissa: https://christopherchico.

substack.com/p/2025-was-the-year-battery-execution [Viitattu 6.1.2026]

Data Bridge Market Research 2025. Global Micronized Graphite Powder Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2032. Saatavissa: https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-micronized-graphite-powder-market

De Vos, W. & Tarvainen, T. (toim.) 2006. Geochemical Atlas of Europe, Part 2 – Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications. Geologian tutkimuskeskus. 690 s. Saatavissa: http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/

Dhir, S., Cattermull, J., Jagger, B., Schart, M., Olbrich, L. F., Chen, Y., Zhao, J., Sada, K., Goodwin, A. & Pasta, M. 2024. Characterisation and modelling of potassium-ion batteries. Nat Commun 15, 7580 (2024). Saatavissa: https://doi.org/10.1038/s41467-024-51537-w [Viitattu 23.11.2025]

Doležal, J., Povondra, P. & Sulcek, Z. 1968. Decomposition techniques in inorganic analysis. London: Iliffe Books Ltd. 224 s.

East Carbon 2024. Expanded Graphite – The Ultimate Guide. Saatavissa: https://www.eastcarb.com/expanded-graphite/ [Viitattu 10.12.2025]

ECGA 2025. European Carbon and Graphite Association (ECGA). Saatavissa: https://ecga.net/ [Viitattu 14.1.2026]

EIP 2024. Saatavissa: https://environmentalintegrity.org/news/petroleum-refinery-waste-processed-without-pollution-controls-in-disadvantaged-communities/ [Viitattu 14.1.2026]

El-Rassi, D., Masun, K. M. & Comeau, G. 2024. Technical Report on the Lac-des-Îles Graphite Mine, Québec, Canada. Report for NI 43-101 Northern Graphite Corporation. SLR Consulting (Canada) Ltd. & Soutex Inc. Saatavissa: https://minedocs.com/26/Northern-Graphite_-TR-12312023.pdf

Euroopan komissio 2020. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability. COM/2020/474 final. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=%20CELEX:-52020DC0474 [Viitattu 26.11.2025]

Euroopan komissio 2024. Critical Raw Materials Act. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj/eng#:~:text=Regulation%20%28EU%29%202024%2F1252%20of%20the%20European%20Parliament%20and,2018%2F1724%20and%20%28EU%29%202019%2F1020%20%28Text%20with%20EEA%20relevance%29 [Viitattu 25.11.2025]

Fastmarkets 2023. Chinese export controls highlight European graphite supply partnership launch. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/chinese-export-controls-highlight-european-graphite-supply-partnership-launch/ [Viitattu 26.11.2025]

Fleming, D. & Measham, T. 2014. Local job multipliers of mining. Resources Policy 41, 9–15.

Gaia Consulting Oy 2019. AA Sakatti Mining Oy:n ympäristövaikutusten arviointi – Liite 22: Aluetalousvaikutusten arviointi. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/LAPPI_Liite_22_Gaia_Aluetalousarvio.pdf [Viitattu 05.06.2026]

Gautneb, H., Rønning, J. S., Enqvik, A. K., Henderson, I. H. C., Larsen, B. E., Solberg, J. K., Ofstad, F., Gellein, J., Elvebakk, H. & Davidsen, B. 2020. The Graphite Occurrences of Northern Norway, a Review of Geology, Geophysics, and Resources. Minerals 10(7), 626. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/min10070626

Georgiev, G. 2023. Spherical natural graphite prices plunge to 11-year lows on more competition from synthetic graphite. Fastmarkets. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/spherical-natural-graphite-prices-plunge-11-year-lows/ [Viitattu 6.1.2026]

Gignac, L., Marchand, R., Ménard, R., Phillips, A. & Aiken, S. R. 2012. Feasibility Study Bissett Creek Graphite Project Ontario, Canada. Northern graphite 1. Saatavissa: www.northerngraphite.com

Golder 2020. Avfallshanteringsplan Nunasvaara Södra. Saatavissa: https://talgagroup.eu-central-1.linodeobjects.com/app/uploads/2023/06/15123136/Bilaga-C-Avfallshanteringsplan.pdf

Goodall, W. 2009. What is a theoretical grade-recovery curve? An example. Verkkoläh-de. Saatavissa: https://minassist.com.au/what-is-a-theoretical-grade-recovery-curve-an-example/ [Viitattu 29.05.2026]

Grafintec Oy 2025. Malminetsintähankkeet. Saatavissa: https://www.grafintec.fi/malminetsintahankkeet/ [Viitattu 19.6.2025]

Grafintec Oy 2026a. [Verkkosivu]. Saatavissa: https://www.grafintec.fi/ [Viitattu 31.3.2026]

Grafintec Oy 2026b. Grafiittianodimateriaalitehdas (GAMP). Saatavissa: https://www.grafintec.fi/grafiittianodimateriaalitehdas-gamp/ [Viitattu 30.5.2026]

Graphite facts 2023. Government of Canada. Saatavissa: https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/graphite-facts [Viitattu 22.11.2025]

He, L., Wei, S., Zhang, X., Wang, S., Xia, Y., Ni, Z., Li, C., Dong, W., Shen, D. & Yang, S. 2025. Research progress on high-rate graphite anode materials for lithium-ion batteries. Journal of Energy Storage 111. 115426. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.est.2025.115426 [Viitattu 31.3.2026]

Hebestreit, C. 2021. The Importance of Critical Raw Materials Through the Eyes of Organized Civil Society: The Case of Graphite. ECGA.

Hotter, A. 2023. Graphite escalates the Battery War – Hotter Commodities. Fastmarkets. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/graphite-escalates-the-battery-war-and-rea-hotter/ [Viitattu 6.1.2026]

IEA 2024. Global Critical Minerals Outlook 2024. International Energy Agency, IEA. Saatavissa: https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeeac-9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf [Viitattu 8.1.2026]

IEA 2025a. World Energy Outlook. Saatavissa: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025 [Viitattu 23.11.2025]

IEA 2025b. ETP Clean Energy Technology Guide. Saatavissa: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide?layout=list&selectedTechID=300bc-doc [Viitattu 9.1.2026]

Indiamart 2026. High Purity Micronized Flake Graphite. Saatavissa: https://www.indiamart.com/proddetail/high-purity-micronized-flake-graphite-17943649297.html [Viitattu 30.9.2026]

Intercalation Station 2024. The World of Graphite. Saatavissa: https://intercalationstation.substack.com/p/the-world-of-graphite [Viitattu 2.12.2025]

International Graphite 2025. The Australian link in global graphite supply. Saatavissa: https://www.internationalgraphite.com.au/ [Viitattu 9.1.2026]

IPCEI 2024. Battery Cell Production in Europe. Market Analysis Update Q2 2024. Saatavissa: https://www.ipcei-batteries.eu/fileadmin/Images/accompanying-research/publications/2024-05-BZF_Kurzinfo_Marktanalyse_Q2_engl.pdf [Viitattu 25.11.2025]

Jacob Robin, R. 2024. Viability and Eco-Consequences of Synthetic and Natural Graphite for Lithium-Ion Battery Anodes in the USA. Julkaisussa: IEEE Engineering Management Review 52(3). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 131–147. Saatavissa: https://doi.org/10.1109/EMR.2024.3372697

Jinsun Carbon 2024. What Is the Graphite Powder Price? Saatavissa: https://jinsuncarbon.com/graphite-powder-price/ [Viitattu 9.1.2026]

Kamal, A. 2024. Hydrofluoric Acid's Safe Utilization for Natural Graphite Purification. Conference paper. 12 s. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/382994212_Hydrofluoric_Acid%27s_Safe_Utilization_for_Natural_Graphite_Purification [Viitattu 3.12.2025]

Karlsson, T., Räisänen, M. L., Lehtonen, M. & Alakangas, L. 2018. Comparison of static and mineralogical ARD prediction methods in the Nordic environment. Environmental Monitoring and Assessment 190, 719. doi:10.1007/s10661-018-7096-2

Kauppila, T. (toim.) 2015. Hyviä käytäntöjä kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 222. 141. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_222.pdf

Kmeťová, E., Kačík, F., Kubovský, I. & Kačíková, D. 2022. Effect of Expandable Graphite Flakes on the Flame Resistance of Oak Wood. Coatings 12(12), 1908. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/coatings12121908 [Viitattu 10.12.2025]

Koljonen, T. 1992. Suomen geokemian atlas, osa 2: Moreeni = The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geologian tutkimuskeskus. 218 s., 9 liitettä. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_008.pdf

Konnunaho, J., Eerola, T., Karinen, T., Niiranen, T., Nykänen, V., Rasilainen, K., Salmirinne, H., Törmänen, T., Arvola, V., Aarrevaara, T., Tulppo, P., Vaaramaa-Hiltunen, M. & Ohrankämmen, V. 2021. Malminetsintä ja Itä-Lapin mineraalipotentiaali sekä niiden aluetaloudelliset vaikutukset ja hyödyntäminen alueen elinkeinoelämässä. Summary: Ore

exploration and the mineral potential of Eastern Lapland and their regional economic impacts and utilization in the economic life of the region. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 62/2021. 149 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/62_2021.pdf

Konnunaho, J., Jäsberg, J., Häkkinen, T., Järvinen, V., Kinnunen, M., Kujasalo, J.-P., Kurhila, M., Laitala, J., Leskelä, T., Lintinen, P., Luoto, T., Multanen, J., Nenonen, J., Pirinen, H., Romppanen, S., Törmänen, T., Valasti, P., Kaunismäki, J., Telkkälä, P., Vuohelainen, J., Rauhala, J. & Haavikko, S. 2026a. Geological and mineral potential Investigations in the Northwestern part of the Raahe-Ladoga zone, Northern Ostrobothnia, Central Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti. (tekeillä)

Konnunaho, J., Lahti, I., Rauhala, A. & Tuomela, A. 2026b. Assessment of Graphite Potential in the Siikalatva Area, Central Finland, EGU General Assembly 2026, Vienna, Austria, 3–8 May 2026, EGU, 26-3275. Saatavissa: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu26-3275

Korpela, M., Rauhala, A. & Tuomela, A. 2026a. Grafiitti ja sen hyödyntäminen: analyysi Suomen näkökulmasta. Saatavissa: https://www.oulu.fi/fi/projektit/siikalatvan-grafiitti-vihrean-siirtyman-raaka-aineena

Korpela, M., Rauhala, A. & Tuomela, A. 2026b. Näkökulmia grafiitin hyödyntämiseen Siikalatvan kunnassa. Saatavissa: https://www.oulu.fi/fi/projektit/siikalatvan-grafiitti-vihrean-siirtyman-raaka-aineena

Koskela, E. & Lerssi, J. 2024. Sähkömagneettiset minislingram (GEM-2)-mittaukset GTK:n grafiittitutkimuskohteilla vuosina 2021, 2022 ja 2023. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 83/2023. 48 s., 1 liite. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/83_2023.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Kupukan Grafiitti Oy 2025. Kupukan grafiitti-projekti. Saatavissa: https://www.kupukan-grafiitti.fi/kupukan-grafiittiprojekti/ [Viitattu 19.6.2025]

Kupukan Grafiitti Oy 2026a. [Verkkosivu]. Saatavissa: https://www.kupukangrafiitti.fi/ [Viitattu 31.3.2026]

Kupukan Grafiitti Oy 2026b. Kupukan Grafiitti Oy:n arvio mahdollisista varannoista 30.1.2026. Saatavissa: https://www.kupukangrafiitti.fi/ajankohtaista/

Lahtinen, R. 1994. Crustal evolution of the Svecofennian and Karelian domains during 2.1–1.79 Ga, with special emphasis on the geochemistry and origin of 1.93–1.91 Ga gneissic tonalites and associated supracrustal rocks in the Rautalampi area, central Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 378. 128 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/bulletin/bt_378.pdf

Lapin kauppakamari / FCG Rakennettu Ympäristö Oy 2026. Lapin kaivostoiminnan talous-, työllisyys- ja verotulovaikutukset selvitys 2026. Saatavissa: https://lapland.chamber.fi/wp-content/uploads/2026/04/Lapin-kauppakamari_Selvitys-Lapin-kaivostoiminnan-talous-tyollisyys-ja-verotulovaikutuksista-2024.pdf [Viitattu 16.5.2026]

Leinonen, S. 2023. Production of purified spherical graphite. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 64/2023. 8 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/64_2023.pdf [Viitattu 30.1.2026]

Leinonen, S. 2024a. Valtakunnallinen grafiittipotentiaalin kartoitus 2020–2022 Loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 72/2023. 259 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/72_2023.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Leinonen, S. 2024b. Valtakunnallisen grafiittipotentiaalin täydentävä kartoitus 2023. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 89/2023. 28 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/89_2023.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Leinonen, S. 2024c. Grafiittitutkimus Luopioisissa 2019–2021 Takkulan ja Jylhän esiintymät. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 71/2023. 161 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/71_2023.pdf [Viitattu 30.1.2026]

Leinonen, S. 2026. Anodimateriaalin valmistus Siikalatvan grafiitista ja akkutestaus. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 14/2026. 6 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/14_2026.pdf [Viitattu 1.10.2026]

Leinonen, S., Al-Ani, T., Konnunaho, J., Korhonen, T. & Heikkilä, P. 2026. Mineralogical investigations of natural graphite from Siikalatva and industrial graphite waste from steelmaking processes. Geologian tutkimuskeskus, Työraportti 31/2026. 41 s., 5 liitettä. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/31_2026.pdf [Viitattu 29.9.2026]

Lu, X. J. & Forssberg, E. 2002. Preparation of high-purity and low-sulphur graphite from

Woxna fine graphite concentrate by alkali roasting. Minerals Engineering 15(10), 755–757. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/S0892-6875(02)00172-3 [Viitattu 3.12.2025]

Market Growth Reports 2025. Spherical Graphite Market. Saatavissa: https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/spherical-graphite-market-103408 [Viitattu 8.1.2026]

Mazela, B., Batista, A. & Grześkowiak, W. 2020. Expandable Graphite as a Fire Retardant for Cellulosic Materials – A Review. Forests 11(7), 755. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/f11070755 [Viitattu 9.12.2025]

Merchichi, A., Mailloux-Keroack, G.-É., Coudert, L., Bazin, C. & Boulanger, J.-F. 2026. Graphite processing from beneficiation to final product: a review focused on purification of natural and recycled materials, Separation and Purification Technology 380, Part 2, 135068. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.135068 [Viitattu 2.12.2025]

Mineral Commodities 2020. Highly prospective graphite exploration project secured 20 km from Skaland. Saatavissa: https://www.mineralcommodities.com/wp-content/uploads/2020/07/Bukken-Graphite-Prospect.pdf

Mineral Commodities 2025. Skaland Graphite Operation. Saatavissa: https://www.mineralcommodities.com/operations-projects/graphite/norway/ [Viitattu 19.6.2025]

Mitchell, C. 1992. Industrial Minerals Laboratory Manual: Flake graphite. Nottingham, UK: British Geological Survey. 35 s.

Mitchell, C. 2023. Graphite in Africa – Carbon for decarbonization. British Geological Survey. Saatavissa: https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/534022/1/Graphite%20in%20Africa%20Clive%20Mitchell%202022.pdf [Viitattu 25.11.2025]

Mitchell, C. & Deady, E. 2021. Graphite resources, and their potential to support battery supply chains, in Africa. British Geological Survey Open Report OR/21/039. 30 s. Saatavissa: https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/531119/1/Graphite%20supply%20chains%20in%20Africa_Report.pdf [Viitattu 25.11.2025]

Moritz, T., Ejdemo, T., Söderholm, P. & Wårell, L. 2017. The local employment impacts of mining: an econometric analysis of job multipliers in northern Sweden. Miner Econ 30, 53–65.

NATO 2024. List of 12 defence-critical raw material. Saatavissa: https://www.nato.int/en/news-and-events/articles/news/2024/12/11/nato-releases-list-of-12-defence-critical-raw-materials [Viitattu 19.6.2026]

Niu, B., Xiao, J. & Xu, Z. 2022. Advances and challenges in anode graphite recycling from spent lithium-ion batteries. Journal of Hazardous Materials 439. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129678

Northern Graphite 2025a. Bisset Creek. Saatavissa: https://www.northerngraphite.com/bissett-creek/ [Viitattu 19.6.2025]

Northern Graphite 2025b. Perspectives No. 10. Lac.des-Iles Graphite Mine Marks 35 Years. Saatavissa: https://www.northerngraphite.com/perspectives-no-10-ldi-special-report/

Nouveau Monde Graphite 2025. GRAPHITE 101, Introduction to the graphite market and associated opportunities. Saatavissa: https://nmg.com/wp-content/uploads/2023/06/NMG-Graphite-101.pdf [Viitattu 25.11.2025]

OEC 2023. Graphite. The Observatory of Economic Complexity (OEC). Saatavissa: https://oec.world/en/profile/hs/graphite [Viitattu 25.11.2025]

OEC 2024. Graphite in South Korea. The Observatory of Economic Complexity (OEC). Saatavissa: https://oec.world/en/profile/bilateral-product/graphite/reporter/kor [Viitattu 25.11.2025]

Oka, H., Kadoura, H., Takahashi, N. T. & Ikawa, T. 2022. Effect of amorphous carbon coating on the formation of solid electrolyte interphase and electrochemical properties of a graphite electrode. Journal of Power Sources 543, 231850. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231850 [Viitattu 8.12.2025]

Ouerghi, D. 2024. Graphite remains on European Commission's CRMA strategic list but 'resilient' supply chain still needed. Fastmarkets. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/graphite-on-european-commissions-crma-strategic-list-but-resilient-supply-chain-needed/ [Viitattu 5.1.2026]

Pan, S. 2024. China grants graphite export approval to South Korea but concerns remain. Fastmarkets. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/china-grants-graphite-export-approval-to-south-korea/ [Viitattu 14.1.2026]

Pang, X., Yang, J., Pang, M., He, J., Yang, W., Qin, H. & Zhan, Y. 2019. Adsorption and migration behavior of molybdenum atom on graphite

(0001) surface. Applied Surface Science, 470, 1064–1070.

Peltoniemi, M. 1988. Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Otakustantamo 1988. 411 s.

Price, F., Montgomery, G. & Estorninos, A. 2026. Graphite CBS January 2026 – Prices stagnant despite positive demand signals. S&P Capital IQ Pro. Saatavissa: https://www.capitaliq.spglobal.com/apisv3/spg-webplatform-core/news/article?id=97513238&KeyProductLinkType=0&redirected=1 [Viitattu 29.1.2026]

Price, W. A. 2009. Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulfidic Geologic Materials. Natural Resources Canada. MEND Report 1.20.1. 579 s.

ProGraphite GmbH 2025a. Production of purified spherical graphite from graphite. Provided by Geological Survey of Finland. 21 s., 2 liitettä. (julkaisematon raportti)

ProGraphite GmbH 2025b. Report on Coating and Carbonization of two purified spherical graphite samples for Geological Survey of Finland. 7 s. (julkaisematon raportti)

Puolanne, J., Pyy, O. & Jeltsch, U. 1994. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti. Muistio 5/1994. Helsinki: Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto.

Puronaho, L. 2018. Structural interpretation of graphite-bearing black schist in Aitolampi area, Eastern Finland. Master's thesis, Åbo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Geology and Mineralogy. 64 s., 4 liitettä. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018042418403 [Viitattu 30.1.2026]

Ramboll Finland Oy 2020. Sakatti YVA Liite 21: Sakatin aluetalousvaikutukset paikallisesti, alueellisesti ja kansallisesti. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/LAPPI_Liite_21_Aluetalousvaikutukset.pdf

Research and Markets 2025. The Global Graphite Market 2026–2036. Dublin, Oct. 07, 2025 (GLOBE NEWSWIRE), Saatavissa: https://www.researchandmarkets.com/report/graphite#product--related-products [Viitattu 14.1.2026]

Sarapää, O. 1987a. Tutkimustyöselostus Kiihtelysvaaran kunnassa valtausalueella Hyypiä 1, kaiv.rek. n:o 3393/1 suoritetuista grafiittitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, valtausraportti M06/4241/-87/1/81. 4 s., 5 liitettä. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_4241_87_1_81.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Sarapää, O. 1987b. Tutkimustyöselostus Juuan kunnassa valtausalueella Polvela 1, kaiv. rek. n:o 3388/1 suoritetuista grafiittitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, valtausraportti M06/4311/-87/1/81. 3 s., 7 liitettä. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_4311_87_1_81.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Sarapää, O. 1989. Grafiittitutkimukset Kiteen Jurikassa kesällä 1983. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/4231/-89/1/81. 2 s. 1 liite. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_4231_89_1_81.pdf [Viitattu 20.1.2026]

Schwartz, M. O. 2000. Cadmium in zinc deposits: economic geology of a polluting element. International Geology Review 42(5), 445–469.

Seitsaari, M., Leinonen, S., Kaisanlahti, S. & Luukkanen, S. 2025. Takkula Deposit Flake Graphite Ore Process Development and Refinement. doi:10.2139/ssrn.5311620. Saatavissa: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5311620 [Viitattu 30.1.2026]

Seppä, V.-M., Makkonen, H. & Kekki, J.-M. 2026. JORC 2012 Technical Report and Exploration Target Report on the Kupukka Graphite Deposit, Siikalatva, Finland. AFRY Fibnland Oy, s. 136. Saatavissa: https://www.malmitutkimus.fi/app/uploads/sites/3/2026/02/Kupukka_JORC_2026-02-24_online.pdf [Viitattu 2.9.2026]

SFS-EN 15875. Characterization of waste. Static test for determination of acid potential and neutralization potential of sulfidic waste.

Srivalli, K. V. 2025. Top 10 Battery Manufacturers in Europe (2026). Blog. Saatavissa: https://www.blackridgeresearch.com/blog/latest-list-of-largest-top-battery-manufacturers-manufacturing-companies-in-europe [Viitattu 6.1.2025]

Stellar Market Research 2024. Graphite Market Emerging Opportunities and Market Forecast (2026–2032). Saatavissa: https://www.stellarmr.com/report/Graphite-Market/334 [Viitattu 23.11.2025]

Stinton, C., Holmström, H., Gosselin, M. & Reed, E. G. 2021. NI 43-101 Technical report – Woxna Graphite. Saatavissa: https://www.minedocs.com/21/Woxna-PEA-06092021.pdf

Sun, M., Zhao, D., Zhang, F., Yu, Z., Chen, Y., Wang, Y. & Liu, Z. 2023. Expanded graphite and thermally reduced graphene oxide fil-

led with NiCo2O4 for improve microwave absorption. Materials Chemistry and Physics 305. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127898 [Viitattu 31.3.2026]

Sunlight, X. 2024. Global Graphite Production and Reserves: China Dominates Market Amid Surge in Electric Vehicle Battery Demand. NAI500, NAI Interactive Ltd. Article. Saatavissa: https://nai500.com/blog/2024/08/global-graphite-production-and-reserves-china-dominates-market-amid-surge-in-electric-vehicle-battery-demand-2/ [Viitattu 22.1.2026]

Suomen kallioperä – DigiKP. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [Viitattu 20.1.2026]. Versio 2.1.

Talga AB 2021. Robust Vittangi Anode Project DFS. s. 25. Saatavissa: https://talgagroup.eu-central-1.linodeobjects.com/app/uploads/imports/asx-announcements/47146b39-9c1e-42ef-830e-15ef895e5b63/RobustDFSPavesWayForTalgaBatteryAnodeProject.pdf

Talga AB 2023. Ruotsin Maa- ja ympäristötuomioistuimen päätös ympäristölupahakemuksesta. Umeå-TR-M-1573-20-Deldom-2023-04-05. Saatavissa: https://talgagroup.eu-central-1.linodeobjects.com/app/uploads/sites/2/2023/06/15063957/Umea%CC%8A-TR-M-1573-20-Deldom-2023-04-05.pdf

Talga AB 2025. Our operations. Vittangi. Saatavissa: https://www.talgagroup.com/our-operations/vittangi/ [Viitattu 19.6.2025]

Tilastokeskus 2026. Jätetilasto. Saatavissa: https://stat.fi/fi/tilasto/jate [Viitattu 13.9.2026]

Todd, J., Somrit, C., Greenwood, J., Phillips, S., Palo, D. R., Godwin, J., Dixon, A. P. & Retherford, R. M. 2025. Graphite Creek Project NI 43-1010 Technical Report and Feasibility Study. Saatavissa: https://www.graphiteoneinc.com/wp-content/uploads/2025/04/NI-43101_FS_Report_20250422_Final.pdf

Ulusoy, U., Burat, F., Bayar, G., Mojtahedi, B. & Guven, G. 2024. Characterization and comparison of the particle shape of micronized graphite ground in different mills using DIA, 142–147. Saatavissa: https://doi.org/10.5937/IMPRC25142U [Viitattu 9.1.2026]

USGS 2023. Mineral commodity summaries 2023. 210 s. Saatavissa: https://doi.org/10.3133/mcs2023 [Viitattu 14.1.2026]

USGS 2024. Mineral Commodity Summaries 2024. Mineral Commodity Summaries. U.S Geological Survey. Saatavissa: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf [Viitattu 14.1.2026]

Vihanta, A. 2026. Keliberin urakoitsijalla on kaivoksella jo 80 työntekijää – yhtiö haluaa palkata mahdollisimman paljon paikallisia. Yle uutiset. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20206414 [Viitattu 20.1.2026]

Västi, K. 2012. F028 Vihanti-Pyhäsalmi Zn-Cu. Julkaisussa: Eilu, P. (toim.) Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 272–275. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_053_pages_272_275.pdf

Wang, V. 2024. Poor demand for natural graphite flake fines tightens large flake graphite supply. Fastmarkets. Saatavissa: https://www.fastmarkets.com/insights/poor-demand-natural-graphite-flake-china/ [Viitattu 6.1.2026]

Weber, L. 2023. On the security of graphite supply. Mineralogy and Petrology 117(2), 387–399. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s00710-023-00816-3

Wen, Y., He, K., Zhu, Y., Han, F., Xu, Y., Matsuda, I., Ishii, Y., Cumings, J. & Wang, C. 2014. Expanded graphite as superior anode for sodium-ion batteries. Nat Commun 5, 4033. Saatavissa: https://doi.org/10.1038/ncomms5033 [Viitattu 10.12.2025]

Wills, B. A. & Napier-Munn, T. 2005. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. (7. painos), sivu 268. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4450-1.X5000-0

Wood Mackenzie 2024. Graphite: 5 things to look for in 2024. Saatavissa: https://www.woodmac.com/news/opinion/metals-and-mining-2024-outlook/graphite/ [Viitattu 10.12.2025]

Wu, J. 2025. 10 China supply chain winners after Ottawa's graphite bet. NAI500, NAI Interactive Ltd. Article. Saatavissa: https://nai500.com/blog/2025/11/10-china-supply-chain-winners-after-ottawa-s-graphite-bet/ [Viitattu 22.1.2026]

Xinhai 2020. Five Methods for Flake Graphite Ore Purification. Shandong; Xinhai Mining Technology & Equipment Inc. Saatavissa: https://www.xinhaimining.com/newo/five-met-

hods-for-flake-graphite-ore-purification.html [Viitattu 3.12.2025]

Yap, Y. W., Mahmed, N., Norizan, M. N., Abd Rahim, S. Z., Ahmad Salimi, M. N., Abdul Razak, K., Mohamad, I. S., Abdullah, M. M. A.-B. & Mohamad Yunus, M. Y. 2023. Recent Advances in Synthesis of Graphite from Agricultural Bio-Waste Material: A Review. Materials 16(9), 3601. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/ma16093601 [Viitattu 25.11.2025]

Yleisradio Oy 2024. Epsilonin anoditehdas lisäisi merkittävästi liikennettä Vaasassa, osoittaa yva-selostus. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20170390 [Viitattu 20.1.2026]

Yleisradio Oy 2025. Kotkaan suunnitellaan uutta satojen miljoonien eurojen akkualan tehdasta – luvassa jopa 250 työpaikkaa. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20103611 [Viitattu 20.1.2026]

Zdnaturalgraphite 2025. Complete Natural Graphite Anode Material Production Process. Guangdong Zhongda Intelligent Technology Co., Ltd. Saatavissa: https://www.zdnaturalgraphite.com/complete-natural-graphite-anode-material-production-process/ [Viitattu 8.12.2025]

Zhang, D., Zhang, W., Zhang, S., Ji, X. & Li, L. 2023. Synthesis of expanded graphite-based materials for application in lithium-based batteries. Journal of Energy Storage 60, 106678. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106678 [Viitattu 10.12.2025]

Lainsäädäntö:

VNa 190/2013. Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 14.3.2013

VNa 214/2007. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 1.3.2007

LIITTEET

Liite 1. Komposiittinäytteet.

HOLE_ID	START_DEPTH	END_DEPTH	QC_SAMPLETYPE	WEIGHT	ROCK_TYPE	HUOM!
Q4422023R4	35.00	36.00		1.9	Kiillegneissi	Vähän grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	36.00	36.85		1.7	Kiillegneissi	Vähän grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	36.85	38.00		2.5	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	38.00	39.00		1.7	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	39.00	40.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	40.00	41.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	41.00	42.00		2.3	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	42.00	43.30		3.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	43.30	43.85		1	Pegmatiittigraniitti	Ei grafiittia
Q4422023R4	43.85	45.00		1.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	43.85	45.00	CORE_DUP	0.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	45.00	46.00		2.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	46.00	47.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	47.00	48.00		2.2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	48.00	49.00		2.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	49.00	50.00		2.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	53.00	54.00		2.2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	54.00	55.10		2.4	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	55.10	56.00		1.9	Kiillegneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	56.00	57.00		2.1	Kiillegneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	57.00	58.00		2.1	Kiillegneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	58.00	59.00		2.3	Kiillegneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	59.00	60.20		2.9	Kiillegneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	60.20	61.00		1.6	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	61.00	62.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	62.00	63.00		0.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	62.00	63.00	CORE_DUP	1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	63.00	63.95		2.3	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	63.95	65.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua. Ohut graniittivälikerros
Q4422023R4	65.00	66.00		2.5	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua. Ohut graniittivälikerros
Q4422023R4	66.00	67.00		2.3	Grafiittigneissi	Vähän-kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422023R4	80.35	82.00		1.5	Kiillegneissi	Vähän grafiittia ja kohtalaisesti rikkikiisua
Q4422023R4	80.35	82.00	CORE_DUP	1.6	Kiillegneissi	Vähän grafiittia ja kohtalaisesti rikkikiisua
Q4422023R4	82.00	82.55		0.9	Kiillegneissi	Vähän grafiittia ja kohtalaisesti rikkikiisua
				64.6		

HOLE_ID	START_DEPTH	END_DEPTH	QC_SAMPLETYPE	WEIGHT	ROCK_TYPE	HUOM!
Q4422024R6	39.00	40.00		2.6	Kiillegneissi	Vähän grafiittia
Q4422024R6	40.00	41.00		2.2	Kiillegneissi	Vähän grafiittia
Q4422024R6	41.00	42.00		2.2	Kiillegneissi	Vähän grafiittia
Q4422024R6	42.00	43.05		2.3	Kiillegneissi	Vähän grafiittia
Q4422024R6	49.00	50.00		2.5	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	50.00	51.00		2.6	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	51.00	51.90		2.1	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	51.90	53.60		4.3	Pegmatiittigraniitti	Ei grafiittia, deformoitunut
Q4422024R6	53.60	55.00		3.2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia
Q4422024R6	55.00	55.70		1.6	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	61.70	64.00		4.5	Grafiittigneissi / pegmatiittigraniitti	Kohtalaisesti grafiittia
Q4422024R6	64.00	65.00		1.9	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	65.00	66.00		2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	66.00	67.00		2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	67.00	68.00		0.6	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	67.00	68.00	CORE_DUP	0.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	68.00	69.35		3.4	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia ja magneettikiisua
Q4422024R6	72.00	73.00		1.9	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	73.00	74.00		1.8	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	74.00	75.00		1.8	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	75.00	76.00		2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	76.00	77.00		2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	77.00	78.00		2.2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	81.20	82.00		1.5	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	82.00	83.00		1.9	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	83.00	84.00		2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	84.00	85.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	85.00	86.00		1.9	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	86.00	87.05		0.8	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	86.00	87.05	CORE_DUP	0.7	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	87.05	87.80		1.5	Pegmatiittigraniitti	Ei grafiittia
Q4422024R6	87.80	89.00		2.2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	89.00	90.20		2.5	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	94.55	96.00		3	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	96.00	97.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	97.00	98.00		2.4	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6			STD	0		
Q4422024R6	98.00	99.00		2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	99.00	100.00		2.4	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	100.00	101.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	101.00	102.00		2.3	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	102.00	103.00		2.5	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	103.00	104.00		2.3	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	104.00	105.15		2.4	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	105.15	106.00		2	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	106.00	107.00		0.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	106.00	107.00	CORE_DUP	0.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	107.00	108.00		1.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	108.00	109.00		1.8	Grafiittigneissi	Kohtalaisesti grafiittia, vaihtelevasti
Q4422024R6	117.95	119.00		2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	119.00	120.00		2.6	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6			STD	0		
Q4422024R6	120.00	121.00		2.5	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	121.00	122.00		2.4	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	122.00	123.00		1.8	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	123.00	124.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	124.00	125.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	125.00	126.00		2.2	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
Q4422024R6	126.00	127.00		2.1	Grafiittigneissi	Runsaasti grafiittia
				120.1		

Liite 2. Komposiittinäytteiden kemialliset analyysit.

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

Batch	Siikalatvan grafiitti
Method	MP10
Report date	9/26/2024
Client	GTK Mintek - Tero Korhonen
Notes	CA-CS included

Contents (%)

	Composite_Q422203R4
	159278-1
SiO2	54.100
TiO2	0.670
Al2O3	13.600
Cr2O3	0.023
V2O3	0.064
FeO	10.500
MnO	0.052
MgO	2.780
CaO	3.050
Rb2O	0.002
SrO	0.025
BaO	0.044
Na2O	1.050
K2O	1.570
ZrO2	0.024
P2O5	0.161
CO2	15.900
OxSumm	94.800
Cu	0.022
Ni	0.028
Co	0.012
Zn	0.088
Pb	0.014
Ag	0.000
S	4.990
As	0.000
Sb	0.010
Bi	0.005
Te	0.001
Y	0.002
Nb	0.001
Mo	0.003
Sn	0.001
W	0.000
Cl	0.013
Th	0.000
U	0.000
Cs	0.002
La	0.005
Ce	0.008
Ta	0.001
LOI	0.000
Ga	0.002
Si	25.300
Ti	0.404
Cr	0.016
V	0.043
Fe	8.200
Mn	0.040
Mg	1.680
Ca	2.180
Ba	0.039
C	4.340

Leco C %	Leco S %
4.34	4.57

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

Batch	Siikalatvan grafiitti Composite_Q4422024R6 syöte
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	12/30/2024
Client	GTK / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165621-1	syöte -1,5mm			5.28	3.36	13.260	0.048	2.190	0.017	5.323	7.610

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165621-1	syöte -1,5mm	2.800	3.470		0.064	3.020	0.136	0.011	57.850	0.015	0.457

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165621-1	syöte -1,5mm	0.077	0.016	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.038	< 0.001	0.019

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165621-1	syöte -1,5mm	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.006

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165621-1	syöte -1,5mm	< 0.001	< 0.001	0.017	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
165621-1	syöte -1,5mm	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.166	0.003	< 0.001	0.059	106.0

Liite 3. Jauhatuskokeiden pöytäkirjat.

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 2.9.2024
By : MRO, KMS

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4222023R4 2.9.2024 kuivana			Composite _Q4222023R4 3.9.2024 pesu -20µm			Composite _Q4222023R4 5.9.2024 TM jauh. 10min.			Composite _Q4222023R4 6.9.2024 TM jauh. 10min.+2 min.			Composite _Q4222023R4 9.9.2024 TM jauh. 10 + 2 + 8min.			Composite _Q4222023R4 11.9.2024 TM jauh. 20 + 10min.		
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
		100.0	0.0		**100.0**	0.0												
1400	0.0	**100.0**	0.0	0.0	**99.9**	0.1												
1000	8.3	**92.0**	8.0	4.8	**91.7**	8.2												
710	17.0	**75.5**	16.5	9.6	**75.2**	16.5		**100.0**	0.0									
500	13.9	**62.0**	13.4	7.9	**61.6**	13.7	0.0	**99.9**	0.1	0.01	**100.0**	0.0						
355	9.9	**52.4**	9.6	5.5	**52.0**	9.5	1.0	**98.5**	1.4	0.34	**99.5**	0.5	0.0	**100.0**	0.0	0.0	**100.0**	0.0
250	11.0	**41.8**	10.6	6.2	**41.4**	10.6	10.2	**83.7**	14.8	6.35	**90.2**	9.3	0.8	**98.8**	1.2	0.1	**99.9**	0.1
180	7.8	**34.3**	7.5	4.3	**34.1**	7.3	11.9	**66.3**	17.4	11.86	**72.9**	17.3	5.4	**90.8**	8.0	1.3	**97.9**	2.0
125	9.0	**25.5**	8.8	5.0	**25.4**	8.7	12.2	**48.6**	17.8	13.42	**53.3**	19.6	15.3	**68.1**	22.7	9.1	**84.1**	13.8
90	6.7	**19.0**	6.5	3.6	**19.2**	6.2	8.3	**36.4**	12.1	8.92	**40.2**	13.0	11.5	**51.1**	17.0	13.2	**64.2**	20.0
63	6.9	**12.4**	6.6	3.8	**12.8**	6.5	8.1	**24.6**	11.8	8.73	**27.5**	12.8	11.2	**34.5**	16.6	13.8	**43.3**	20.8
45	5.3	**7.3**	5.1	2.7	**8.1**	4.7	5.9	**16.0**	8.6	6.17	**18.5**	9.0	7.8	**23.1**	11.5	9.6	**28.7**	14.6
32	3.6	**3.8**	3.5	1.5	**5.5**	2.6	3.3	**11.2**	4.8	3.48	**13.4**	5.1	4.5	**16.4**	6.6	5.5	**20.4**	8.3
20	3.0	**0.8**	2.9	1.2	**3.6**	2.0	2.9	**7.1**	4.1	2.72	**9.4**	4.0	4.0	**10.5**	5.9	4.7	**13.3**	7.2
-20	0.9		0.8	2.1		3.6	4.9		7.1	6.44		9.4	7.1		10.5	8.8		13.3
Totals	***103.2***		***100.0***	***58.0***		***100.0***	***68.8***		***100.0***	***68.44***		***100.0***	***67.5***		***100.0***	***66.0***		***100.0***

Calc'd d 80 (µm)	**789.8**	**793.8**	**235.1**	**208.8**	**153.8**	**117.8**

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 25.9.2024
By : MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4222023R4 Test 3 Lisäjauhatus RC1-3 15 min			Composite _Q4222023R4 Test 4 (1.10.2024) Lisäjauhatus CC1 10 min			Composite _Q4222023R4 Test 4 (1.10.2024) CC4											
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
1400																		
1000																		
710																		
500	0.0																	
355	0.0	**100.0**	0.0		**100.0**	0.0	0.0	**100.0**	0.0									
250	0.1	**99.6**	0.4	0.1	**99.5**	0.5	0.1	**99.5**	0.5									
180	0.5	**98.0**	1.6	0.9	**96.5**	3.0	0.9	**94.3**	5.2									
125	2.2	**91.5**	6.5	3.7	**83.7**	12.8	3.3	**74.2**	20.1									
90	2.6	**83.6**	7.9	4.4	**68.6**	15.2	3.4	**53.5**	20.7									
63	3.0	**74.6**	9.0	4.6	**52.6**	16.0	3.4	**32.6**	20.9									
45	2.8	**66.2**	8.4	4.0	**38.7**	13.9	2.8	**15.5**	17.2									
32	2.8	**57.9**	8.4	2.2	**31.1**	7.6	1.4	**7.1**	8.4									
20	4.4	**44.7**	13.2	1.4	**26.2**	4.9	0.6	**3.4**	3.7									
-20	14.9		44.7	7.6		26.2	0.6		3.4									
Totals	***33.4***		***100.0***	***28.9***		***100.0***	***16.5***		***100.0***	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0
Calc'd d 80 (µm)		**79.1**			**116.4**			**140.9**										

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 7.10.2024 -
By : MRO

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4222023R4 Mergan tangot 20 min.			Composite _Q4222023R4 Test 5 RC1-3 lisäjauh. 15 min			Composite _Q4222023R4 Test 5 CC1 lisäjauh. 10 min			Composite _Q4222023R4 Test 6 RC1-3 lisäjauh. 25 min.			Composite _Q4222023R4 Test 6 CC1 lisäjauh. 10 min					
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
1400																		
1000																		
710																		
500	0.0	**100.0**	0.0		**100.0**	0.0	0.0	**100.0**	0.0				0.0					
355	0.1	**99.9**	0.1	0.0	**100.0**	0.0	0.0	**99.9**	0.1		**100.0**	0.0	0.0	**100.0**	0.0			
250	1.9	**97.3**	2.6	0.2	**99.5**	0.5	0.1	**99.5**	0.4	0.06	**99.9**	0.1	0.1	**99.8**	0.2			
180	6.9	**87.6**	9.6	1.4	**96.1**	3.4	0.9	**96.3**	3.2	0.63	**98.3**	1.5	0.9	**96.7**	3.1			
125	15.2	**66.3**	21.4	4.4	**85.6**	10.5	3.7	**83.4**	12.9	3.08	**91.0**	7.4	3.6	**84.0**	12.7			
90	12.2	**49.1**	17.2	5.6	**72.4**	13.2	3.9	**69.5**	13.9	3.61	**82.3**	8.7	4.1	**69.5**	14.5			
63	11.6	**32.7**	16.3	9.3	**50.3**	22.1	4.4	**54.0**	15.6	5.56	**69.0**	13.3	4.8	**52.5**	17.0			
45	8.0	**21.6**	11.2	7.6	**32.2**	18.1	3.6	**41.2**	12.8	7.64	**50.7**	18.3	3.7	**39.5**	13.0			
32	4.3	**15.6**	6.0	3.9	**22.8**	9.4	2.6	**32.0**	9.2	5.70	**37.0**	13.7	2.2	**31.6**	7.9			
20	3.7	**10.3**	5.2	3.5	**14.5**	8.3	3.1	**21.0**	11.1	5.77	**23.2**	13.8	2.5	**22.7**	8.9			
-20	7.4		10.3	6.1		14.5	5.9		21.0	9.68		23.2	6.4		22.7			
Totals	***71.2***		***100.0***	***42.0***		***100.0***	***28.3***		***100.0***	***41.73***		***100.0***	***28.2***		***100.0***	0.0		0.0
Calc'd d 80 (µm)		**160.3**			**110.2**			**116.4**			**85.3**			**115.4**				

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 4.11.2024
By : MRO

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4222023R4 Test 7 RC1-3 lisäjauh. 25 min			Composite _Q4222023R4 Test 7 yhdistetty CC1 20 min			Composite _Q4222023R4 Test 9-14 CC6											
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
1400																		
1000																		
710																		
500																		
355		**100.0**	0.0		**100.0**	0.0												
250	0.1	**99.9**	0.1	0.0	**99.9**	0.1		**100.0**	0.0									
180	0.7	**98.2**	1.6	0.5	**98.3**	1.6	1.36	**96.7**	3.3									
125	3.2	**90.6**	7.6	3.3	**86.5**	11.8	7.27	**78.9**	17.8									
90	3.6	**81.9**	8.7	4.3	**71.2**	15.3	9.04	**56.8**	22.1									
63	5.3	**69.0**	12.9	4.6	**54.7**	16.5	10.90	**30.1**	26.7									
45	7.3	**51.3**	17.7	3.6	**41.7**	13.0	6.76	**13.5**	16.5									
32	6.0	**36.9**	14.4	2.2	**33.7**	8.0	2.87	**6.5**	7.0									
20	5.5	**23.6**	13.3	1.5	**28.3**	5.5	1.40	**3.1**	3.4									
-20	9.8		23.6	7.9		28.3	1.26		3.1									
Totals	***41.4***		***100.0***	***28.0***		***100.0***	***40.86***		***100.0***	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0

Calc'd d 80 (µm)	**86.1**	**110.2**	**128.5**			

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 4.11.2024
By : MRO

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4222023R4 Test 9-14 CC6 (Ouluun lähetetty)																	
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
		100.0	0.0															
125	29.4	**80.3**	19.7															
75	54.9	**43.5**	36.8															
-75	64.8		43.5															
Totals	***149.1***		***100.0***	0.0		0.0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0

Calc'd d 80 (µm) **124.6**

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 10.12.2024
By : MRO/MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4422024R6 Syöte			Composite _Q4422024R6 tangot 20 min. (1,5 kg) 11.12.2024			Composite _Q4422024R6 tangot 30 min. (1,5 kg) 17.12.2024			Composite _Q4422024R6 Mergan tangot 30min. (5kg)								
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
		100.0	0.0															
1400	0.1	**100.0**	0.0															
1000	7.1	**94.3**	5.7															
710	19.7	**78.4**	15.9															
500	19.5	**62.6**	15.8								**100.0**	0.0						
355	16.5	**49.3**	13.3		**100.0**	0.0		**100.0**	0.0	0.11	**99.8**	0.2						
250	14.0	**38.0**	11.3	6.2	**90.8**	9.2	0.6	**98.7**	1.3	1.67	**97.5**	2.4						
180	9.6	**30.3**	7.7	12.6	**72.2**	18.6	3.8	**90.0**	8.7	6.77	**87.8**	9.7						
125	10.3	**21.9**	8.3	13.9	**51.6**	20.6	10.6	**65.8**	24.2	16.38	**64.4**	23.4						
90	6.4	**16.8**	5.1	8.1	**39.7**	11.9	7.3	**49.3**	16.5	11.65	**47.8**	16.6						
63	6.5	**11.6**	5.2	7.9	**28.0**	11.6	6.5	**34.4**	14.9	11.23	**31.8**	16.0						
45	4.4	**8.0**	3.6	5.3	**20.2**	7.8	4.5	**24.1**	10.3	7.20	**21.5**	10.3						
32	2.2	**6.2**	1.8	2.9	**15.9**	4.3	2.4	**18.6**	5.5	1.94	**18.8**	2.8						
20	2.1	**4.5**	1.7	2.8	**11.7**	4.2	1.8	**14.5**	4.1	3.22	**14.2**	4.6						
-20	5.6		4.5	7.9		11.7	6.4		14.5	9.93		14.2						
Totals	***123.9***		***100.0***	***67.5***		***100.0***	***43.8***		***100.0***	***70.10***		***100.0***	0.0		***0.0***	0.0		0.0

Calc'd d 80 (µm) **739.4** **209.4** **157.3** **161.6**

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 17.1.2025
By : MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4422024R6 RC1-3 lisäjauhettu 15 min Test 16			Composite _Q4422024R6 CC1 lisäjauhettu 10 min Test 17			Composite _Q4422024R6 CC1 lisäjauhettu 10 min Test 18			Composite _Q4422024R6 RC1-3 jauh. 25 min Test 18								
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
500		**100.0**	0.0		**100.0**	0.0		**100.0**	0.0		**100.0**	0.0						
355	0.01	**100.0**	0.0	0.0	**100.0**	0.0	0.0	**99.9**	0.1	0.01	**100.0**	0.0						
250	0.12	**99.5**	0.4	0.1	**99.5**	0.5	0.2	**99.3**	0.6	0.29	**99.0**	1.0						
180	0.71	**97.0**	2.6	1.1	**95.7**	3.7	0.9	**96.1**	3.2	1.07	**95.5**	3.5						
125	1.97	**89.9**	7.1	3.4	**84.1**	11.6	3.0	**85.9**	10.2	2.36	**87.6**	7.8						
90	1.76	**83.6**	6.3	3.2	**73.3**	10.8	3.3	**74.7**	11.3	2.07	**80.8**	6.9						
63	2.14	**75.9**	7.7	3.7	**60.7**	12.6	3.4	**63.2**	11.5	3.10	**70.5**	10.3						
45	1.96	**68.8**	7.1	3.0	**50.4**	10.2	2.6	**54.4**	8.7	4.01	**57.2**	13.3						
32	1.98	**61.7**	7.1	2.3	**42.6**	7.8	2.0	**47.5**	7.0	3.39	**46.0**	11.2						
20	2.92	**51.2**	10.5	2.0	**35.9**	6.7	2.4	**39.2**	8.3	3.72	**33.7**	12.3						
-20	14.23		51.2	10.5		35.9	11.4		39.2	10.16		33.7						
Totals	***27.8***		***100.0***	***29.1***		***100.0***	***29.2***		***100.0***	***30.18***		***100.0***	0.0		***0.0***	0.0		0.0
Calc'd d 80 (µm)		**77.5**			**111.7**			**106.6**			**87.9**							

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 19.2.2025
By : MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4422024R6 CC6 Test 22			Composite _Q4422024R6 R1 lisäjauhettu 25 min Test 23			Composite _Q4422024R6 CC1 lisäjauhettu 20 min Test 23											
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
	0.00																	
	0.00				**100.0**	0.0		**100.0**	0.0									
250	0.00	**100.0**	0.0	0.3	**98.6**	1.4	0.3	**99.0**	1.0									
180	1.02	**95.9**	4.1	0.9	**94.6**	4.0	1.1	**95.1**	4.0									
125	3.93	**80.1**	15.8	2.1	**85.3**	9.3	3.4	**83.0**	12.1									
90	4.11	**63.5**	16.6	1.7	**77.6**	7.7	3.5	**70.7**	12.3									
63	4.63	**44.9**	18.6	1.9	**69.0**	8.6	3.8	**57.1**	13.6									
45	3.82	**29.5**	15.4	1.9	**60.5**	8.5	3.2	**45.7**	11.4									
20	4.17	**12.7**	16.8	4.6	**40.2**	20.3	4.1	**31.2**	14.5									
-20	3.15		12.7	9.0		40.2	8.8		31.2									
Totals	***24.8***		***100.0***	***22.4***		***100.0***	***28.3***		***100.0***	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0

Calc'd d 80 (µm)		**124.9**			**100.8**			**116.5**										

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 21.3.2025
By : MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4422024R6 CC6 Test 25-30			Composite _Q4422024R6 ja Q4222023R4 yhdistetty rikaste														
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
		100.0	0.0		**100.0**	0.0												
180	3.00	**92.6**	7.4	2.6	**93.3**	6.7												
125	6.28	**77.0**	15.6	6.7	**76.0**	17.4												
90	6.29	**61.4**	15.6	7.2	**57.1**	18.8												
63	7.02	**44.1**	17.4	7.6	**37.2**	19.9												
45	5.70	**29.9**	14.1	5.6	**22.7**	14.5												
32	3.31	**21.7**	8.2	2.7	**15.7**	7.1												
20	3.29	**13.6**	8.1	2.6	**9.0**	6.6												
-20	5.49		13.6	3.5		9.0												
Totals	***40.4***		***100.0***	***38.4***		***100.0***	0.0		0.0	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0
Calc'd d 80 (µm)		**135.5**			**137.8**													

PARTICLE SIZE ANALYSIS TABLE

Circular Economy Solutions
GTK Mintec

Project name : **Siikalatvan grafiitti**
Code : **50403-3020723**

Date : 21.3.2025
By : MKP

Note : Combination of elutriation screening and Ro-Tap dry screening for 10 min

Sample data :

Sieve opening (µm)	Composite _Q4422024R6 CC6 Test 25-30			Composite _Q4422024R6 ja Q4222023R4 yhdistetty rikaste														
	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)	Weight(g)	Pass.(%)	Ret. (%)
		100.0	0.0		**100.0**	0.0												
180	3.00	**92.6**	7.4	2.6	**93.3**	6.7												
125	6.28	**77.0**	15.6	6.7	**76.0**	17.4												
90	6.29	**61.4**	15.6	7.2	**57.1**	18.8												
63	7.02	**44.1**	17.4	7.6	**37.2**	19.9												
45	5.70	**29.9**	14.1	5.6	**22.7**	14.5												
32	3.31	**21.7**	8.2	2.7	**15.7**	7.1												
20	3.29	**13.6**	8.1	2.6	**9.0**	6.6												
-20	5.49		13.6	3.5		9.0												
Totals	***40.4***		***100.0***	***38.4***		***100.0***	0.0		0.0	0.00		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0
Calc'd d 80 (µm)		**135.5**			**137.8**													

Liite 4. Vaahdotuspöytäkirjat.

FLOTATION TEST REPORT

Sample:	Composite _Q4222023R4	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	8 kg rods	
Date:	´12.9.2024		Water:	0.9 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 154 µm**
Author:	MRO	**Feed**		1.5 kg	
Test no.:	**1**	**Screen anal:**			

Feed	Grind	Cond	Reagents (g/t)						Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight		Grades and Recoveries															
	min	min				Kerosene 100%	MIBC 100%		l	l/min	rpm		min		g	%	C (Leco) %	C (Leco) Rec%	SiO2 (XRF) %	SiO2 (XRF) Rec%	Al2O3 (XRF) %	Al2O3 (XRF) Rec%	MgO (XRF) %	MgO (XRF) Rec%	CaO (XRF) %	CaO (XRF) Rec%	Na2O (XRF) %	Na2O (XRF) Rec%	K2O (XRF) %	K2O (XRF) Rec%	Fe (XRF) %	Fe (XRF) Rec%	S (Leco) %	S (Leco) Rec%
1.5 mm	20																															
									4		1800	8.2																				
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.2	5	RC1	210.9	14.1	25.50	96.6	36.60	9.6	10.90	11.4	2.78	14.6	2.44	11.4	0.62	8.4	1.31	11.9	4.67	8.4	2.12	6.3
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	"	5	RC2	43.0	2.9	1.74	1.3	55.90	3.0	15.50	3.3	3.15	3.4	3.51	3.3	1.18	3.3	1.61	3.0	6.91	2.5	3.50	2.1
											"	"		RC1-2	253.9	17.0	21.48	97.9	39.87	12.6	11.68	14.7	2.84	18.0	2.62	14.7	0.71	11.6	1.36	14.9	5.05	10.9	2.35	8.4
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.3	5	RC3	18.7	1.3	0.95	0.3	54.00	1.3	15.30	1.4	3.31	1.5	3.36	1.4	1.13	1.4	1.61	1.3	7.38	1.2	4.01	1.1
														RC1-3	272.6	18.2	20.07	98.2	40.84	13.9	11.93	16.2	2.87	19.5	2.67	16.1	0.74	13.0	1.38	16.2	5.21	12.1	2.47	9.4
														Tails	1221.9	81.8	0.08	1.8	56.40	86.1	13.80	83.8	2.64	80.5	3.11	83.9	1.11	87.0	1.59	83.8	8.45	87.9	5.28	90.6
Total	20	6				60	60					Total	15	Calc Feed	1494.5	100.0	3.73	100.0	53.56	100.0	13.46	100.0	2.68	100.0	3.03	100.0	1.04	100.0	1.55	100.0	7.86	100.0	4.77	100.0

FLOTATION TEST REPORT

GTK	**Sample:**	Composite _Q4222023R4									**Grind:**	Mill:	Mild steel																		**Remarks:**	
	Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723										Charge:	8 kg rods																				
	Date:	´17.9.2024										Water:	0.9 l																		**Primary grinding fineness D80 ~ 154 µm**	
	Author:	MRO									**Feed**	1.5 kg																				
	Test no.:	**2**									**Screen anal:**																						

Feed	**Grind**	**Cond**	**Reagents (g/t)**						**Cell**	**Air**	**Rotor**	**pH**	**Flot**	**Product**	**Weight**		**Grades and Recoveries**															
					Na2SiO3	Kerosene	MIBC										C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	**min**			5%	100%	100%		**l**	**l/min**	**rpm**		**min**		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	20																															
									4		1800	8.2																				
		3			500						"	8.8																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.5	5	RC1	177.3	11.9	32.14	95.6	32.20	7.0	9.65	8.5	2.62	10.8	2.18	8.5	0.590	6.3	4.23	6.3	1.91	4.8
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.4	5	RC2	46.3	3.1	2.62	2.0	54.60	3.1	15.30	3.5	3.36	3.6	3.57	3.6	1.23	3.5	6.35	2.5	3.21	2.1
											"	"		RC1-2	223.6	15.0	26.03	97.7	36.84	10.1	10.82	12.0	2.77	14.4	2.47	12.2	0.72	9.8	4.67	8.8	2.18	7.0
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.4	5	RC3	25.1	1.7	1.05	0.4	55.40	1.7	15.20	1.9	3.29	1.9	3.52	1.9	1.25	1.9	6.84	1.4	3.81	1.4
														RC1-3	248.7	16.6	23.51	98.1	38.71	11.9	11.26	13.9	2.83	16.3	2.57	14.1	0.78	11.7	4.89	10.2	2.34	8.3
														Tails	1245.5	83.4	0.09	1.9	57.50	88.1	13.90	86.1	2.90	83.7	3.13	85.9	1.17	88.3	8.55	89.8	5.16	91.7
Total	20	9			500	60	60					Total	15	Calc Feed	1494.2	100.0	3.99	100.0	54.37	100.0	13.46	100.0	2.89	100.0	3.04	100.0	1.10	100.0	7.94	100.0	4.69	100.0

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

Juha Stenberg, Tiina Ruotsalainen, Jukka Konnunaho, Seppo Leinonen, Tero Korhonen, Anne Tuomela,
Anssi Rauhala, Markku Seitsaari, Tomi Luoto, Ilkka Lahti, Thair Al-Ani, Atte Halmesaari, Pasi Heikkilä,
Katariina Issukka, Teemu Karlsson, Maria Korpela, Sari Lukkari, Marke Oinonen, Heikki Pirinen, Mari Pölönen ja Kirsi Sallinen

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

GTK

Sample:	Composite _Q4222023R4	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	22.5 kg rods	
Date:	´28-29.10.2024		Water:	5.0 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 160 µm**
Author:	MRO	**Feed**	5 kg		**Secondary grinding fineness D80~86 µm**
Test no.:	7	**Screen anal:**			**Third grinding fineness D80~110 µm**

Feed	Grind	Cond	Reagents (g/t)						Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight		Grades and Recoveries													
	min	min			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		l	l/min	rpm		min		g	%	C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
					5%	100%	100%										%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	20																													
									12		2300	7.7																		
		3			500						"	8.5																		
		2				20	20				"	"																		
										5	"	8.2	5	RC1																
											"	"																		
		2				20	20				"	"																		
										5	"	8.2	5	RC2																
														RC1-2	888.4	18.0	22.80	97.8	41.48	14.2	12.41	16.5	4.66	20.0	2.74	15.8	2.23	14.2	5.58	13.5	2.74	8.8
														Tails	4046.8	82.0	0.11	2.2	55.21	85.8	13.76	83.5	4.10	80.0	3.19	84.2	2.95	85.8	7.86	86.5	6.24	91.2
RC1-3	25								4		1800	8.4																		
		2				10	10				"	"																		
										3	"	8	6	CC1	328.4	6.7	61.47	97.5	19.26	2.4	6.14	3.0	2.78	4.4	1.23	2.6	0.88	2.1	3.51	3.1	1.39	1.7
														CT1	560.0	11.3	0.13	0.4	54.51	11.7	16.09	13.5	5.76	15.6	3.62	13.2	3.02	12.2	6.80	10.4	3.54	7.1
CC1	20								4		1800	8.1																		
		2				5	5				"	"																		
										3	"	8.1	5	CC2	225.4	4.6	87.77	95.6	5.37	0.5	1.80	0.6	0.96	1.0	0.30	0.4	0.17	0.3	1.62	1.0	0.55	0.4
														CT2	103.0	2.1	3.91	1.9	49.65	2.0	15.65	2.4	6.77	3.4	3.27	2.2	2.42	1.8	7.65	2.1	3.25	1.2
CC2									4		1800	8.3																		
											"	"																		
										3	"	"	4	CC3	202.5	4.1	93.16	91.1	2.58	0.2	0.98	0.3	0.63	0.6	0.12	0.2	0.07	0.1	1.12	0.6	0.29	0.2
														CT3	22.9	0.5	40.16	4.4	29.98	0.3	9.01	0.3	3.84	0.4	1.90	0.3	1.13	0.2	6.02	0.4	2.80	0.2
CC3									4		1800	8.3																		
											"	"																		
										3	"	"	4	CC4	187.7	3.8	94.13	85.3	2.12	0.2	0.84	0.2	0.56	0.5	0.09	0.1	0.05	0.1	1.01	0.5	0.26	0.2
														CT4	14.8	0.3	80.79	5.8	8.44	0.0	2.73	0.1	1.50	0.1	0.52	0.1	0.22	0.0	2.56	0.1	0.69	0.0
CC4									4		1800	8.2																		
											"	"																		
										3	"	8.2	4	CC5	172.3	3.5	94.47	78.6	1.97	0.1	0.80	0.2	0.54	0.4	0.07	0.1	0.05	0.1	0.97	0.5	0.25	0.2
														CT5	15.4	0.3	90.42	6.7	3.79	0.0	1.36	0.0	0.86	0.1	0.21	0.0	0.09	0.0	1.45	0.1	0.39	0.0
CC5									4		1800	8.3																		
											"	"																		
										3	"	"	4	CC6	151.7	3.1	94.53	69.3	1.94	0.1	0.79	0.2	0.54	0.4	0.07	0.1	0.05	0.1	0.97	0.4	0.24	0.1
														CT6	20.6	0.4	94.01	9.4	2.22	0.0	0.85	0.0	0.56	0.1	0.10	0.0	0.06	0.0	0.94	0.1	0.33	0.0
Total	65	11			500	55	55					Total	37	Calc Feed	4935.2	100.0	4.20	100.0	52.74	100.0	13.52	100.0	4.20	100.0	3.11	100.0	2.82	100.0	7.45	100.0	5.61	100.0

FLOTATION TEST REPORT

GTK	**Sample:**	Composite _Q4222023R4							**Grind:**	Mill:	Mild steel					**Remarks:**																			
	Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723								Charge:	8 kg rods																								
	Date:	´30-31.10.2024								Water:	0.9 l					**Primary grinding fineness D80 ~ 154 µm**																			
	Author:	MRO							**Feed**	1.5 kg						**Secondary grinding fineness D80~79 µm**																			
	Test no.:	**8**							**Screen anal:**							**Third grinding fineness D80~116 µm**																			
			Reagents (g/t)															**Grades and Recoveries**																	
Feed	**Grind**	**Cond**		CuSO4	Na2SiO3	Kerosene	MIBC	SIBX	**Cell**	**Air**	**Rotor**	**pH**	**Flot**	**Product**	**Weight**		C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	**min**		5%	5%	100%	100%	1%	**l**	**l/min**	**rpm**		**min**		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	20																																	
									4		1800	8																							
		3			500						"	8.6																							
		2				20	20				"	8.5																							
										3	"	8.3	5	RC1																					
											"	"																							
		2				20	20				"	"																							
										3	"	8.3	5	RC2																					
											"	"																							
		2				20	20				"	"																							
										3	"	8.4	5	RC3																					
														RC1-3	249.8	16.8	25.82	98.2	39.95	12.5	11.96	14.5	4.24	16.1	2.67	14.0	2.19	13.1	5.50	11.5	2.51	9.4
														Tails	1234.4	83.2	0.10	1.8	56.84	87.5	14.23	85.5	4.47	83.9	3.31	86.0	2.95	86.9	8.59	88.5	4.88	90.6
RC1-3	15								2		1300	8.3																							
		2				20	20				"	"																							
										2	"	8.4	6	CC1	81.1	5.5	78.10	96.4	10.45	1.1	3.38	1.3	1.69	2.1	0.64	1.1	0.43	0.8	2.37	1.6	0.82	1.0
														CT1	168.7	11.4	0.68	1.8	54.13	11.4	16.08	13.2	5.46	14.0	3.65	12.9	3.04	12.2	7.00	9.9	3.32	8.4
CC1	10								2		1300	8.4																							
		2				10	10				"	"																							
										2	"	"	5	CC2	66.9	4.5	93.69	95.4	2.55	0.2	0.89	0.3	0.52	0.5	0.14	0.2	0.07	0.1	0.92	0.5	0.39	0.4
														CT2	14.2	1.0	4.62	1.0	47.64	0.8	15.12	1.0	7.20	1.6	3.02	0.9	2.14	0.7	9.20	1.1	2.81	0.6
CC2									2		1300	8.2																							
											"	"																							
										2	"	"	4	CC3	60.9	4.1	96.61	89.6	1.21	0.1	0.48	0.1	0.33	0.3	0.05	0.1	0.03	0.0	0.56	0.3	0.23	0.2
														CT3	6.0	0.4	64.06	5.8	16.18	0.1	5.02	0.1	2.50	0.2	1.04	0.1	0.48	0.1	4.66	0.2	2.04	0.2
CC3									2		1300	8.3																							
											"	8.1																							
										2	"	8.3	4	CC4	55.5	3.7	97.29	82.2	0.97	0.1	0.40	0.1	0.28	0.2	0.03	0.0	0.03	0.0	0.46	0.2	0.22	0.2
														CT4	5.4	0.4	89.66	7.4	3.70	0.0	1.32	0.0	0.84	0.1	0.20	0.0	0.08	0.0	1.55	0.1	0.33	0.0
Tails					Magnetic separation MIMS 0.3 T									M	138.1	9.3	0.07	0.1	11.27	1.9	3.55	2.4	1.05	2.2	0.73	2.1	1.07	3.5	48.90	56.4	32.31	67.0
														NM	1096.3	73.9	0.10	1.7	62.58	85.6	15.57	83.1	4.90	81.7	3.64	83.8	3.19	83.4	3.51	32.1	1.43	23.5
NM									4		1800	8.1																							
		3		300							"	7.4																							
		2					20	100			"																							
										3	"	7.7	5	Sconc 1	39.8	2.7	0.33	0.2	30.58	1.5	8.61	1.7	2.79	1.7	1.93	1.6	1.97	1.9	22.55	7.5	27.63	16.5
											"																							
											"																							
		2					20	100			"	8																							
										3	"	8.1	10	Sconc 2	21.1	1.4	0.74	0.2	49.10	1.3	14.69	1.5	5.17	1.7	3.28	1.5	2.78	1.4	10.96	1.9	9.87	3.1
														Sconc 1-2	60.9	4.1	0.47	0.4	37.00	2.8	10.72	3.2	3.61	3.3	2.40	3.1	2.25	3.3	18.53	9.4	21.48	19.7
														Stails	1035.4	69.8	0.08	1.3	64.09	82.8	15.86	79.9	4.98	78.4	3.71	80.8	3.24	80.1	2.62	22.7	0.25	3.9
														M+Sconc 1-2	199.0	13.4	0.19	0.6	19.14	4.8	5.74	5.6	1.83	5.5	1.24	5.2	1.43	6.8	39.61	65.8	28.99	86.7
Total	45	20			500	90	130	200				Total	49	Calc Feed	1484.2	100.0	4.43	100.0	54.00	100.0	13.85	100.0	4.43	100.0	3.20	100.0	2.82	100.0	8.07	100.0	4.48	100.0

FLOTATION TEST REPORT

Sample:	Composite _Q4422024R6	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	8 kg rods	
Date:	19.12.2024		Water:	0.9 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 157 µm**
Author:	MRO	**Feed**	1.5 kg		
Test no.:	**15**	**Screen anal:**			

			Reagents (g/t)													Weight		Grades and Recoveries															
																		C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
Feed	Grind	Cond			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight																	
	min	min			5%	100%	100%		l	l/min	rpm		min		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																															
									4		1800	8.8																				
		3			500						"	9.3																				
		2				20	20				"	9.2																				
										3	"	8.8	5	RC1	154.7	10.3	46.07	94.0	30.63	5.4	7.97	6.2	2.43	7.2	1.25	5.8	1.320	4.6	4.19	8.2	1.75	5.5
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC2	69.5	4.6	4.52	4.1	55.66	4.4	14.59	5.1	4.47	5.9	2.28	4.8	3.16	4.9	5.58	4.9	3.35	4.7
											"	"		RC1-2	224.2	15.0	33.19	98.2	38.39	9.9	10.02	11.2	3.06	13.1	1.57	10.6	1.89	9.5	4.62	13.1	2.24	10.2
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC3	30.0	2.0	1.67	0.7	57.31	2.0	14.81	2.2	4.27	2.4	2.40	2.2	3.19	2.2	5.87	2.2	3.77	2.3
														RC1-3	254.2	17.0	29.47	98.9	40.62	11.9	10.59	13.4	3.20	15.6	1.67	12.7	2.04	11.7	4.77	15.3	2.42	12.4
														Tails	1244.0	83.0	0.07	1.1	61.61	88.1	13.94	86.6	3.55	84.4	2.34	87.3	3.15	88.3	5.39	84.7	3.49	87.6
Total	30	9			500	60	60					Total	15	Calc Feed	1498.2	100.0	5.06	100.0	58.05	100.0	13.37	100.0	3.49	100.0	2.23	100.0	2.96	100.0	5.29	100.0	3.31	100.0

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

Sample:	Composite _Q4422024R6	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	8 kg rods	
Date:	8/1/2025		Water:	0.9 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 157 µm**
Author:	MRO	**Feed**		1.5 kg	**Secondary grinding fineness D80~78 µm**
Test no.:	**17**	**Screen anal:**			**Third grinding fineness D80~112 µm**

			Reagents (g/t)														Grades and Recoveries															
Feed	Grind	Cond			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight		C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	min			5%	100%	100%		l	l/min	rpm		min		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																															
									4		1800	8.8																				
		3			500						"	9.1																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC1																		
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC2																		
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC3																		
														RC1-3	258.1	17.2	29.19	98.4	39.93	12.0	10.80	13.7	3.40	16.6	1.63	12.8	2.18	12.5	5.12	16.3	2.51	12.2
														Tails	1240.5	82.8	0.10	1.6	60.98	88.0	14.10	86.3	3.56	83.4	2.31	87.2	3.18	87.5	5.46	83.7	3.76	87.8
RC1-3	15								2		1300	8.5																				
		2				20	20				"	8.4																				
										2	"	"	6	CC1	113.0	7.5	66.15	97.6	18.01	2.4	5.25	2.9	1.71	3.6	0.74	2.5	0.91	2.3	3.22	4.5	1.10	2.3
														CT1	145.1	9.7	0.40	0.8	57.00	9.6	15.12	10.8	4.72	12.9	2.33	10.3	3.17	10.2	6.61	11.9	3.60	9.8
CC1	10								2		1300	8.5																				
		2				10	10				"	"																				
										2	"	8.5	5	CC2	87.2	5.8	84.54	96.3	7.76	0.8	2.45	1.1	0.81	1.3	0.33	0.9	0.29	0.6	1.81	2.0	0.44	0.7
														CT2	25.8	1.7	3.99	1.3	52.68	1.6	14.72	1.9	4.76	2.3	2.12	1.7	2.98	1.7	7.95	2.5	3.33	1.6
CC2									2		1300	8.3																				
											"	"																				
										2	"	8.4	4	CC3	48.3	3.2	89.35	56.4	5.12	0.3	1.77	0.4	0.61	0.6	0.22	0.3	0.17	0.2	1.33	0.8	0.30	0.3
														CT3	38.9	2.6	78.57	39.9	11.03	0.5	3.28	0.6	1.05	0.8	0.46	0.5	0.44	0.4	2.42	1.2	0.62	0.5
CC3									2		1300	8.2																				
											"	"																				
										2	"	"	4	CC4	21.8	1.5	89.54	25.5	4.96	0.1	1.76	0.2	0.60	0.2	0.21	0.1	0.16	0.1	1.35	0.4	0.29	0.1
														CT4	26.5	1.8	89.19	30.9	5.25	0.2	1.78	0.2	0.61	0.3	0.22	0.2	0.18	0.1	1.31	0.4	0.31	0.2
Total	55	13			500	90	90					Total	34	Calc Feed	1498.6	100.0	5.11	100.0	57.35	100.0	13.53	100.0	3.53	100.0	2.19	100.0	3.01	100.0	5.40	100.0	3.54	100.0

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

GTK

Sample:	Composite _Q4422024R6	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	8 kg rods	
Date:	20.1.2025		Water:	0.9 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 157 µm**
Author:	MRO	**Feed**	1.5 kg		**Secondary grinding fineness D80~78 µm**
Test no.:	**19**	**Screen anal:**			**Third grinding fineness D80~112 µm**

Feed	Grind	Cond	Reagents (g/t)						Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight		Grades and Recoveries															
					Na2SiO3	Kerosene	MIBC										C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	min			5%	100%	100%		l	l/min	rpm		min		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																															
									4		1800	8.7																				
		3			500						"	9.2																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC1																		
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.7	5	RC2																		
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.6	5	RC3																		
														RC1-3	257.0	17.2	28.54	98.3	40.26	11.7	10.85	13.9	3.40	17.5	1.68	12.7	2.18	12.4	5.34	17.1	2.33	12.9
														Tails	1235.9	82.8	0.10	1.7	62.96	88.3	14.02	86.1	3.34	82.5	2.40	87.3	3.20	87.6	5.39	82.9	3.27	87.1
			Magnetic separation MIMS 0.3 T (15 % solids)											M	88.3	5.9	0.10	0.1	21.37	2.1	5.71	2.5	1.00	1.8	0.84	2.2	1.69	3.3	38.89	42.8	28.75	54.7
														NM	1147.6	76.9	0.10	1.5	66.16	86.1	14.66	83.6	3.52	80.8	2.52	85.1	3.32	84.3	2.81	40.2	1.31	32.4
RC1-3	15								2		1300	8.5																				
		3			250						"	9.1																				
		2				20	20				"	"																				
										2	"	8.9	6	CC1	116.4	7.8	62.53	97.6	19.93	2.6	5.71	3.3	1.84	4.3	0.84	2.9	0.99	2.6	3.73	5.4	1.08	2.7
														CT1	140.6	9.4	0.40	0.8	57.08	9.1	15.10	10.6	4.70	13.2	2.37	9.8	3.17	9.9	6.67	11.7	3.36	10.2
CC1	10								2		1300	8.4																				
		2				10	10				"	8.3																				
										2	"	"	5	CC2	88.3	5.9	80.92	95.8	9.55	1.0	2.93	1.3	0.95	1.7	0.43	1.1	0.37	0.7	2.38	2.6	0.45	0.9
														CT2	28.1	1.9	4.77	1.8	52.58	1.7	14.45	2.0	4.63	2.6	2.14	1.8	2.95	1.8	7.97	2.8	3.08	1.9
CC2									2		1300	8.4																				
											"	"																				
										2	"	"	4	CC3	40.3	2.7	85.43	46.2	6.97	0.3	2.32	0.5	0.78	0.6	0.32	0.4	0.26	0.2	1.96	1.0	0.29	0.3
														CT3	48.0	3.2	77.13	49.6	11.71	0.6	3.43	0.8	1.08	1.0	0.52	0.7	0.47	0.5	2.72	1.6	0.58	0.6
CC3									2		1300	8.4																				
											"	"																				
										2	"	"	4	CC4	15.9	1.1	85.52	18.2	6.86	0.1	2.34	0.2	0.78	0.2	0.32	0.1	0.25	0.1	1.98	0.4	0.29	0.1
														CT4	24.4	1.6	85.37	27.9	7.04	0.2	2.31	0.3	0.78	0.4	0.32	0.2	0.26	0.1	1.95	0.6	0.29	0.2
Total	55	16			750	90	90					Total	34	Calc Feed	1492.9	100.0	5.00	100.0	59.05	100.0	13.47	100.0	3.35	100.0	2.28	100.0	3.03	100.0	5.38	100.0	3.11	100.0

FLOTATION TEST REPORT

GTK	**Sample:**	Composite _Q4422024R6							**Grind:**	Mill:	Mild steel																										**Remarks:**
	Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723								Charge:	22.5 kg rods																										
	Date:	23.1.2025								Water:	5.0 l																								**Primary grinding fineness D80 ~ 162 µm**	
	Author:	MRO							**Feed**	5 kg																									**Secondary grinding fineness D80~88 µm**	
	Test no.:	**20**							**Screen anal:**																										**Third grinding fineness D80~107 µm**	

			Reagents (g/t)														**Grades and Recoveries**																			
Feed	**Grind**	**Cond**			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		**Cell**	**Air**	**Rotor**	**pH**	**Flot**	**Product**	**Weight**		C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	**min**			5%	100%	100%		**l**	**l/min**	**rpm**		**min**		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																																			
									12		2300	8.4																								
		3			500						"	9.3																								
		2				20	20				"	"																								
										5	"	9.1	5	RC1																						
											"	"																								
		2				20	20				"	"																								
										5	"	9	5	RC2																						
											"	"																								
		2				20	20				"	"																								
										5	"	9	5	RC3																						
														RC1-3	880.5	17.6	28.46	98.3	39.66	12.1	11.08	14.4	3.82	19.0	1.61	12.9	2.09	12.3	5.24	17.3	2.49	12.8		
														Tails	4114.8	82.4	0.11	1.7	61.37	87.9	14.13	85.6	3.49	81.0	2.32	87.1	3.18	87.7	5.36	82.7	3.62	87.2		
RC1-3	25								4		1800	8.7																								
		2				10	10				"	"																								
										3	"	8.3	6	CC1	438.9	8.8	56.70	97.6	22.99	3.5	6.77	4.4	2.32	5.7	0.93	3.7	1.14	3.4	3.84	6.3	1.41	3.6		
														CT1	441.6	8.8	0.40	0.7	56.23	8.6	15.37	10.0	5.32	13.3	2.28	9.2	3.03	9.0	6.63	11.0	3.57	9.2		
CC1	20								4		1800	8.4																								
		2				5	5				"	"																								
										3	"	"	5	CC2	299.8	6.0	79.33	93.3	10.46	1.1	3.25	1.4	1.06	1.8	0.45	1.2	0.40	0.8	2.37	2.7	0.62	1.1		
														CT2	139.1	2.8	7.91	4.3	49.99	2.4	14.34	2.9	5.03	3.9	1.97	2.5	2.73	2.5	7.02	3.7	3.13	2.5		
CC2									4		1800	8.1																								
											"	"																								
										3	"	8.3	4	CC3	162.8	3.3	84.29	53.8	7.61	0.4	2.55	0.6	0.86	0.8	0.34	0.5	0.27	0.3	1.97	1.2	0.40	0.4		
														CT3	137.0	2.7	73.44	39.5	13.84	0.7	4.08	0.8	1.30	1.0	0.58	0.7	0.56	0.5	2.84	1.5	0.87	0.7		
CC3									4		1800	8.3																								
											"	"																								
										3	"	"	4	CC4	61.8	1.2	85.28	20.7	7.00	0.2	2.44	0.2	0.82	0.3	0.31	0.2	0.24	0.1	1.91	0.4	0.37	0.1		
														CT4	101.0	2.0	83.68	33.1	7.98	0.3	2.63	0.4	0.88	0.5	0.35	0.3	0.29	0.2	2.01	0.8	0.42	0.2		
CC4									4		1800	8.3																								
											"	"																								
										3	"	"	4	CC5	18.8	0.4	86.30	6.4	6.48	0.0	2.30	0.1	0.76	0.1	0.29	0.0	0.22	0.0	1.79	0.1	0.37	0.0		
														CT5	43.0	0.9	84.84	14.3	7.23	0.1	2.50	0.2	0.85	0.2	0.33	0.1	0.25	0.1	1.97	0.3	0.37	0.1		
CC5									2		1300	8.2																								
											"	"																								
										2	"	"	4	CC6	4.7	0.1	83.04	1.5	8.02	0.0	2.82	0.0	0.91	0.0	0.35	0.0	0.28	0.0	2.29	0.0	0.38	0.0		
														CT6	14.1	0.3	87.39	4.8	5.96	0.0	2.13	0.0	0.71	0.1	0.26	0.0	0.20	0.0	1.62	0.1	0.37	0.0		
Total	75	13			500	75	75					Total	42	Calc Feed	4995.3	100.0	5.10	100.0	57.54	100.0	13.59	100.0	3.55	100.0	2.19	100.0	2.99	100.0	5.34	100.0	3.42	100.0		

FLOTATION TEST REPORT

GTK

Sample:	Composite _Q4422024R6	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**	
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	8 kg rods		
Date:	28.1.2025		Water:	0.9 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 157 µm**	
Author:	MRO	**Feed**	1.5 kg		**Secondary grinding fineness D80~78 µm**	
Test no.:	**21**	**Screen anal:**			**Third grinding fineness D80~112 µm**	

			Reagents (g/t)												Weight		Grades and Recoveries															
Feed	Grind	Cond		CuSO4	Na2SiO3	Kerosene	MIBC	SIBX	Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product			C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	min		5%	5%	100%	100%	1%	l	l/min	rpm		min		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	20																															
									4		1800	8.7																				
		3			500						"	9.3																				
		2				20	20				"	9																				
										3	"	8.8	5	RC1																		
											"	"																				
		2				20	20				"	"																				
										3	"	8.8	5	RC2																		
														RC1-2	231.3	15.6	31.75	98.0	38.21	10.1	10.49	11.9	3.40	14.8	1.54	10.7	2.09	10.7	5.08	14.3	2.31	11.3
														Tails	1255.4	84.4	0.12	2.0	62.34	89.9	14.35	88.1	3.60	85.2	2.39	89.3	3.20	89.3	5.60	85.7	3.33	88.7
RC1-2	15								2		1300	8.7																				
		2				20	20				"	8.6																				
										2	"	"	6	CC1	112.3	7.6	65.07	97.5	18.47	2.4	5.47	3.0	1.80	3.8	0.74	2.5	0.94	2.3	3.39	4.6	1.04	2.5
														CT1	119.0	8.0	0.30	0.5	56.84	7.8	15.23	8.9	4.91	11.0	2.30	8.2	3.17	8.4	6.68	9.7	3.50	8.8
CC1	10								2		1300	8.4																				
		2				10	10				"	"																				
										2	"	"	5	CC2	89.1	6.0	81.21	96.6	9.47	1.0	2.99	1.3	0.98	1.7	0.38	1.0	0.40	0.8	2.17	2.4	0.49	0.9
														CT2	23.2	1.6	3.07	1.0	53.04	1.4	15.00	1.7	4.96	2.2	2.13	1.5	3.02	1.6	8.10	2.3	3.16	1.6
CC2									2		1300	8.3																				
		2				10	10				"	"																				
										2	"	"	4	CC3	83.3	5.6	86.31	96.0	6.58	0.6	2.21	0.9	0.77	1.2	0.28	0.7	0.24	0.4	1.75	1.8	0.32	0.6
														CT3	5.8	0.4	7.92	0.6	51.02	0.3	14.27	0.4	4.00	0.4	1.88	0.3	2.68	0.3	8.17	0.6	2.84	0.3
CC3									2		1300	8.2																				
		2				10	10				"	"																				
										2	"	8.3	4	CC4	81.4	5.5	87.86	95.5	5.72	0.5	1.97	0.8	0.70	1.1	0.25	0.6	0.19	0.3	1.62	1.6	0.28	0.5
														CT4	1.9	0.1	20.06	0.5	43.52	0.1	12.43	0.1	3.90	0.1	1.66	0.1	2.29	0.1	7.20	0.2	2.19	0.1
Tails					Magnetic separation MIMS 0.3 T (15 % solids)									M	86.3	5.8	0.13	0.1	17.88	1.8	5.19	2.2	1.02	1.7	0.71	1.8	1.46	2.8	42.08	44.2	29.98	54.9
														NM	1169.1	78.6	0.12	1.8	65.62	88.1	15.03	85.9	3.79	83.5	2.51	87.5	3.33	86.5	2.91	41.4	1.36	33.7
NM									4		1800	8.4																				
		3		300							"	7																				
		2					20	100			"	7.6																				
										3	"	8.2	5	Sconc 1	47.5	3.2	0.91	0.6	35.41	1.9	9.99	2.3	2.63	2.4	1.63	2.3	2.42	2.6	19.42	11.2	23.88	24.1
											"	"																				
											"	"																				
		2					20	100			"	"																				
										3	"	8.3	10	Sconc 2	37.6	2.5	0.50	0.3	54.55	2.4	15.33	2.8	4.27	3.0	2.42	2.7	3.26	2.7	7.06	3.2	5.47	4.4
														Sconc 1-2	85.1	5.7	0.73	0.8	43.87	4.3	12.35	5.1	3.35	5.4	1.98	5.0	2.79	5.3	13.96	14.5	15.75	28.5
														Stails	1084.0	72.9	0.07	1.0	67.33	83.8	15.24	80.8	3.82	78.1	2.55	82.5	3.37	81.2	2.04	27.0	0.23	5.3
														M+Sconc 1-2	171.4	11.5	0.43	1.0	30.78	6.1	8.74	7.3	2.18	7.0	1.34	6.9	2.12	8.1	28.12	58.7	22.91	83.4
Total	45	22			500	90	130	200				Total	44	Calc Feed	1486.7	100.0	5.04	100.0	58.59	100.0	13.75	100.0	3.57	100.0	2.25	100.0	3.03	100.0	5.52	100.0	3.17	100.0

FLOTATION TEST REPORT

| | | |

FLOTATION TEST REPORT

Sample:	Composite _Q4422024R6	**Grind:**	Mill:	Mild steel	**Remarks:**
Project:	Siikalatvan grafiitti 50403-3020723		Charge:	22.5 kg rods	
Date:	12.2.2025		Water:	5.0 l	**Primary grinding fineness D80 ~ 162 µm**
Author:	MRO	**Feed**	5 kg		**Secondary grinding fineness D80~101 µm**
Test no.:	**23**	**Screen anal:**			**Third grinding fineness D80~117 µm**

			Reagents (g/t)													Weight		Grades and Recoveries															
																		C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
Feed	**Grind**	**Cond**			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		**Cell**	**Air**	**Rotor**	**pH**	**Flot**	**Product**																			
	min	**min**			5%	100%	100%		**l**	**l/min**	**rpm**		**min**		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																															
									12		2300	8.4																				
		3			500						"	9.2																				
		2				20	20				"	"																				
										5	"	8.9	6	RC1	628.8	12.7	37.34	95.9	34.86	7.5	9.60	9.2	3.24	12.5	1.39	8.0	1.86	7.8	4.68	11.4	2.19	9.0
														Tails	4330.8	87.3	0.23	4.1	62.25	92.5	13.81	90.8	3.29	87.5	2.31	92.0	3.17	92.2	5.31	88.6	3.20	91.0
RC1	25								4		1800	8.7																				
		2				10	10				"	"																				
										3	"	8.3	6	CC1	353.2	7.1	66.20	95.5	17.96	2.2	5.29	2.8	1.82	3.9	0.70	2.3	0.92	2.2	3.09	4.2	1.11	2.6
														CT1	275.6	5.6	0.36	0.4	56.53	5.3	15.13	6.3	5.06	8.6	2.26	5.7	3.06	5.7	6.72	7.1	3.58	6.5
CC1	20								4		1800	8.2																				
		2				5	5				"	"																				
										3	"	8	5	CC2	274.0	5.5	84.01	94.0	8.07	0.8	2.56	1.1	0.85	1.4	0.32	0.8	0.35	0.7	1.76	1.9	0.49	0.9
														CT2	79.2	1.6	4.58	1.5	52.15	1.4	14.72	1.8	5.16	2.5	2.04	1.5	2.86	1.5	7.70	2.4	3.25	1.7
CC2									4		1800	8.1																				
		2				5	5				"	"																				
										3	"	8.2	4	CC3	254.1	5.1	89.08	92.5	5.23	0.5	1.78	0.7	0.63	1.0	0.21	0.5	0.21	0.4	1.33	1.3	0.31	0.5
														CT3	19.9	0.4	19.20	1.6	44.33	0.3	12.55	0.4	3.67	0.4	1.65	0.3	2.23	0.3	7.22	0.6	2.70	0.4
CC3									4		1800	8.1																				
		2				5	5				"	"																				
										3	"	"	4	CC4	245.4	4.9	90.85	91.1	4.27	0.4	1.51	0.6	0.54	0.8	0.17	0.4	0.16	0.3	1.17	1.1	0.26	0.4
														CT4	8.7	0.2	39.19	1.4	32.44	0.1	9.46	0.1	3.01	0.2	1.27	0.1	1.64	0.1	5.86	0.2	1.80	0.1
CC4									4		1800	8.1																				
		2				5	5				"	"																				
										3	"	"	4	CC5	233.0	4.7	91.83	87.4	3.75	0.3	1.36	0.5	0.49	0.7	0.15	0.3	0.13	0.2	1.08	1.0	0.24	0.4
														CT5	12.4	0.3	72.40	3.7	13.96	0.1	4.38	0.1	1.48	0.1	0.60	0.1	0.63	0.1	2.96	0.1	0.75	0.1
CC5									4		1800	8.2																				
		2				2	2				"	"																				
										3	"	"	4	CC6	165.5	3.3	91.95	62.2	3.66	0.2	1.34	0.3	0.49	0.5	0.15	0.2	0.13	0.1	1.09	0.7	0.23	0.2
														CT6	67.5	1.4	91.55	25.2	3.98	0.1	1.39	0.1	0.50	0.2	0.16	0.1	0.14	0.1	1.05	0.3	0.25	0.1
Total	75	17			500	52	52					Total	33	Calc Feed	4959.6	100.0	4.94	100.0	58.78	100.0	13.28	100.0	3.28	100.0	2.19	100.0	3.00	100.0	5.23	100.0	3.07	100.0

FLOTATION TEST REPORT

GTK

Sample: Composite _Q4422024R6
Project: Siikalatvan grafiitti 50403-3020723
Date: 13.2.2025
Author: MRO
Test no.: 24

Grind: Mill: Mild steel; Charge: 8 kg rods; Water: 0.9 l
Feed 1.5 kg
Screen anal:

Remarks:
Primary grinding fineness D80 ~ 157 µm
Secondary grinding fineness D80~ ?? µm
Third grinding fineness D80~?? µm

Feed	Grind	Cond	Reagents (g/t)						Cell	Air	Rotor	pH	Flot	Product	Weight		Grades and Recoveries													
																	C (Leco)		SiO2 (XRF)		Al2O3 (XRF)		MgO (XRF)		CaO (XRF)		Na2O (XRF)		Fe (XRF)		S (Leco)	
	min	min			Na2SiO3	Kerosene	MIBC		l	l/min	rpm		min		g	%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%	%	Rec%
1.5 mm	30																													
									4		1800	8,7																		
		3			500						"	9.2																		
		2				20	20				"	"																		
										3	"	8.8	5	RC1	150.8	10.1	46.19	93.8	29.42	5.1	8.16	6.2	2.69	8.3	1.17	5.4	1.59	5.3	4.61	8.8	1.77	5.6
														Tails	1347.2	89.9	0.34	6.2	61.78	94.9	13.86	93.8	3.33	91.7	2.29	94.6	3.16	94.7	5.37	91.2	3.34	94.4
RC1	15								2		1300	8.6																		
		2				20	20				"	"																		
										2	"	8.5	6	CC1	90.4	6.0	76.65	93.4	11.81	1.2	3.62	1.6	1.25	2.3	0.47	1.3	0.59	1.2	2.64	3.0	0.65	1.2
														CT1	60.4	4.0	0.57	0.5	55.77	3.8	14.97	4.5	4.84	6.0	2.23	4.1	3.08	4.1	7.55	5.8	3.44	4.4
CC1	10								2		1300	8.2																		
		2				10	10				"	"																		
										2	"	8.3	5	CC2	77.7	5.2	88.22	92.4	5.54	0.5	1.89	0.7	0.68	1.1	0.22	0.5	0.23	0.4	1.57	1.5	0.27	0.4
														CT2	12.7	0.8	5.86	1.0	50.19	0.7	14.20	0.9	4.72	1.2	2.01	0.8	2.83	0.8	9.20	1.5	3.01	0.8
CC2									2		1300	8.2																		
		2				10	10				"	"																		
										2	"	"	4	CC3	75.1															
														CT3	2.6															
CC3									2		1300	8.1																		
											"	"																		
										2	"	8.3	4	CC4	74.0	4.9	91.39	91.1	3.84	0.3	1.41	0.5	0.53	0.8	0.15	0.3	0.14	0.2	1.25	1.2	0.18	0.3
														CT4	1.1															
														CT3+CT4	3.7	0.2	25.36	1.3	39.36	0.2	11.38	0.2	3.66	0.3	1.50	0.2	2.04	0.2	7.96	0.4	1.98	0.2
Total	55	11			500	60	60					Total	24	Calc Feed	1498.0	100.0	4.96	100.0	58.52	100.0	13.29	100.0	3.27	100.0	2.18	100.0	3.00	100.0	5.29	100.0	3.18	100.0

Liite 5. Vaahdotuskokeiden kemialliset analyysit.

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatvan grafiitti Test 1
Method	MP10
Report date	9/26/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	CA-CS included in the end (highlighted with grey)

Contents (%)

	Test1/ RC1 159991-1	Test1/ RC2 159991-2	Test1/ RC3 159991-3	Test1/ Tails 159991-4
SiO2	36.600	55.900	54.000	56.400
TiO2	0.580	0.690	0.690	0.670
Al2O3	10.900	15.500	15.300	13.800
Cr2O3	0.020	0.024	0.027	0.023
V2O3	0.070	0.077	0.076	0.062
FeO	6.010	8.880	9.500	10.900
MnO	0.058	0.066	0.070	0.051
MgO	2.780	3.150	3.310	2.640
CaO	2.440	3.510	3.360	3.110
Rb2O	0.000	0.003	0.003	0.002
SrO	0.019	0.027	0.026	0.026
BaO	0.033	0.043	0.041	0.045
Na2O	0.620	1.180	1.130	1.110
K2O	1.310	1.610	1.610	1.590
ZrO2	0.016	0.021	0.021	0.023
P2O5	0.070	0.111	0.113	0.156
CO2	93.500	6.380	3.480	0.290
OxSumm	88.300	94.800	92.900	93.600
Cu	0.022	0.104	0.322	0.014
Ni	0.012	0.019	0.021	0.028
Co	0.004	0.010	0.011	0.011
Zn	0.055	0.087	0.113	0.090
Pb	0.015	0.046	0.045	0.013
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000
S	1.980	3.760	4.060	5.200
As	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.010	0.011	0.010	0.010
Bi	0.002	0.005	0.005	0.005
Te	0.002	0.002	0.001	0.000
Y	0.001	0.002	0.002	0.001
Nb	0.001	0.001	0.000	0.001
Mo	0.026	0.014	0.005	0.000
Sn	0.003	0.002	0.002	0.001
W	0.001	0.000	0.001	0.000
Cl	0.011	0.015	0.016	0.014
Th	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.001	0.001	0.002	0.002
La	0.005	0.006	0.004	0.004
Ce	0.009	0.008	0.009	0.007
Ta	0.001	0.000	0.001	0.003
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.002	0.002	0.003	0.002
Si	17.100	26.100	25.200	26.400
Ti	0.350	0.415	0.411	0.404
Cr	0.013	0.016	0.018	0.016
V	0.048	0.052	0.052	0.042
Fe	4.670	6.910	7.380	8.450
Mn	0.045	0.051	0.054	0.039
Mg	1.670	1.900	1.990	1.590
Ca	1.740	2.510	2.400	2.220
Ba	0.029	0.038	0.036	0.040
C	25.500	1.740	0.950	0.080
S	2.120	3.499	4.005	5.278

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatvan grafiitti Test 2
Method	MP10
Report date	10/7/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	CA-CS included in the end (highlighted with grey)

Contents (%)

	Test 2/ RC1 160406-1	Test 2/ RC2 160406-2	Test 2/ RC3 160406-3	Test 2/ Tails 160406-4
SiO2	32.200	54.600	55.400	57.500
TiO2	0.530	0.700	0.660	0.700
Al2O3	9.650	15.300	15.200	13.900
Cr2O3	0.016	0.023	0.024	0.023
V2O3	0.066	0.082	0.075	0.062
FeO	5.440	8.160	8.800	11.000
MnO	0.055	0.067	0.067	0.051
MgO	2.620	3.360	3.290	2.900
CaO	2.180	3.570	3.520	3.130
Rb2O	0.000	0.003	0.002	0.002
SrO	0.017	0.027	0.026	0.026
BaO	0.031	0.043	0.040	0.047
Na2O	0.590	1.230	1.250	1.170
K2O	1.170	1.610	1.560	1.610
ZrO2	0.015	0.020	0.020	0.024
P2O5	0.065	0.091	0.112	0.164
CO2	117.900	9.610	3.850	0.330
OxSumm	87.800	93.400	93.500	95.100
Cu	0.020	0.065	0.252	0.016
Ni	0.011	0.018	0.018	0.028
Co	0.004	0.014	0.009	0.008
Zn	0.049	0.075	0.093	0.094
Pb	0.013	0.044	0.040	0.014
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000
S	1.630	3.080	3.500	4.950
As	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.008	0.011	0.009	0.010
Bi	0.003	0.005	0.005	0.005
Te	0.003	0.001	0.001	0.001
Y	0.001	0.002	0.002	0.002
Nb	0.001	0.001	0.001	0.001
Mo	0.026	0.024	0.005	0.000
Sn	0.002	0.001	0.002	0.002
W	0.000	0.001	0.001	0.001
Cl	0.013	0.014	0.014	0.014
Th	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.001	0.000	0.002	0.000
La	0.005	0.005	0.003	0.003
Ce	0.007	0.008	0.009	0.008
Ta	0.001	0.000	0.001	0.000
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.001	0.002	0.002	0.002
Si	15.000	25.500	25.900	26.900
Ti	0.317	0.418	0.398	0.418
Cr	0.011	0.016	0.017	0.016
V	0.045	0.056	0.051	0.042
Fe	4.230	6.350	6.840	8.550
Mn	0.042	0.052	0.052	0.040
Mg	1.580	2.030	1.980	1.750
Ca	1.560	2.550	2.510	2.240
Ba	0.028	0.039	0.036	0.042
C	32.100	2.620	1.050	0.090
S	1.909	3.208	3.805	5.162

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

Batch	Siikalatva Test 3
Method	MP10
Report date	10/7/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	Smaller sample sizes highlighted with blue. CA-CS included in the end (highlighted with grey)

Contents (%)

	Test 3/ CT1 160875-1	Test 3/ CT2 160875-2	Test 3/ CT3 160875-3	Test 3/ CT4 160875-4	Test 3/ CC4 160875-5	Test 3/ Tails 160875-6
SiO2	55.000	53.400	28.000	11.700	3.320	57.500
TiO2	0.740	0.720	0.750	0.435	0.097	0.690
Al2O3	15.500	15.300	8.910	4.060	1.270	13.700
Cr2O3	0.037	0.040	0.030	0.015	0.004	0.025
V2O3	0.087	0.087	0.095	0.058	0.014	0.061
FeO	9.710	9.850	5.980	2.930	1.520	10.900
MnO	0.077	0.088	0.077	0.044	0.022	0.053
MgO	3.570	3.780	3.560	1.830	0.520	2.890
CaO	3.570	3.440	1.670	0.630	0.175	3.120
Rb2O	0.004	0.004	0.000	0.004	0.002	0.002
SrO	0.027	0.023	0.013	0.001	0.000	0.025
BaO	0.043	0.043	0.038	0.022	0.005	0.049
Na2O	1.210	1.110	0.370	0.100	0.010	1.190
K2O	1.680	1.670	1.490	0.790	0.165	1.600
ZrO2	0.022	0.023	0.014	0.005	0.003	0.023
P2O5	0.099	0.101	0.043	0.015	0.003	0.170
CO2	0.480	5.240	138.800	248.900	312.400	0.290
OxSumm	93.400	92.900	90.000	91.000	92.600	94.800
Cu	0.078	0.083	0.052	0.022	0.018	0.016
Ni	0.022	0.022	0.010	0.005	0.002	0.028
Co	0.010	0.007	0.003	0.005	0.004	0.009
Zn	0.105	0.118	0.060	0.024	0.014	0.090
Pb	0.026	0.032	0.023	0.018	0.010	0.013
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	3.160	2.780	1.320	0.540	0.307	4.950
As	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.011	0.009	0.005	0.000	0.000	0.011
Bi	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.005
Te	0.000	0.001	0.006	0.003	0.002	0.000
Y	0.003	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002
Nb	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Mo	0.003	0.020	0.137	0.069	0.036	0.000
Sn	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
W	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Cl	0.016	0.015	0.013	0.008	0.003	0.016
Th	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
La	0.004	0.007	0.004	0.003	0.001	0.004
Ce	0.011	0.011	0.009	0.005	0.002	0.006
Ta	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002
Si	25.700	25.000	13.100	5.470	1.550	26.900
Ti	0.442	0.432	0.452	0.261	0.058	0.413
Cr	0.025	0.027	0.021	0.011	0.003	0.017
V	0.059	0.059	0.065	0.040	0.010	0.042
Fe	7.550	7.660	4.650	2.280	1.180	8.480
Mn	0.060	0.069	0.059	0.034	0.017	0.041
Mg	2.150	2.280	2.150	1.110	0.310	1.740
Ca	2.550	2.460	1.200	0.450	0.125	2.230
Ba	0.038	0.038	0.034	0.020	0.005	0.044
C	0.130	1.430	37.900	67.900	85.200	0.080
S	3.183	2.803	1.360	0.562	0.333	5.133

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatvan grafiitti Test 4
Method	MP10
Report date	10/11/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	CA-CS included in the end (highlighted with grey)

Contents (%)

	Test 4/ CT1 161322-1	Test 4/ CT2 161322-2	Test 4/ CT3 161322-3	Test 4/ CT4 161322-4	Test 4/ CC4 161322-5	Test 4/ Tails 161322-6
SiO2	55.000	49.600	21.700	4.700	1.370	57.500
TiO2	0.750	0.840	0.426	0.135	0.032	0.690
Al2O3	15.600	14.900	6.820	1.620	0.550	13.800
Cr2O3	0.038	0.056	0.027	0.007	0.002	0.024
V2O3	0.087	0.104	0.052	0.017	0.005	0.063
FeO	9.590	12.300	6.610	1.980	0.900	11.200
MnO	0.077	0.117	0.068	0.024	0.011	0.050
MgO	3.530	4.260	2.140	0.570	0.200	2.680
CaO	3.610	3.010	1.350	0.283	0.056	3.140
Rb2O	0.004	0.005	0.000	0.002	0.001	0.003
SrO	0.026	0.021	0.011	0.001	0.000	0.025
BaO	0.045	0.047	0.023	0.007	0.002	0.045
Na2O	1.210	0.930	0.300	0.030	0.000	1.180
K2O	1.700	1.850	0.850	0.209	0.045	1.590
ZrO2	0.024	0.024	0.012	0.003	0.001	0.025
P2O5	0.106	0.087	0.035	0.006	0.002	0.156
CO2	0.700	6.450	181.300	318.600	355.000	0.330
OxSumm	93.600	91.600	91.000	96.900	100.200	95.200
Cu	0.073	0.090	0.055	0.022	0.012	0.017
Ni	0.019	0.016	0.011	0.003	0.002	0.028
Co	0.014	0.011	0.008	0.003	0.004	0.017
Zn	0.084	0.089	0.048	0.015	0.007	0.094
Pb	0.025	0.032	0.024	0.013	0.008	0.013
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	3.290	2.600	1.410	0.467	0.263	5.280
As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.012	0.009	0.006	0.000	0.000	0.009
Bi	0.005	0.005	0.002	0.001	0.001	0.004
Te	0.002	0.001	0.004	0.002	0.004	0.000
Y	0.002	0.003	0.001	0.001	0.000	0.002
Nb	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Mo	0.002	0.054	0.150	0.090	0.024	0.000
Sn	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002
W	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cl	0.017	0.015	0.008	0.004	0.003	0.014
Th	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002
La	0.006	0.006	0.005	0.002	0.001	0.003
Ce	0.010	0.013	0.007	0.003	0.001	0.008
Ta	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002
Si	25.700	23.200	10.200	2.200	0.640	26.900
Ti	0.447	0.500	0.255	0.081	0.019	0.415
Cr	0.026	0.038	0.019	0.005	0.001	0.017
V	0.059	0.071	0.035	0.012	0.004	0.043
Fe	7.460	9.530	5.140	1.540	0.700	8.740
Mn	0.060	0.090	0.053	0.019	0.009	0.038
Mg	2.130	2.570	1.290	0.340	0.120	1.620
Ca	2.580	2.150	0.960	0.202	0.040	2.240
Ba	0.040	0.042	0.020	0.006	0.002	0.041
C	0.190	1.760	49.500	86.900	96.800	0.090
S	3.130	2.530	1.420	0.410	0.250	5.303

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 5
Method	MP10
Report date	10/18/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	

Contents (%)

	Test 5/ CT1 161869-1	Test 5/ CT2 161869-2	Test 5/ CT3 161869-3	Test 5/ CT4 161869-4	Test 5/ CC4 161869-5	Test 5/ Tails 161869-6
SiO2	55.600	52.200	46.200	20.700	3.500	58.300
TiO2	0.760	0.930	0.940	0.650	0.119	0.680
Al2O3	15.600	15.900	14.400	7.030	1.350	13.800
Cr2O3	0.035	0.046	0.044	0.026	0.005	0.038
V2O3	0.087	0.115	0.118	0.081	0.018	0.060
FeO	9.100	9.260	9.180	5.290	1.560	11.200
MnO	0.070	0.092	0.096	0.067	0.022	0.052
MgO	3.620	4.570	4.670	2.840	0.570	2.710
CaO	3.610	3.310	2.840	1.240	0.173	3.150
Rb2O	0.003	0.004	0.005	0.000	0.002	0.002
SrO	0.026	0.024	0.020	0.009	0.001	0.026
BaO	0.047	0.053	0.053	0.031	0.006	0.049
Na2O	1.210	1.050	0.820	0.230	0.010	1.190
K2O	1.680	2.110	2.050	1.220	0.195	1.580
ZrO2	0.023	0.025	0.024	0.013	0.003	0.025
P2O5	0.111	0.088	0.077	0.029	0.003	0.178
CO2	0.480	2.160	26.400	167.000	319.800	0.260
OxSumm	93.700	92.200	90.700	86.300	95.100	95.900
Cu	0.034	0.137	0.245	0.152	0.024	0.014
Ni	0.020	0.017	0.015	0.009	0.003	0.034
Co	0.003	0.010	0.008	0.004	0.002	0.009
Zn	0.090	0.088	0.088	0.044	0.014	0.093
Pb	0.018	0.020	0.021	0.017	0.010	0.014
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	3.300	2.640	2.650	1.480	0.450	5.150
As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.012	0.009	0.009	0.007	0.000	0.011
Bi	0.005	0.004	0.005	0.001	0.001	0.005
Te	0.002	0.002	0.001	0.005	0.003	0.001
Y	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002
Nb	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Mo	0.000	0.005	0.057	0.130	0.044	0.001
Sn	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003
W	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Cl	0.016	0.016	0.015	0.010	0.003	0.015
Th	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000
La	0.005	0.007	0.006	0.004	0.002	0.005
Ce	0.007	0.012	0.014	0.008	0.002	0.008
Ta	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000	0.002
Si	26.000	24.400	21.600	9.690	1.640	27.300
Ti	0.455	0.560	0.560	0.390	0.071	0.406
Cr	0.024	0.031	0.030	0.018	0.003	0.026
V	0.059	0.078	0.080	0.055	0.013	0.041
Fe	7.080	7.200	7.140	4.120	1.210	8.680
Mn	0.055	0.072	0.074	0.052	0.017	0.040
Mg	2.190	2.760	2.820	1.710	0.350	1.640
Ca	2.580	2.360	2.030	0.890	0.124	2.250
Ba	0.042	0.047	0.047	0.028	0.005	0.044
C	0.130	0.590	7.200	45.500	87.200	0.070

		Instrument	Leco	Leco
		Analyte	C	S
		Unit Symbol	%	%
Analysis Order Headline	Lab-ID	Analysis Method	CA-CS	CA-CS
Siikalatvan grafiitti	161869-1	Test 5/ CT1	0.13	3.34
Test 5	161869-2	Test 5/ CT2	0.59	2.73
	161869-3	Test 5/ CT3	7.20	2.71
	161869-4	Test 5/ CT4	45.53	1.66
	161869-5	Test 5/ CC4	87.22	0.49
	161869-6	Test 5/ Tails	0.07	5.28

Analysis Report

Axios RRFPO XRF results

Batch	Siikalatvan grafiitti, Test 6, 16.10.2024
Method	MP10
Report date	10/22/2024
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	CA-C mukana laskennassa

Contents (%)

	Test 6/ CT1 162440-1	Test 6/ CT2 162440-2	Test 6/ CT3 162440-3	Test 6/ CT4 162440-4	Test 6/ CC4 162440-5	Test 6/ Tails 162440-6
SiO2	54.900	52.600	41.300	26.500	2.820	57.800
TiO2	0.810	0.870	0.800	0.650	0.082	0.680
Al2O3	15.400	15.600	12.600	8.570	1.090	13.700
Cr2O3	0.041	0.045	0.040	0.028	0.004	0.040
V2O3	0.093	0.108	0.097	0.081	0.012	0.060
FeO	9.320	10.200	8.780	6.640	1.360	11.400
MnO	0.073	0.095	0.093	0.079	0.020	0.053
MgO	3.750	4.420	4.120	3.270	0.440	2.690
CaO	3.500	3.350	2.510	1.580	0.137	3.180
Rb2O	0.003	0.004	0.003	0.001	0.001	0.003
SrO	0.026	0.024	0.018	0.011	0.000	0.027
BaO	0.046	0.048	0.045	0.032	0.004	0.051
Na2O	1.180	1.050	0.690	0.330	0.000	1.210
K2O	1.780	1.960	1.700	1.280	0.134	1.580
ZrO2	0.024	0.026	0.023	0.017	0.002	0.026
P2O5	0.102	0.094	0.071	0.040	0.003	0.167
CO2	0.370	1.760	61.200	129.200	322.700	0.260
OxSumm	93.300	92.800	91.200	85.700	94.400	95.700
Cu	0.076	0.078	0.071	0.060	0.018	0.014
Ni	0.022	0.019	0.015	0.011	0.002	0.035
Co	0.011	0.010	0.010	0.006	0.003	0.022
Zn	0.099	0.106	0.090	0.064	0.012	0.094
Pb	0.017	0.026	0.028	0.028	0.010	0.014
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	3.550	2.930	2.360	1.650	0.390	5.360
As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb	0.010	0.009	0.009	0.008	0.000	0.009
Bi	0.004	0.005	0.004	0.002	0.001	0.005
Te	0.001	0.001	0.001	0.004	0.003	0.001
Y	0.002	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001
Nb	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Mo	0.000	0.010	0.088	0.164	0.042	0.001
Sn	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001
W	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Cl	0.017	0.016	0.014	0.011	0.003	0.016
Th	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
La	0.004	0.007	0.005	0.005	0.002	0.004
Ce	0.009	0.015	0.012	0.009	0.002	0.009
Ta	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
LOI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.002
Si	25.700	24.600	19.300	12.400	1.320	27.000
Ti	0.483	0.520	0.478	0.392	0.049	0.410
Cr	0.028	0.031	0.027	0.019	0.003	0.027
V	0.063	0.074	0.066	0.055	0.008	0.041
Fe	7.250	7.940	6.820	5.160	1.050	8.890
Mn	0.056	0.073	0.072	0.061	0.015	0.041
Mg	2.260	2.670	2.480	1.970	0.260	1.620
Ca	2.500	2.390	1.790	1.130	0.098	2.270
Ba	0.041	0.043	0.040	0.029	0.004	0.046
C	0.100	0.480	16.700	35.200	88.000	0.070

		Instrument	Leco	Leco
		Analyte	C	S
		Unit Symbol	%	%
Analysis Order Headline	Lab-ID	Analysis Method		
	162440-1	Test 6/ CT1	0.10	3.36
	162440-2	Test 6/ CT2	0.48	2.84
	162440-3	Test 6/ CT3	16.68	2.28
	162440-4	Test 6/ CT4	35.23	1.64
	162440-5	Test 6/ CC4	87.99	0.36
	162440-6	Test 6/ Tails	0.07	5.09

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 6 (jatko)
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	24.10.2024
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes Samples 1-3 were prepared from 5 g.

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
162667-1	Test 6/ CT5			83.33	0.57	2.454	0.034	0.409	0.01	2.284	3.266
162667-2	Test 6/ CT6			89.61	0.37	1.521	0.029	0.209	0.005	1.651	2.361
162667-3	Test 6/ CC6			89.92	0.32	1.505	0.027	0.172	0.004	1.839	2.629
162667-4	Test 6/ M			0.05	37.04	1.720	< 0.001	0.346	0.200	52.890	75.617
162667-5	Test 6/ NM			0.08	1.66	15.510	0.067	3.650	0.023	3.644	5.210

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
162667-1	Test 6/ CT5	0.525	1.487		0.044	0.157	0.012	0.003	7.112	0.003	0.25
162667-2	Test 6/ CT6	0.267	0.981		0.032	0.088	0.007	0.001	4.135	0.001	0.133
162667-3	Test 6/ CC6	0.191	0.958		0.037	0.075	0.003	< 0.001	3.823	0.001	0.089
162667-4	Test 6/ M	0.157	0.707	0.020		0.615	< 0.001	< 0.001	5.570	0.002	0.054
162667-5	Test 6/ NM	2.140	4.720		0.068	3.180	0.206	0.006	62.270	0.029	0.718

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
162667-1	Test 6/ CT5	0.046	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.002	0.006	0.009	0.035
162667-2	Test 6/ CT6	0.026	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.002	0.006	0.011	0.033
162667-3	Test 6/ CC6	0.019	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.008	0.014	0.039
162667-4	Test 6/ M	0.010	0.003	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.023	0.062	< 0.001	0.043
162667-5	Test 6/ NM	0.085	0.021	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004	0.010	0.038	< 0.001	0.010

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
162667-1	Test 6/ CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.154
162667-2	Test 6/ CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.13
162667-3	Test 6/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.11
162667-4	Test 6/ M	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.040	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.018
162667-5	Test 6/ NM	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.002

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
162667-1	Test 6/ CT5	0.002	0.001	0.003	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
162667-2	Test 6/ CT6	0.002	< 0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
162667-3	Test 6/ CC6	0.002	< 0.001	0.002	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
162667-4	Test 6/ M	< 0.001	< 0.001	0.255	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
162667-5	Test 6/ NM	0.001	0.002	0.008	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
162667-1	Test 6/ CT5	0.002	0.003	0.004	< 0.001	< 0.001	0.039	0.002	< 0.001	0.026	96.5
162667-2	Test 6/ CT6	0.001	0.004	0.003	< 0.001	< 0.001	0.023	< 0.001	< 0.001	0.021	97.27
162667-3	Test 6/ CC6	0.001	0.004	0.004	< 0.001	< 0.001	0.036	0.001	< 0.001	0.023	96.51
162667-4	Test 6/ M	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.067	0.001	< 0.001	0.055	101.7
162667-5	Test 6/ NM	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.187	0.003	< 0.001	0.086	102.7

Lab ID	Client ID	F	I	Se
		(%)	(%)	(%)
162667-1	Test 6/ CT5		0.002	
162667-2	Test 6/ CT6		0.003	
162667-3	Test 6/ CC6		0.004	
162667-4	Test 6/ M			0.010
162667-5	Test 6/ NM			

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 7
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	11/8/2024
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen
Notes	Alle 0.5% ja alle 2% S Leco, muut CS-tulokset Eltra

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	calc	PP-XRF12
163136-1	Test 7/ CT1			0.13	3.54	16.090	0.059	3.620	0.036	6.798	9.720
163136-2	Test 7/ CT2			3.91	3.25	15.650	0.063	3.270	0.049	7.652	10.940
163136-3	Test 7/ CT3			40.16	2.80	9.014	0.034	1.903	0.030	6.019	8.606
163136-4	Test 7/ CT4			80.79	0.69	2.731	0.018	0.521	0.010	2.557	3.656
163136-5	Test 7/ CT5			90.42	0.39	1.362	0.015	0.205	0.005	1.446	2.067
163136-6	Test 7/ CT6			94.01	0.33	0.849	0.019	0.101	0.002	0.944	1.349
163136-7	Test 7/ CC6			94.53	0.24	0.788	0.014	0.071	0.002	0.972	1.390
163136-8	Test 7/ Tails			0.11	6.24	13.760	0.060	3.190	0.035	7.862	11.240

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163136-1	Test 7/ CT1	2.190	5.760		0.086	3.020	0.108	0.007	54.510	0.025	0.773
163136-2	Test 7/ CT2	2.440	6.770		0.123	2.420	0.096	0.008	49.650	0.021	0.847
163136-3	Test 7/ CT3	1.361	3.841		0.088	1.130	0.060	0.004	29.983	0.012	0.511
163136-4	Test 7/ CT4	0.482	1.503		0.045	0.221	0.016	0.002	8.438	0.003	0.232
163136-5	Test 7/ CT5	0.223	0.859		0.027	0.086	0.007	< 0.001	3.790	0.001	0.120
163136-6	Test 7/ CT6	0.120	0.564		0.018	0.056	0.002	< 0.001	2.223	< 0.001	0.064
163136-7	Test 7/ CC6	0.082	0.535		0.019	0.051	0.001	< 0.001	1.939	< 0.001	0.041
163136-8	Test 7/ Tails	1.860	4.100		0.060	2.950	0.168	0.005	55.210	0.024	0.623

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163136-1	Test 7/ CT1	0.125	0.017	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.011	0.020	< 0.001	0.065
163136-2	Test 7/ CT2	0.147	0.019	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.011	0.012	0.015	< 0.001	0.059
163136-3	Test 7/ CT3	0.084	0.013	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.008	0.015	0.002	0.048
163136-4	Test 7/ CT4	0.039	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.003	0.009	0.004	0.028
163136-5	Test 7/ CT5	0.021	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.001	0.007	0.006	0.020
163136-6	Test 7/ CT6	0.012	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.010	0.015
163136-7	Test 7/ CC6	0.010	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.006	0.009	0.019
163136-8	Test 7/ Tails	0.073	0.016	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.009	0.043	< 0.001	0.016

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163136-1	Test 7/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.004
163136-2	Test 7/ CT2	< 0.001	0.001	< 0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.005	< 0.001	0.038
163136-3	Test 7/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	0.004	< 0.001	0.158
163136-4	Test 7/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.168
163136-5	Test 7/ CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.126
163136-6	Test 7/ CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.090
163136-7	Test 7/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.041
163136-8	Test 7/ Tails	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163136-1	Test 7/ CT1	< 0.001	0.002	0.018	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-2	Test 7/ CT2	< 0.001	0.005	0.014	0.009	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-3	Test 7/ CT3	< 0.001	0.002	0.010	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-4	Test 7/ CT4	0.002	0.001	0.004	0.003	< 0.001	1.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-5	Test 7/ CT5	0.002	< 0.001	0.002	0.001	< 0.001	0.585	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-6	Test 7/ CT6	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.456	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163136-7	Test 7/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.423	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001
163136-8	Test 7/ Tails	< 0.001	< 0.001	0.028	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
163136-1	Test 7/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.087	0.003	< 0.001	0.079	105.0
163136-2	Test 7/ CT2	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.066	0.004	< 0.001	0.084	104.7
163136-3	Test 7/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.044	0.003	< 0.001	0.061	101.5
163136-4	Test 7/ CT4	0.002	0.002	0.003	< 0.001	< 0.001	0.033	0.001	< 0.001	0.026	97.6
163136-5	Test 7/ CT5	0.002	0.003	0.002	< 0.001	< 0.001	0.026	< 0.001	< 0.001	0.015	98.7
163136-6	Test 7/ CT6	0.002	0.003	0.003	< 0.001	< 0.001	0.017	< 0.001	< 0.001	0.010	99.8
163136-7	Test 7/ CC6	0.002	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.018	< 0.001	< 0.001	0.011	99.3
163136-8	Test 7/ Tails	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.178	0.002	< 0.001	0.077	108.6

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

Batch	Siikalatva Test 8
Method	X_UQ_3600W Oxides, X_UQ_3600W Sulphides
Report date	11/8/2024
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen
Notes	Näytteet 6, 7, ja 8 laskettu sulfidisina, näytteet 3, 4, ja 5 puriste valmistettu 4 grammasta näytettä

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163297-1	Test 8/ CT1			0.68	3.32	16.080	0.056	3.650	0.033	7.001	10.010
163297-2	Test 8/ CT2			4.62	2.81	15.120	0.069	3.020	0.048	9.198	13.150
163297-3	Test 8/ CT3			64.06	2.04	5.024	0.040	1.039	0.020	4.657	6.658
163297-4	Test 8/ CT4			89.66	0.33	1.322	0.027	0.201	0.005	1.546	2.211
163297-5	Test 8/ CC4			97.29	0.22	0.396	0.007	0.032	< 0.001	0.460	0.658
163297-6	Test 8/ M			0.07	32.31	3.550	< 0.001	0.729	0.029	48.900	
163297-7	Test 8/ S conc1			0.33	27.63	8.610	0.021	1.930	0.012	22.550	
163297-8	Test 8/ S conc2			0.74	9.87	14.690	0.049	3.280	0.035	10.960	
163297-9	Test 8/ S tails			0.08	0.25	15.860	0.071	3.710	0.023	2.623	3.750

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163297-1	Test 8/ CT1	2.110	5.460		0.091	3.040	0.110	0.007	54.130	0.025	0.729
163297-2	Test 8/ CT2	2.470	7.200		0.149	2.140	0.090	0.008	47.640	0.019	0.900
163297-3	Test 8/ CT3	0.937	2.504		0.075	0.483	0.030	0.004	16.176	0.007	0.400
163297-4	Test 8/ CT4	0.252	0.840		0.029	0.083	0.005	0.001	3.696	0.001	0.131
163297-5	Test 8/ CC4	0.040	0.275		0.009	0.025	< 0.001	< 0.001	0.968	< 0.001	0.020
163297-6	Test 8/ M	0.295	1.050	0.016		1.070	0.056	< 0.001	11.270	0.004	0.096
163297-7	Test 8/ S conc1	0.914	2.790	0.049		1.970	0.101	0.002	30.580	0.011	0.294
163297-8	Test 8/ S conc2	1.720	5.170	0.076		2.780	0.134	0.005	49.100	0.022	0.579
163297-9	Test 8/ S tails	2.230	4.980		0.068	3.240	0.228	0.007	64.090	0.030	0.752

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163297-1	Test 8/ CT1	0.116	0.017	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.011	0.023	< 0.001	0.073
163297-2	Test 8/ CT2	0.152	0.018	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.009	0.013	0.013	< 0.001	0.085
163297-3	Test 8/ CT3	0.069	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.005	0.015	0.009	0.048
163297-4	Test 8/ CT4	0.024	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.007	0.012	0.022
163297-5	Test 8/ CC4	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	< 0.001	0.008
163297-6	Test 8/ M	0.014	0.003	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.022	0.061	< 0.001	0.042
163297-7	Test 8/ S conc1	0.042	0.012	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.019	0.047	< 0.001	0.129
163297-8	Test 8/ S conc2	0.086	0.015	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004	0.008	0.029	< 0.001	0.143
163297-9	Test 8/ S tails	0.089	0.022	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.012	0.039	< 0.001	0.013

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163297-1	Test 8/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.009
163297-2	Test 8/ CT2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	0.086
163297-3	Test 8/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.244
163297-4	Test 8/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.181
163297-5	Test 8/ CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.018
163297-6	Test 8/ M	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.036	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005
163297-7	Test 8/ S conc1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.015	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003
163297-8	Test 8/ S conc2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	0.005
163297-9	Test 8/ S tails	< 0.001	0.005	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	0.002

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
163297-1	Test 8/ CT1	< 0.001	0.002	0.015	0.013	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-2	Test 8/ CT2	0.001	0.003	0.013	0.020	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-3	Test 8/ CT3	0.002	0.001	0.006	0.009	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-4	Test 8/ CT4	0.003	< 0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-5	Test 8/ CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-6	Test 8/ M	< 0.001	< 0.001	0.195	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-7	Test 8/ S conc1	< 0.001	< 0.001	0.083	0.051	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-8	Test 8/ S conc2	< 0.001	0.002	0.038	0.014	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
163297-9	Test 8/ S tails	0.002	0.002	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
163297-1	Test 8/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.097	0.003	< 0.001	0.075	105.0 %
163297-2	Test 8/ CT2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.049	0.004	< 0.001	0.076	103.4 %
163297-3	Test 8/ CT3	0.002	0.003	0.003	< 0.001	< 0.001	0.048	0.002	< 0.001	0.039	97.2 %
163297-4	Test 8/ CT4	0.002	0.003	0.004	< 0.001	< 0.001	0.028	< 0.001	< 0.001	0.015	99.2 %
163297-5	Test 8/ CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.016	< 0.001	< 0.001	0.005	101.1 %
163297-6	Test 8/ M	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.084	< 0.001	< 0.001	0.074	100.9 %
163297-7	Test 8/ S conc1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.121	0.002	< 0.001	1.670	105.5 %
163297-8	Test 8/ S conc2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.115	0.003	< 0.001	0.325	104.7 %
163297-9	Test 8/ S tails	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.193	0.003	< 0.001	0.017	103.3 %

Lab ID	Client ID	Cd	F	Se
163297-1	Test 8/ CT1			
163297-2	Test 8/ CT2			0.001
163297-3	Test 8/ CT3			
163297-4	Test 8/ CT4			
163297-5	Test 8/ CC4			
163297-6	Test 8/ M			0.010
163297-7	Test 8/ S conc1	0.018		0.007
163297-8	Test 8/ S conc2	0.003		0.003
163297-9	Test 8/ S tails		0.223	

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 8-14
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	1/22/2025
Client	GTK / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
164930-1	Test 9-14/ CT1			0.21	3.23	16.310	0.064	3.610	0.035	6.729	9.620
164930-2	Test 9-14/ CT2			6.56	2.34	15.270	0.059	2.980	0.041	7.449	10.650
164930-3	Test 9-14/ CT3			43.78	1.66	8.600	0.056	1.790	0.026	5.735	8.200
164930-4	Test 9-14/ CT4			81.19	0.65	2.700	0.040	0.514	0.010	2.588	3.700
164930-5	Test 9-14/ CT5			86.90	0.46	1.870	0.034	0.321	0.006	1.972	2.820
164930-6	Test 9-14/ CT6			91.59	0.34	1.200	0.031	0.158	0.004	1.413	2.020
164930-7	Test 9-14/ CC6			93.30	0.25	0.990	0.028	0.094	0.002	1.252	1.790
164930-8	Test 9-14/ Tails			0.13	5.41	13.830	0.060	3.180	0.032	7.659	10.950

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
164930-1	Test 9-14/ CT1	2.250	6.140		0.089	2.990	0.116	0.007	54.030	0.025	0.796
164930-2	Test 9-14/ CT2	2.230	5.630		0.109	2.220	0.091	0.007	50.540	0.020	0.766
164930-3	Test 9-14/ CT3	1.280	3.650		0.084	1.080	0.060	0.004	28.710	0.012	0.479
164930-4	Test 9-14/ CT4	0.466	1.460		0.045	0.210	0.015	0.002	8.340	0.003	0.228
164930-5	Test 9-14/ CT5	0.317	1.080		0.036	0.127	0.010	0.002	5.490	0.002	0.163
164930-6	Test 9-14/ CT6	0.185	0.770		0.027	0.077	0.004	<0.001	3.230	<0.001	0.101
164930-7	Test 9-14/ CC6	0.110	0.659		0.024	0.062	0.002	<0.001	2.460	<0.001	0.054
164930-8	Test 9-14/ Tails	1.860	4.070		0.058	2.980	0.165	0.005	56.160	0.024	0.616

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
164930-1	Test 9-14/ CT1	0.128	0.023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	0.025	<0.001	0.053
164930-2	Test 9-14/ CT2	0.133	0.025	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.011	0.018	<0.001	0.056
164930-3	Test 9-14/ CT3	0.079	0.018	<0.001	<0.001	<0.001	0.005	0.007	0.024	<0.001	0.048
164930-4	Test 9-14/ CT4	0.038	0.008	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.015	0.015	0.029
164930-5	Test 9-14/ CT5	0.028	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.026
164930-6	Test 9-14/ CT6	0.019	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	0.024
164930-7	Test 9-14/ CC6	0.012	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.015	0.025
164930-8	Test 9-14/ Tails	0.071	0.021	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.009	0.045	<0.001	0.014

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
164930-1	Test 9-14/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.003
164930-2	Test 9-14/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	0.044
164930-3	Test 9-14/ CT3	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	0.194
164930-4	Test 9-14/ CT4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.232
164930-5	Test 9-14/ CT5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.190
164930-6	Test 9-14/ CT6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.137
164930-7	Test 9-14/ CC6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.058
164930-8	Test 9-14/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
164930-1	Test 9-14/ CT1	<0.001	0.002	0.017	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-2	Test 9-14/ CT2	<0.001	0.004	0.013	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-3	Test 9-14/ CT3	0.001	0.002	0.009	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-4	Test 9-14/ CT4	0.003	0.001	0.004	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-5	Test 9-14/ CT5	0.004	0.001	0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-6	Test 9-14/ CT6	0.003	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-7	Test 9-14/ CC6	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
164930-8	Test 9-14/ Tails	<0.001	<0.001	0.027	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
164930-1	Test 9-14/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.109	0.003	<0.001	0.083	105.1 %
164930-2	Test 9-14/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.066	0.004	<0.001	0.082	107.5 %
164930-3	Test 9-14/ CT3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.069	0.003	<0.001	0.061	99.7 %
164930-4	Test 9-14/ CT4	<0.001	<0.001	0.006	<0.001	<0.001	0.051	0.002	<0.001	0.027	97.3 %
164930-5	Test 9-14/ CT5	0.002	<0.001	0.006	<0.001	<0.001	0.050	0.001	<0.001	0.023	97.6 %
164930-6	Test 9-14/ CT6	0.002	<0.001	0.007	<0.001	<0.001	0.043	<0.001	<0.001	0.016	98.2 %
164930-7	Test 9-14/ CC6	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.036	<0.001	<0.001	0.015	98.3 %
164930-8	Test 9-14/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.190	0.002	<0.001	0.072	108.1 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatvan grafiitti Test 9-14 CC6 seulafraktiot
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	1/23/2025
Client	GTK / Tero Korhonen

Notes Sample 1 not enough sample for an XRF pellet

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165608-1	+180 µm			96.63	0.15						
165608-2	125/180 µm			96.01	0.19	0.563	<0.001	0.038	0.002	0.755	1.080
165608-3	90/125 µm			95.00	0.19	0.721	0.036	0.044	0.002	0.958	1.370
165608-4	63/90 µm			94.11	0.20	0.893	0.037	0.057	0.003	1.119	1.600
165608-5	45/63 µm			93.65	0.21	0.993	0.035	0.079	0.003	1.147	1.640
165608-6	-45 µm			89.90	0.38	1.520	0.045	0.252	0.008	1.567	2.240

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165608-1	+180 µm										
165608-2	125/180 µm	0.059	0.436		0.013	0.044	<0.001	<0.001	1.420	<0.001	0.030
165608-3	90/125 µm	0.081	0.536		0.018	0.046	<0.001	<0.001	1.750	<0.001	0.042
165608-4	63/90 µm	0.096	0.625		0.022	0.050	<0.001	<0.001	2.090	<0.001	0.049
165608-5	45/63 µm	0.098	0.641		0.023	0.056	0.002	<0.001	2.350	<0.001	0.046
165608-6	-45 µm	0.171	0.846		0.030	0.084	0.009	<0.001	4.130	0.002	0.073

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165608-1	+180 µm										
165608-2	125/180 µm	0.008	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	<0.001	0.026
165608-3	90/125 µm	0.011	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.020	0.028
165608-4	63/90 µm	0.012	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	<0.001	0.026
165608-5	45/63 µm	0.011	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.018	0.021
165608-6	-45 µm	0.012	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.011	0.022	0.044

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165608-1	+180 µm										
165608-2	125/180 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.023
165608-3	90/125 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.042
165608-4	63/90 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.058
165608-5	45/63 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.078
165608-6	-45 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.141

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
165608-1	+180 µm										
165608-2	125/180 µm	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
165608-3	90/125 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
165608-4	63/90 µm	0.002	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
165608-5	45/63 µm	0.002	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
165608-6	-45 µm	0.003	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
165608-1	+180 µm										
165608-2	125/180 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.036	<0.001	<0.001	0.012	99.5 %
165608-3	90/125 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	<0.001	<0.001	0.014	99.1 %
165608-4	63/90 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.031	<0.001	<0.001	0.014	98.8 %
165608-5	45/63 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.024	<0.001	<0.001	0.011	99.0 %
165608-6	-45 µm	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.050	<0.001	<0.001	0.014	98.9 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Test 15
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	3/13/2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes ver.2

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	calc	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1			46.07	1.75	7.970	0.031	1.250	0.015	4.190	5.990
167168-2	Test 15/RC2			4.52	3.35	14.590	0.037	2.280	0.019	5.581	7.980
167168-3	Test 15/RC3			1.67	3.77	14.810	0.038	2.400	0.019	5.868	8.390
167168-4	Test 15/Tails			0.07	3.49	13.940	0.046	2.340	0.017	5.393	7.710

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	1.640	2.430		0.059	1.320	0.082	0.009	30.630	0.009	0.434
167168-2	Test 15/RC2	2.660	4.470		0.082	3.160	0.122	0.013	55.660	0.015	0.674
167168-3	Test 15/RC3	2.750	4.270		0.078	3.190	0.124	0.013	57.310	0.016	0.622
167168-4	Test 15/Tails	3.030	3.550		0.065	3.150	0.145	0.012	61.610	0.016	0.464

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	0.087	0.023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.010	<0.001	0.014
167168-2	Test 15/RC2	0.118	0.020	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.020	<0.001	0.016
167168-3	Test 15/RC3	0.103	0.018	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	0.018	<0.001	0.192
167168-4	Test 15/Tails	0.074	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.009	0.024	<0.001	0.016

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.031
167168-2	Test 15/RC2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.025
167168-3	Test 15/RC3	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	0.001	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-2	Test 15/RC2	0.001	<0.001	0.014	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-3	Test 15/RC3	0.001	<0.001	0.017	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
167168-1	Test 15/RC1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.062	0.003	<0.001	0.046	96.9 %
167168-2	Test 15/RC2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.087	0.004	<0.001	0.060	104.1 %
167168-3	Test 15/RC3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.076	0.004	<0.001	0.075	104.3 %
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.118	0.004	<0.001	0.062	104.8 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

Batch	Test 15
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	3/13/2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen
Notes	ver.2

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	calc	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1			46.07	1.75	7.970	0.031	1.250	0.015	4.190	5.990
167168-2	Test 15/RC2			4.52	3.35	14.590	0.037	2.280	0.019	5.581	7.980
167168-3	Test 15/RC3			1.67	3.77	14.810	0.038	2.400	0.019	5.868	8.390
167168-4	Test 15/Tails			0.07	3.49	13.940	0.046	2.340	0.017	5.393	7.710

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	1.640	2.430		0.059	1.320	0.082	0.009	30.630	0.009	0.434
167168-2	Test 15/RC2	2.660	4.470		0.082	3.160	0.122	0.013	55.660	0.015	0.674
167168-3	Test 15/RC3	2.750	4.270		0.078	3.190	0.124	0.013	57.310	0.016	0.622
167168-4	Test 15/Tails	3.030	3.550		0.065	3.150	0.145	0.012	61.610	0.016	0.464

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	0.087	0.023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.010	<0.001	0.014
167168-2	Test 15/RC2	0.118	0.020	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.020	<0.001	0.016
167168-3	Test 15/RC3	0.103	0.018	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	0.018	<0.001	0.192
167168-4	Test 15/Tails	0.074	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.009	0.024	<0.001	0.016

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.031
167168-2	Test 15/RC2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.025
167168-3	Test 15/RC3	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167168-1	Test 15/RC1	0.001	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-2	Test 15/RC2	0.001	<0.001	0.014	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-3	Test 15/RC3	0.001	<0.001	0.017	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
167168-1	Test 15/RC1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.062	0.003	<0.001	0.046	96.9 %
167168-2	Test 15/RC2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.087	0.004	<0.001	0.060	104.1 %
167168-3	Test 15/RC3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.076	0.004	<0.001	0.075	104.3 %
167168-4	Test 15/Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.118	0.004	<0.001	0.062	104.8 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

Batch	Siikalatva Test 16_Composite_Q4422024R6
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	4/2/2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167537-1	Test 16/ CT1			1.18	3.27	15.220	0.021	2.300	0.028	6.582	9.410
167537-2	Test 16/ CT2			10.43	2.78	13.970	0.020	1.886	0.024	6.482	9.267
167537-3	Test 16/ CT3			80.80	0.50	3.022	0.014	0.421	0.008	2.058	2.942
167537-4	Test 16/ CT4			85.84	0.38	2.314	0.010	0.305	0.006	1.647	2.355
167537-5	Test 16/ CC4			86.30	0.39	2.258	0.013	0.288	0.006	1.700	2.431
167537-6	Test 16/ Tails			0.12	3.53	14.140	0.035	2.330	0.016	5.477	7.830

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167537-1	Test 16/ CT1	2.820	4.850		0.094	3.150	0.136	0.014	56.420	0.015	0.672
167537-2	Test 16/ CT2	2.266	3.807		0.080	2.615	0.114	0.012	51.674	0.013	0.642
167537-3	Test 16/ CT3	0.533	1.007		0.029	0.380	0.025	0.004	9.917	0.003	0.215
167537-4	Test 16/ CT4	0.383	0.785		0.023	0.257	0.019	0.002	7.018	0.002	0.167
167537-5	Test 16/ CC4	0.363	0.765		0.023	0.237	0.018	0.003	6.598	0.002	0.161
167537-6	Test 16/ Tails	2.980	3.480		0.062	3.200	0.145	0.011	61.210	0.016	0.455

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167537-1	Test 16/ CT1	0.121	0.026	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	0.025	<0.001	0.036
167537-2	Test 16/ CT2	0.110	0.026	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.008	0.020	< 0.001	0.031
167537-3	Test 16/ CT3	0.044	0.010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.011	0.004	0.009
167537-4	Test 16/ CT4	0.035	0.007	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.004	0.007
167537-5	Test 16/ CC4	0.034	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.010	0.006	0.007
167537-6	Test 16/ Tails	0.072	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.049	<0.001	0.019

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167537-1	Test 16/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.017
167537-2	Test 16/ CT2	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.047
167537-3	Test 16/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.035
167537-4	Test 16/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.024
167537-5	Test 16/ CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.025
167537-6	Test 16/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167537-1	Test 16/ CT1	0.001	0.002	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167537-2	Test 16/ CT2	0.001	0.001	0.014	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167537-3	Test 16/ CT3	0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167537-4	Test 16/ CT4	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167537-5	Test 16/ CC4	0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167537-6	Test 16/ Tails	<0.001	<0.001	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
167537-1	Test 16/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.086	0.004	<0.001	0.069	104.1
167537-2	Test 16/ CT2	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.077	0.004	< 0.001	0.058	107.3
167537-3	Test 16/ CT3	0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.046	0.002	< 0.001	0.015	97.3
167537-4	Test 16/ CT4	0.001	0.002	0.001	< 0.001	< 0.001	0.039	0.001	< 0.001	0.011	98.1
167537-5	Test 16/ CC4	0.002	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.039	0.001	< 0.001	0.011	98.1
167537-6	Test 16/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.201	0.003	<0.001	0.060	105.5

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 17_Composite_Q4422024R6
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/5/2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	calc	PP-XRF12
167637-1	Test 17/ CT1			0.40	3.60	15.120	0.025	2.330	0.027	6.610	9.450
167637-2	Test 17/ CT2			3.99	3.33	14.720	0.033	2.120	0.032	7.953	11.370
167637-3	Test 17/ CT3			78.57	0.62	3.284	0.013	0.463	0.010	2.421	3.461
167637-4	Test 17/ CT4			89.19	0.31	1.781	0.014	0.221	0.005	1.307	1.868
167637-5	Test 17/ CC4			89.54	0.29	1.757	0.009	0.212	0.005	1.348	1.927
167637-6	Test 17/ Tails			0.10	3.76	14.100	0.041	2.310	0.016	5.456	7.800

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167637-1	Test 17/ CT1	2.790	4.720		0.090	3.170	0.133	0.013	57.000	0.015	0.673
167637-2	Test 17/ CT2	2.500	4.760		0.109	2.980	0.126	0.013	52.680	0.013	0.741
167637-3	Test 17/ CT3	0.577	1.053		0.032	0.439	0.027	0.004	11.033	0.003	0.226
167637-4	Test 17/ CT4	0.287	0.613		0.018	0.184	0.014	0.002	5.247	0.001	0.127
167637-5	Test 17/ CC4	0.274	0.602		0.018	0.162	0.013	0.002	4.960	0.001	0.125
167637-6	Test 17/ Tails	3.000	3.560		0.062	3.180	0.144	0.012	60.980	0.016	0.457

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167637-1	Test 17/ CT1	0.118	0.025	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.029	<0.001	0.059
167637-2	Test 17/ CT2	0.128	0.033	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.027	<0.001	0.050
167637-3	Test 17/ CT3	0.045	0.009	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004	0.010	0.004	0.012
167637-4	Test 17/ CT4	0.027	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.007	0.006	0.006
167637-5	Test 17/ CC4	0.027	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.008	0.004	0.006
167637-6	Test 17/ Tails	0.073	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.050	<0.001	0.015

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167637-1	Test 17/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012
167637-2	Test 17/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.047
167637-3	Test 17/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.045
167637-4	Test 17/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.032
167637-5	Test 17/ CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.023
167637-6	Test 17/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167637-1	Test 17/ CT1	0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167637-2	Test 17/ CT2	0.001	<0.001	0.015	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
167637-3	Test 17/ CT3	0.001	< 0.001	0.004	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167637-4	Test 17/ CT4	0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167637-5	Test 17/ CC4	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
167637-6	Test 17/ Tails	<0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
167637-1	Test 17/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.097	0.004	<0.001	0.070	105.2
167637-2	Test 17/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.089	0.005	<0.001	0.062	104.2
167637-3	Test 17/ CT3	0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.037	0.002	< 0.001	0.016	97.8
167637-4	Test 17/ CT4	0.001	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.024	0.001	< 0.001	0.008	99.2
167637-5	Test 17/ CC4	0.002	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.029	0.001	< 0.001	0.007	99.0
167637-6	Test 17/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.208	0.003	<0.001	0.060	106.0

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 18 Composite Q4422024R6
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/4/2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	calc	PP-XRF12
167912-1	Test 18/ CT1			0.30	3.48	15.460	0.033	2.310	0.036	6.428	9.190
167912-2	Test 18/ CT2			0.73	3.36	15.530	0.026	2.160	0.043	7.554	10.800
167912-3	Test 18/ CT3			10.52	2.87	14.119	0.024	1.798	0.035	7.153	10.226
167912-4	Test 18/ CT4			64.68	1.13	5.469	0.010	0.766	0.016	3.528	5.044
167912-5	Test 18/CT5			83.92	0.47	2.587	0.009	0.346	0.008	1.850	2.645
167912-6	Test 18/CT6			87.50	0.34	2.058	0.007	0.259	0.006	1.498	2.142
167912-7	Test 18/ CC6			89.25	0.30	1.806	0.016	0.212	0.006	1.371	1.960
167912-8	Test 18/ Tails			0.11	3.31	14.110	0.034	2.320	0.033	5.372	7.680

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167912-1	Test 18/ CT1	2.940	5.180		0.094	3.110	0.137	0.014	56.560	0.015	0.673
167912-2	Test 18/ CT2	2.860	5.690		0.111	2.940	0.130	0.015	54.340	0.013	0.787
167912-3	Test 18/ CT3	2.308	4.364		0.093	2.462	0.112	0.012	49.871	0.011	0.732
167912-4	Test 18/ CT4	0.967	1.832		0.048	0.785	0.048	0.006	18.532	0.005	0.387
167912-5	Test 18/CT5	0.443	0.882		0.026	0.292	0.021	0.003	7.972	0.002	0.203
167912-6	Test 18/CT6	0.341	0.717		0.021	0.213	0.016	0.002	6.075	0.002	0.159
167912-7	Test 18/ CC6	0.288	0.629		0.019	0.168	0.013	0.002	5.047	0.001	0.129
167912-8	Test 18/ Tails	2.950	3.420		0.059	3.220	0.146	0.011	61.700	0.016	0.448

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167912-1	Test 18/ CT1	0.131	0.023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	0.026	<0.001	0.064
167912-2	Test 18/ CT2	0.150	0.037	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	0.013	0.019	<0.001	0.049
167912-3	Test 18/ CT3	0.134	0.034	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.011	0.019	< 0.001	0.036
167912-4	Test 18/ CT4	0.073	0.017	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.005	0.013	< 0.001	0.017
167912-5	Test 18/CT5	0.041	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.002	0.008
167912-6	Test 18/CT6	0.034	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.008	0.004	0.007
167912-7	Test 18/ CC6	0.030	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.011	0.008	0.006
167912-8	Test 18/ Tails	0.068	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.048	<0.001	0.014

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
167912-1	Test 18/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.005
167912-2	Test 18/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.015
167912-3	Test 18/ CT3	< 0.001	0.002	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.061
167912-4	Test 18/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.078
167912-5	Test 18/CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.052
167912-6	Test 18/CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.040
167912-7	Test 18/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.038
167912-8	Test 18/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 19
Method	X_UQ_3600W Oxides, X_UQ_3600W Sulphides
Report date	2/17/2025
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168399-1	Test 19/ CT1			0.40	3.36	15.100	0.037	2.370	0.027	6.673	9.540
168399-2	Test 19/ CT2			4.77	3.08	14.450	0.033	2.140	0.034	7.974	11.400
168399-3	Test 19/ CT3			77.13	0.58	3.432	0.021	0.515	0.011	2.724	3.894
168399-4	Test 19/ CT4			85.37	0.29	2.314	0.022	0.321	0.007	1.948	2.785
168399-5	Test 19/CC4			85.52	0.29	2.337	0.027	0.316	0.007	1.979	2.829
168399-6	Test 19/M			0.10	28.75	5.710	<0.001	0.837	0.040	38.890	55.602
168399-7	Test 19/ NM			0.10	1.31	14.660	0.051	2.520	0.015	2.812	4.020

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168399-1	Test 19/ CT1	2.860	4.700		0.094	3.170	0.133	0.014	57.080	0.015	0.677
168399-2	Test 19/ CT2	2.490	4.630		0.108	2.950	0.127	0.013	52.580	0.013	0.737
168399-3	Test 19/ CT3	0.625	1.083		0.036	0.469	0.029	0.005	11.706	0.004	0.252
168399-4	Test 19/ CT4	0.401	0.781		0.027	0.257	0.019	0.003	7.043	0.002	0.184
168399-5	Test 19/CC4	0.384	0.784		0.027	0.252	0.019	0.003	6.864	0.002	0.179
168399-6	Test 19/M	0.961	1.000	0.019	0.027	1.690	0.061	0.003	21.370	0.005	0.128
168399-7	Test 19/ NM	3.210	3.520		0.065	3.320	0.153	0.013	66.160	0.018	0.485

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168399-1	Test 19/ CT1	0.122	0.026	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	0.023	<0.001	0.057
168399-2	Test 19/ CT2	0.129	0.033	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.018	<0.001	0.053
168399-3	Test 19/ CT3	0.050	0.012	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.011	0.009	0.014
168399-4	Test 19/ CT4	0.039	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	0.010	0.009	0.009
168399-5	Test 19/CC4	0.038	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.013	0.009
168399-6	Test 19/M	0.019	0.004	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.020	0.044	<0.001	0.033
168399-7	Test 19/ NM	0.075	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.011	0.026	<0.001	0.015

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168399-1	Test 19/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.010
168399-2	Test 19/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.059
168399-3	Test 19/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.061
168399-4	Test 19/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.047
168399-5	Test 19/CC4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.036
168399-6	Test 19/M	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.030	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005
168399-7	Test 19/ NM	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.004

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168399-1	Test 19/ CT1	0.001	<0.001	0.017	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168399-2	Test 19/ CT2	0.001	<0.001	0.015	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168399-3	Test 19/ CT3	0.002	< 0.001	0.004	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168399-4	Test 19/ CT4	0.002	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168399-5	Test 19/CC4	0.002	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001		< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001
168399-6	Test 19/M	<0.001	<0.001	0.178	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168399-7	Test 19/ NM	<0.001	<0.001	0.006	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
168399-1	Test 19/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.080	0.004	<0.001	0.070	102.8
168399-2	Test 19/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.045	0.005	<0.001	0.065	102.6
168399-3	Test 19/ CT3	0.002	0.003	0.003	< 0.001	< 0.001	0.028	0.002	< 0.001	0.019	95.8
168399-4	Test 19/ CT4	0.003	0.004	0.003	< 0.001	< 0.001	0.034	0.002	< 0.001	0.013	96.3
168399-5	Test 19/CC4	0.002	0.005	0.004	< 0.001	< 0.001	0.032	0.002	< 0.001	0.012	96.6
168399-6	Test 19/M	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.054	<0.001	<0.001	0.043	103.9
168399-7	Test 19/ NM	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.141	0.004	<0.001	0.069	102.6

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 20
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/10/2025
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen
Notes	

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168774-1	Test 20/ CT1			0.40	3.57	15.370	0.026	2.280	0.036	6.627	9.330
168774-2	Test 20/ CT2			8.27	3.18	14.340	0.030	1.970	0.037	7.018	9.880
168774-3	Test 20/ CT3			73.44	0.87	4.078	0.007	0.581	0.013	2.836	4.054
168774-4	Test 20/ CT4			83.68	0.42	2.626	0.009	0.354	0.008	2.011	2.875
168774-5	Test 20/ CT5			84.84	0.37	2.498	0.010	0.325	0.008	1.970	2.817
168774-6	Test 20/ CT6			87.39	0.37	2.130	0.007	0.262	0.006	1.617	2.312
168774-7	Test 20/ CC6			83.04	0.38	2.817	0.024	0.354	0.007	2.292	3.277
168774-8	Test 20/ Tails			0.11	3.62	14.130	0.046	2.320	0.035	5.356	7.540

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168774-1	Test 20/ CT1	2.980	5.320		0.096	3.030	0.132	0.015	56.230	0.015	0.692
168774-2	Test 20/ CT2	2.510	5.030		0.098	2.730	0.124	0.013	49.990	0.013	0.720
168774-3	Test 20/ CT3	0.718	1.299		0.037	0.562	0.036	0.004	13.836	0.004	0.274
168774-4	Test 20/ CT4	0.446	0.883		0.027	0.290	0.028	0.003	7.982	0.002	0.203
168774-5	Test 20/ CT5	0.405	0.847		0.027	0.250	0.020	0.003	7.234	0.002	0.192
168774-6	Test 20/ CT6	0.327	0.711		0.021	0.203	0.016	0.002	5.961	0.001	0.148
168774-7	Test 20/ CC6	0.437	0.909		0.028	0.277	0.021	0.004	8.021	0.002	0.185
168774-8	Test 20/ Tails	3.000	3.490		0.061	3.180	0.148	0.011	61.370	0.016	0.456

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168774-1	Test 20/ CT1	0.133	0.023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	0.021	<0.001	0.078
168774-2	Test 20/ CT2	0.134	0.035	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.010	0.019	<0.001	0.053
168774-3	Test 20/ CT3	0.054	0.012	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.001	0.015
168774-4	Test 20/ CT4	0.042	0.008	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.007	0.010	0.003	0.009
168774-5	Test 20/ CT5	0.041	0.007	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.010	0.004	0.009
168774-6	Test 20/ CT6	0.032	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.009	0.003	0.015
168774-7	Test 20/ CC6	0.040	0.010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.018	0.009	0.023
168774-8	Test 20/ Tails	0.069	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.052	<0.001	0.012

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168774-1	Test 20/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.008
168774-2	Test 20/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.054
168774-3	Test 20/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.030
168774-4	Test 20/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.030
168774-5	Test 20/ CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.032
168774-6	Test 20/ CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.023
168774-7	Test 20/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.040
168774-8	Test 20/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168774-1	Test 20/ CT1	0.001	0.002	0.020	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168774-2	Test 20/ CT2	0.001	0.002	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168774-3	Test 20/ CT3	0.001	< 0.001	0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168774-4	Test 20/ CT4	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168774-5	Test 20/ CT5	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168774-6	Test 20/ CT6	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168774-7	Test 20/ CC6	0.002	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
168774-8	Test 20/ Tails	<0.001	<0.001	0.024	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
168774-1	Test 20/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.092	0.004	<0.001	0.076	104.4 %
168774-2	Test 20/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.066	0.005	<0.001	0.067	103.8 %
168774-3	Test 20/ CT3	0.002	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.036	0.002	< 0.001	0.022	97.2 %
168774-4	Test 20/ CT4	0.002	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.043	0.001	< 0.001	0.014	96.8 %
168774-5	Test 20/ CT5	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.041	0.001	< 0.001	0.012	96.6 %
168774-6	Test 20/ CT6	0.002	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.036	0.001	< 0.001	0.010	98.2 %
168774-7	Test 20/ CC6	0.002	0.002	0.003	< 0.001	< 0.001	0.083	0.002	< 0.001	0.016	96.2 %
168774-8	Test 20/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.208	0.003	<0.001	0.059	105.8 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 21
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/17/2025
Client	GTK Mintec - Tero Korhonen

Notes Näyte 4 tehty 1 g näytejauhetta

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%) calc	(%) CA-C	(%) CA-S	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12
168914-1	Test 21/ CT1			0.30	3.50	15.230	0.036	2.300	0.028	6.680	9.550
168914-2	Test 21/ CT2			3.07	3.16	15.000	0.033	2.130	0.036	8.099	11.580
168914-3	Test 21/ CT3			7.92	2.84	14.270	0.034	1.880	0.034	8.169	11.680
168914-4	Test 21/ CT4			20.06	2.19	12.430	0.084	1.660	0.030	7.197	10.290
168914-5	Test 21/ CC4			87.86	0.28	1.970	0.027	0.247	0.006	1.623	2.320
168914-6	Test 21/ M			0.13	29.98	5.190	<0.001	0.713	0.043	42.080	60.163
168914-7	Test 21/ S conc 1			0.91	23.88	9.990	0.017	1.630	0.011	19.420	27.765
168914-8	Test 21/ S conc 2			0.50	5.47	15.330	0.034	2.420	0.026	7.057	10.090
168914-9	Test 21/ S tails			0.07	0.23	15.240	0.048	2.550	0.015	2.042	2.920

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12
168914-1	Test 21/ CT1	2.850	4.910		0.092	3.170	0.140	0.014	56.840	0.015	0.672
168914-2	Test 21/ CT2	2.570	4.960		0.110	3.020	0.131	0.013	53.040	0.013	0.746
168914-3	Test 21/ CT3	2.230	4.000		0.099	2.680	0.112	0.012	51.020	0.012	0.749
168914-4	Test 21/ CT4	1.930	3.900		0.092	2.290	0.105	0.010	43.520	0.010	0.789
168914-5	Test 21/ CC4	0.341	0.699		0.023	0.192	0.014	0.002	5.720	0.002	0.151
168914-6	Test 21/ M	0.851	1.020	0.022	0.031	1.460	0.056	0.002	17.880	0.004	0.102
168914-7	Test 21/ S conc 1	1.580	2.630	0.043	0.061	2.420	0.099	0.006	35.410	0.009	0.323
168914-8	Test 21/ S conc 2	2.680	4.270		0.079	3.260	0.129	0.011	54.550	0.015	0.542
168914-9	Test 21/ S tails	3.320	3.820		0.067	3.370	0.171	0.014	67.330	0.018	0.494

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12
168914-1	Test 21/ CT1	0.122	0.026	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.012	0.016	<0.001	0.020
168914-2	Test 21/ CT2	0.132	0.034	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.010	<0.001	0.022
168914-3	Test 21/ CT3	0.128	0.030	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.009	0.017	<0.001	0.026
168914-4	Test 21/ CT4	0.129	0.030	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.042	<0.001	0.027
168914-5	Test 21/ CC4	0.035	0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.008	<0.001	0.006
168914-6	Test 21/ M	0.017	0.002	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.019	0.042	<0.001	0.038
168914-7	Test 21/ S conc 1	0.052	0.012	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.016	0.039	<0.001	0.283
168914-8	Test 21/ S conc 2	0.094	0.020	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.009	0.015	<0.001	0.116
168914-9	Test 21/ S tails	0.079	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.025	<0.001	0.014

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12	(%) PP-XRF12
168914-1	Test 21/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010
168914-2	Test 21/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.049
168914-3	Test 21/ CT3	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.076
168914-4	Test 21/ CT4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.105
168914-5	Test 21/ CC4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.046
168914-6	Test 21/ M	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.007
168914-7	Test 21/ S conc 1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008
168914-8	Test 21/ S conc 2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009
168914-9	Test 21/ S tails	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.003

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
168914-1	Test 21/ CT1	0.001	<0.001	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-2	Test 21/ CT2	0.001	<0.001	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-3	Test 21/ CT3	0.001	0.002	0.014	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-4	Test 21/ CT4	0.007	<0.001	0.011	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-5	Test 21/ CC4	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-6	Test 21/ M	<0.001	<0.001	0.195	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-7	Test 21/ S conc 1	<0.001	<0.001	0.050	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-8	Test 21/ S conc 2	<0.001	0.002	0.034	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
168914-9	Test 21/ S tails	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
168914-1	Test 21/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.057	0.004	<0.001	0.068	104.8 %
168914-2	Test 21/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.031	0.005	<0.001	0.063	103.8 %
168914-3	Test 21/ CT3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.058	0.005	<0.001	0.055	107.0 %
168914-4	Test 21/ CT4	<0.001	<0.001	0.015	<0.001	<0.001	0.177	0.006	<0.001	0.042	103.5 %
168914-5	Test 21/ CC4	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.035	<0.001	<0.001	0.010	97.1 %
168914-6	Test 21/ M	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.057	<0.001	<0.001	0.039	102.9 %
168914-7	Test 21/ S conc 1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.088	0.003	<0.001	1.030	105.5 %
168914-8	Test 21/ S conc 2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.072	0.005	<0.001	0.201	105.1 %
168914-9	Test 21/ S tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.139	0.004	<0.001	0.014	102.9 %

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 22
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/24/2025
Client	GTK / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
169346-1	Test 22/ CT1			0.38	3.62	15.410	0.026	2.270	0.036	6.575	9.400
169346-2	Test 22/ CT2			5.46	3.20	14.830	0.026	2.060	0.039	7.344	10.500
169346-3	Test 22/ CT3			14.70	2.84	13.417	0.022	1.744	0.032	7.229	10.335
169346-4	Test 22/ CT4			28.74	2.22	11.142	0.021	1.513	0.029	6.542	9.353
169346-5	Test 22/ CT5			67.68	0.88	5.057	0.019	0.732	0.015	3.504	5.010
169346-6	Test 22/ CT6			86.81	0.30	2.104	0.017	0.283	0.007	1.670	2.387
169346-7	Test 22/ CC6			88.30	0.25	1.907	0.025	0.241	0.007	1.602	2.290
169346-8	Test 22/ Tails			0.10	3.46	14.130	0.039	2.330	0.035	5.344	7.640

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
169346-1	Test 22/ CT1	2.960	5.250		0.096	3.060	0.129	0.015	56.140	0.015	0.698
169346-2	Test 22/ CT2	2.570	5.200		0.104	2.860	0.127	0.014	51.770	0.013	0.755
169346-3	Test 22/ CT3	2.065	3.951		0.086	2.364	0.109	0.011	47.142	0.011	0.717
169346-4	Test 22/ CT4	1.711	3.507		0.080	1.928	0.104	0.010	38.461	0.010	0.715
169346-5	Test 22/ CT5	0.846	1.655		0.046	0.713	0.046	0.006	16.567	0.005	0.412
169346-6	Test 22/ CT6	0.361	0.721		0.023	0.211	0.017	0.003	6.404	0.002	0.174
169346-7	Test 22/ CC6	0.319	0.665		0.022	0.194	0.015	0.003	5.433	0.002	0.148
169346-8	Test 22/ Tails	2.990	3.490		0.062	3.180	0.142	0.011	61.440	0.016	0.447

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
169346-1	Test 22/ CT1	0.135	0.025	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.011	0.029	< 0.001	0.063
169346-2	Test 22/ CT2	0.139	0.038	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004	0.011	0.017	< 0.001	0.043
169346-3	Test 22/ CT3	0.125	0.035	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.009	0.023	< 0.001	0.034
169346-4	Test 22/ CT4	0.121	0.032	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.008	0.026	< 0.001	0.030
169346-5	Test 22/ CT5	0.073	0.017	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.004	0.012	0.005	0.014
169346-6	Test 22/ CT6	0.036	0.007	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.014	0.008	0.008
169346-7	Test 22/ CC6	0.034	0.006	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.016	0.011	0.007
169346-8	Test 22/ Tails	0.071	0.015	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.010	0.056	< 0.001	0.016

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
169346-1	Test 22/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.009
169346-2	Test 22/ CT2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.051
169346-3	Test 22/ CT3	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.064
169346-4	Test 22/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001	0.100
169346-5	Test 22/ CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.097
169346-6	Test 22/ CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.042
169346-7	Test 22/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.039
169346-8	Test 22/ Tails	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
169346-1	Test 22/ CT1	0.001	< 0.001	0.021	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-2	Test 22/ CT2	0.001	< 0.001	0.017	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-3	Test 22/ CT3	0.001	0.001	0.015	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-4	Test 22/ CT4	0.001	< 0.001	0.012	0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-5	Test 22/ CT5	0.002	0.001	0.005	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-6	Test 22/ CT6	0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-7	Test 22/ CC6	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
169346-8	Test 22/ Tails	< 0.001	< 0.001	0.025	< 0.001	< 0.001		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
169346-1	Test 22/ CT1	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.113	0.004	< 0.001	0.072	104.4
169346-2	Test 22/ CT2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.071	0.005	< 0.001	0.067	103.6
169346-3	Test 22/ CT3	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.079	0.005	< 0.001	0.056	105.4
169346-4	Test 22/ CT4	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.071	0.005	< 0.001	0.042	101.2
169346-5	Test 22/ CT5	0.002	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.059	0.003	< 0.001	0.021	95.6
169346-6	Test 22/ CT6	0.002	0.002	0.002	< 0.001	< 0.001	0.052	0.001	< 0.001	0.011	96.6
169346-7	Test 22/ CC6	0.002	0.004	0.001	< 0.001	< 0.001	0.063	0.001	< 0.001	0.010	96.6
169346-8	Test 22/ Tails	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.218	0.003	< 0.001	0.060	105.3

Lab ID	Client ID	Se
		(%)
169346-1	Test 22/ CT1	0.001
169346-2	Test 22/ CT2	0.001
169346-3	Test 22/ CT3	0.001
169346-4	Test 22/ CT4	0.001
169346-5	Test 22/ CT5	
169346-6	Test 22/ CT6	
169346-7	Test 22/ CC6	
169346-8	Test 22/ Tails	0.002

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

Batch	Siikalatva Test 23_Composite_Q4422024R6
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	19.2.2025
Client	GTK Mintec / Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170011-1	Test 23/ CT1			0.36	3.58	15.130	0.043	2.260	0.039	6.722	9.610
170011-2	Test 23/ CT2			4.58	3.25	14.720	0.035	2.040	0.045	7.701	11.010
170011-3	Test 23/ CT3			19.20	2.70	12.546	0.026	1.646	0.037	7.215	10.315
170011-4	Test 23/ CT4			39.19	1.80	9.461	0.036	1.274	0.029	5.862	8.381
170011-5	Test 23/ CT5			72.40	0.75	4.381	0.031	0.600	0.014	2.964	4.238
170011-6	Test 23/ CT6			91.55	0.25	1.390	0.018	0.162	0.005	1.052	1.504
170011-7	Test 23/ CC6			91.95	0.23	1.343	0.019	0.147	0.005	1.090	1.558
170011-8	Test 23/ Tails			0.23	3.20	13.810	0.049	2.310	0.032	5.309	7.590

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170011-1	Test 23/ CT1	2.930	5.060		0.098	3.060	0.132	0.015	56.530	0.014	0.696
170011-2	Test 23/ CT2	2.630	5.160		0.110	2.860	0.125	0.014	52.150	0.013	0.779
170011-3	Test 23/ CT3	1.974	3.666		0.088	2.227	0.102	0.011	44.330	0.010	0.691
170011-4	Test 23/ CT4	1.477	3.013		0.073	1.643	0.086	0.009	32.439	0.008	0.629
170011-5	Test 23/ CT5	0.729	1.481		0.041	0.629	0.036	0.006	13.963	0.004	0.354
170011-6	Test 23/ CT6	0.228	0.501		0.015	0.142	0.010	0.002	3.980	0.001	0.105
170011-7	Test 23/ CC6	0.217	0.491		0.015	0.128	0.009	0.002	3.658	0.001	0.096
170011-8	Test 23/ Tails	2.920	3.290		0.059	3.170	0.140	0.011	62.250	0.016	0.454

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170011-1	Test 23/ CT1	0.134	0.028	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	0.011	0.027	<0.001	0.024
170011-2	Test 23/ CT2	0.148	0.040	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.011	0.023	<0.001	0.024
170011-3	Test 23/ CT3	0.122	0.034	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003	0.009	0.022	< 0.001	0.024
170011-4	Test 23/ CT4	0.108	0.028	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.007	0.021	0.006	0.022
170011-5	Test 23/ CT5	0.065	0.016	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.005	0.014	0.010	0.013
170011-6	Test 23/ CT6	0.024	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.007	0.010	0.005
170011-7	Test 23/ CC6	0.024	0.006	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.009	0.010	0.006
170011-8	Test 23/ Tails	0.072	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.047	<0.001	0.019

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170011-1	Test 23/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.008
170011-2	Test 23/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.057
170011-3	Test 23/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.075
170011-4	Test 23/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	0.002	< 0.001	0.118
170011-5	Test 23/ CT5	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.135
170011-6	Test 23/ CT6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.046
170011-7	Test 23/ CC6	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.039
170011-8	Test 23/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170011-1	Test 23/ CT1	0.001	0.002	0.021	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170011-2	Test 23/ CT2	0.001	0.002	0.017	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170011-3	Test 23/ CT3	0.001	0.002	0.015	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
170011-4	Test 23/ CT4	0.001	0.001	0.010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
170011-5	Test 23/ CT5	0.002	< 0.001	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
170011-6	Test 23/ CT6	0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
170011-7	Test 23/ CC6	0.002	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
170011-8	Test 23/ Tails	<0.001	<0.001	0.024	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
170011-1	Test 23/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.117	0.005	<0.001	0.071	105.0
170011-2	Test 23/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.075	0.005	<0.001	0.068	103.9
170011-3	Test 23/ CT3	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.062	0.005	< 0.001	0.051	105.0
170011-4	Test 23/ CT4	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.088	0.005	< 0.001	0.035	100.9
170011-5	Test 23/ CT5	< 0.001	0.003	0.002	< 0.001	< 0.001	0.068	0.003	< 0.001	0.016	97.5
170011-6	Test 23/ CT6	0.002	0.003	0.002	< 0.001	< 0.001	0.035	0.001	< 0.001	0.007	99.2
170011-7	Test 23/ CC6	0.002	0.003	0.003	< 0.001	< 0.001	0.033	0.001	< 0.001	0.007	98.9
170011-8	Test 23/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.206	0.003	<0.001	0.058	105.3

Analysis Report

Thermo Perform'X XRF results

CRS LABORATORIES

Batch	Siikalatva Test 24_Composite_Q4422024R6
Method	X_UQ_3600W Oxides
Report date	2/19/2025
Client	GTK Mintec/ Tero Korhonen

Notes

*Satmagan corrected iron

Lab ID	Client ID	Satmagan	Fe*	C	S	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe	Fe2O3
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			calc	CA-C	CA-S	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170049-1	Test 24/ CT1			0.57	3.44	14.970	0.041	2.230	0.035	7.554	10.800
170049-2	Test 24/ CT2			5.86	3.01	14.200	0.035	2.010	0.042	9.198	13.150
170049-3	Test 24/ CT3+CT4			25.36	1.98	11.380	0.044	1.500	0.033	7.960	11.380
170049-4	Test 24/ CC4			91.39	0.18	1.410	0.027	0.152	0.005	1.252	1.790
170049-5	Test 24/ Tails			0.34	3.34	13.860	0.050	2.290	0.015	5.372	7.680

Lab ID	Client ID	K2O	MgO	Mn	MnO	Na2O	P2O5	Rb2O	SiO2	SrO	TiO2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170049-1	Test 24/ CT1	2.840	4.840		0.103	3.080	0.135	0.014	55.770	0.014	0.700
170049-2	Test 24/ CT2	2.460	4.720		0.120	2.830	0.126	0.012	50.190	0.012	0.761
170049-3	Test 24/ CT3+CT4	1.820	3.660		0.096	2.040	0.097	0.011	39.360	0.010	0.705
170049-4	Test 24/ CC4	0.241	0.534		0.018	0.138	0.010	0.002	3.840	<0.001	0.100
170049-5	Test 24/ Tails	2.990	3.330		0.062	3.160	0.133	0.012	61.780	0.016	0.459

Lab ID	Client ID	V2O5	ZrO2	Ag	As	Bi	Ce	Cl	Co	Cs	Cu
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170049-1	Test 24/ CT1	0.129	0.032	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.011	0.020	<0.001	0.022
170049-2	Test 24/ CT2	0.135	0.037	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.017	<0.001	0.031
170049-3	Test 24/ CT3+CT4	0.125	0.028	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.009	0.036	<0.001	0.048
170049-4	Test 24/ CC4	0.026	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.010	<0.001	0.009
170049-5	Test 24/ Tails	0.072	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.052	<0.001	0.019

Lab ID	Client ID	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170049-1	Test 24/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.014
170049-2	Test 24/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.067
170049-3	Test 24/ CT3+CT4	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.111
170049-4	Test 24/ CC4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.042
170049-5	Test 24/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004

Lab ID	Client ID	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sn	Ta
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12
170049-1	Test 24/ CT1	0.001	0.002	0.017	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170049-2	Test 24/ CT2	0.001	0.002	0.016	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170049-3	Test 24/ CT3+CT4	0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170049-4	Test 24/ CC4	0.002	<0.001	0.001	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
170049-5	Test 24/ Tails	<0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Lab ID	Client ID	Tb	Te	Th	Tm	U	W	Y	Yb	Zn	Sum Before Norm.
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	PP-XRF12	
170049-1	Test 24/ CT1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.083	0.005	<0.001	0.072	104.1 %
170049-2	Test 24/ CT2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.082	0.005	<0.001	0.063	103.5 %
170049-3	Test 24/ CT3+CT4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.108	0.005	<0.001	0.045	103.1 %
170049-4	Test 24/ CC4	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.048	0.001	<0.001	0.009	98.1 %
170049-5	Test 24/ Tails	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.225	0.003	<0.001	0.060	105.0 %

Analyysiraportti

Eltra CS-d

Päivämäärä	4/1/2025
Projekti	Siikalatvan grafiitti
Projektikoodi	50403-3020723
Näyte-erä	3/19/2025
Lisätiedot	

	Analyytti	C	S
	Metodi	C-10	S-10
	Yksikkö	%	%
	Määritysraja	-	0.05
Näytenimi	Näyte-ID		
Test 25-30/ CC6	190325SII1-1	92.48	0.21
Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	92.59	0.23
Yhdistetty rikaste	190325SII1-3	93.19	0.25

Analyysiraportti
Zetium, XRF-P

Päivämäärä	9/25/2025
Projekti	Siikalatvan grafiitti
Projektikoodi	50403-3020723
Näyte-erä	
Lisätiedot	Jauhinpadasta irtoaa näytteeseen kobolttia ja volframia, eivätkä niiden tulokset ole siten luotettavia.

Seq.	Customer ID	Lab ID	Meas. Date/time	Initial weight (g)	Final weight (g)	Sum of conc. (%)	Result type	Al2O3 Al-Ka9 (%)	As2O3 As-Ka5 (%)
1	Test 25-30/ CC6	190325SII1-1-1	9/22/2025 11:24	2.833	8.5	101.031	Concentration	1.553	0.001
2	Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	9/22/2025 10:36	3	9	101.191	Concentration	1.537	0
3	Yhdistetty rikaste	190325SII1-3	9/22/2025 10:54	3	9	101.199	Concentration	1.403	0.001

Seq.	Customer ID	Lab ID	C -- (%)	CaO -- (%)	CdO Cd-Ka3 (%)	Cl -- (%)	Co3O4 Co-Ka6 (%)	Cr2O3 -- (%)	CuO Cu-Ka6 (%)
1	Test 25-30/ CC6	190325SII1-1-1	92.48	0.155	0	0.031	0.008		0.008
2	Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	92.59	0.145	0.001	0.043	0.006	0.006	0.008
3	Yhdistetty rikaste	190325SII1-3	93.19	0.143	0	0.029	0.006	0.006	0.012

Seq.	Customer ID	Lab ID	Fe2O3 Fe-Ka6 (%)	K2O -- (%)	MgO Mg-K11 (%)	MnO -- (%)	MoO3 -- (%)	Na2O -- (%)	NiO Ni-Ka6 (%)
1	Test 25-30/ CC6	190325SII1-1-1	1.292	0.231	0.54	0.012	0.036	0.213	0.003
2	Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	1.221	0.23	0.556	0.014	0.039	0.252	0.003
3	Yhdistetty rikaste	190325SII1-3	1.239	0.188	0.559	0.014	0.045	0.179	0.003

Seq.	Customer ID	Lab ID	P2O5 P-Ka8 (%)	Rb2O -- (%)	SO3 S-Ka8 (%)	SiO2 Si-Ka9 (%)	TiO2 Ti-Ka7 (%)	V2O5 -- (%)	WO3 -- (%)
1	Test 25-30/ CC6	190325SII1-1-1	0.013	0.002	0.445	3.835	0.1	0.017	0.043
2	Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	0.012	0.003	0.429	3.94	0.097	0.018	0.028
3	Yhdistetty rikaste	190325SII1-3	0.009	0.001	0.537	3.493	0.081	0.017	0.033

Seq.	Customer ID	Lab ID	Y2O3 -- (%)	ZnO -- (%)	ZrO2 -- (%)
1	Test 25-30/ CC6	190325SII1-1-1	0.001	0.008	0.004
2	Test 25-30/ CT6	190325SII1-2	0.001	0.007	0.003
3	Yhdistetty rikaste	190325SII1-3		0.008	0.003

Analyysiraportti

Eltra CS-d

Päivämäärä	4/14/2025
Projekti	Siikalatvan grafiitti
Projektikoodi	50401-1089221
Näyte-erä	Test 25-30_CC6
Lisätiedot	

	Analyytti	C	S
	Metodi	C-10	S-10
	Yksikkö	%	%
	Määritysraja	-	0.05
Näytenimi	Näyte-ID		
+180µm	010425SII2-1	98.12	0.10
125/180µm	010425SII2-2	98.49	0.10
90/125µm	010425SII2-3	96.67	0.09
63/90µm	010425SII2-4	95.94	0.10
45/63µm	010425SII2-5	93.30	0.13
32/45µm	010425SII2-6	91.88	0.18
20/32µm	010425SII2-7	81.94	0.39
-20µm	010425SII2-8	79.15	0.62

Analyysiraportti

Eltra CS-d

Päivämäärä	4/14/2025
Projekti	Siikalatvan grafiitti
Projektikoodi	50401-1089221
Näyte-erä	Composite (Q4422024R6/Q4222023R4)
Lisätiedot	

	Analyytti	C	S
	Metodi	C-10	S-10
	Yksikkö	%	%
	Määritysraja	-	0.05
Näytenimi	Näyte-ID		
+180µm	010425SII1-1	97.58	0.11
125/180µm	010425SII1-2	96.98	0.12
90/125µm	010425SII1-3	96.01	0.12
63/90µm	010425SII1-4	94.83	0.12
45/63µm	010425SII1-5	93.18	0.16
32/45µm	010425SII1-6	90.96	0.22
20/32µm	010425SII1-7	82.48	0.39
-20µm	010425SII1-8	75.46	0.80

Liite 6. Mineralogisen tutkimuksen raportti (GTK).

Geologian tutkimuskeskus
Kiertotalouden ratkaisut
Espoo

14.11.2025 EMA-2025-58-XS

Siikalatvan grafiittiprojektin rikastushiekkanäytteiden mineraloginen tutkimus XRD- ja FE-SEM-EDS-laitteistoilla

Sari Lukkari ja Pasi Heikkilä

Geologian tutkimuskeskus | Geologiska forskningscentralen | Geological Survey of Finland
Espoo • Kokkola • Kuopio • Loppi • Outokumpu • Rovaniemi
www.gtk.fi • Puh/Tel +358 29 503 0000 • Y-tunnus / FO-nummer / Business ID: 0244680-7

Geologian tutkimuskeskus EMA-2025-58-XS

14.11.2025

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS **KUVAILULEHTI**

Tekijät Sari Lukkari Pasi Heikkilä		Raportin laji Analyysituloksia Toimeksiantaja Teemu Karlsson	
Raportin nimi Siikalatvan grafiittiprojektin rikastushiekkanäytteiden mineraloginen tutkimus XRD- ja FE-SEM-EDS-laitteistoilla			
Tiivistelmä Siikalatvan grafiittiprojektin Mintecissä prosessoitujen neljän rikastushiekkanäytteen kiteiset faasit on identifioitu XRD-menetelmällä ja modaalimineraloginen koostumus sekä sulfidimineraalien kuvantaminen on tehty FE-SEM-EDS-laitteistolla. Kaikissa näytteissä on päämineraaleina kvartsia, albiittista plagioklaasia, biotiitti kiillettä ja kohtalaisesti myös kalimaasälpää. Vähäisempinä komponentteina ovat klinoamfibolit, kloriitti ja vaihtelevasti sulfidimineraaleja (magneettikiisua ja rikkikiisua). Tutkituissa näytteissä on kaksi näyteparia, joista jälkimmäinen (”Stails”) ei kummassakaan tapauksessa juurikaan sisällä sulfideja.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) FE-SEM-EDS, XRD, mineralogia			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Siikalatva			
Karttalehdet			
Muut tiedot LIMS 2778			
Arkistosarjan nimi EMA		Arkistotunnus EMA-2025-58-XS	
Kokonaissivumäärä 8 + liitteet	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus luottamuksellinen
Yksikkö ja vastuualue KTR / R5 Espoon tutkimuslaboratorio		Hanketunnus 50403-3020725	
Allekirjoitus/nimen selvennys Sari Lukkari		Allekirjoitus/nimen selvennys Pasi Heikkilä	

Geologian tutkimuskeskus EMA-2025-58-XS

14.11.2025

Kuvailulehti

Sisällysluettelo

1 Näyteaineisto 1
2 Analyysilaitteistot ja -menetelmät 1
2.1 XRD 1
2.2 FE-SEM-EDS 2
2.3 XRD ja FE-SEM-EDS yhdistelmä 3
3 Tulokset 4
3.1 XRD-tulkinnat 4
3.2 FE-SEM tulokset 6

1 NÄYTEAINEISTO

JTF Siikalatvan grafiitti -projektin työ, jossa tutkitaan rikastushiekan ympäristöominaisuuksia ja mahdollista hyötykäyttöpotentiaalia. Mintecissä prosessoituja rikastushiekkanäyteitä toimitettiin tutkittavaksi valmiiksi jauhettuna (Eurofins) muovipurkeissa n. 50 g kutakin (Taulukko 1). Tails-näytteille Test 4/Tails (202500827) ja Test 17/Tails (202500829) on tehty kertausvaahdotuskokeet, jolloin on saatu rikkiköyhät Stails-näytteet Test 8/ Stails (202500828) ja Test 21/ Stails (202500830), tässä järjestyksessä. Näytteet saapuivat Espoon tutkimuslaboratorioon heinäkuussa 2025. Näytteiden LIMS työnumero on 2778.

Taulukko 1. Siikalatvan Mintecissä prosessoitujen rikastushiekkanäytteiden näytetunnukset ja Espoon tutkimuslaboratorioon toimitetut näytemäärät

CustomerID	LabID	Paino (g)
Test 4 (Q4333023R4) /Tails	202500827	57.6
Test 8 (Q4333023R4) /Stails	202500828	43.5
Test 17 (Q4422024R6) /Tails	202500829	47.84
Test 21 (Q4422024R6) /Stails	202500830	50.17

2 ANALYYSILAITTEISTOT JA -MENETELMÄT

2.1 XRD

GTK:n röntgendiffraktiolaite on Bruker D8 Discover A25, LYNXEYE XE-T detektorilla (semiconductor silicon strip 1D detector). Röntgenputken anodimateriaali on kupari, käytetty aallonpituus $K\alpha_1$ = 1.5406 Å, $K\alpha_2$ = 1.5444 Å, (Kα keskiarvo = 1.5418 Å), kontaminaationa Kβ = 1.3922 Å, jonka poisto (monokromatisointi) tehdään detektorissa. Optiikassa on käytössä automaattinen divergenssirako ja sirontaveitsi (MASS, motorized anti-scatter screen).

Kustakin näytteestä otettiin kartioimalla ja neliöimällä osanäytteet XRD- ja FE-SEM-EDS tutkimuksia varten. XRD faasi-identifiointia varten otettiin osanäytteen keskivaiheilta spaattelilla 70 mg näyte, joka jauhettiin akaattihuhmareessa asetonisuspensiossa hienoksi (pyrkimyksenä < 10 µm partikkelikoko), suspensioliuos kaadettiin lasilevylle, sekoitetaan tasaiseksi ja kuivatettiin, minkä seurauksena adheesio/koheesio kiinnittää jauhepartikkelit lasille tasaiseksi pinnaksi XRD-mittausta varten.

Asetonisuspension kuivaminen aiheuttaa levymäisten ja neulasmaisten partikkeleiden osittaisen suuntautumisen lasilevyn tasoon. Tämä korostaa lohkopintaheijasteiden piikkien intensiteettejä tuottaen preparaattikohtaista variaatiota lohkosuuntia vastaavien piikkien intensiteetteihin (ns. suunnatussa preparaatissa tämä pyrittäisiin maksimoimaan). Faasitunnistukset perustuvat lähinnä piikkien 2Θ-kulmiin, mihin intensiteettivariaatiolla ei ole vaikutusta, mutta pitoisuusmääritys vaikeutuu.

XRD-instrumentin sisäinen ilmankosteus kirjattiin mittauksen alussa ollen 63–65 %, ja instrumentin sisäinen lämpötila oli 24–25°C. Olosuhteilla on vähäistä vaikutusta etenkin vesipitoisten kiteisten

faasien kuten savimineraalien hilaparametreihin (piikkien paikkoihin), joita näissä näytteissä ei kuitenkaan havaittu mainittavia määriä.

Röntgenpulveridiffraktogrammi mitattiin 0,5 h ajolla kulmaväliltä 4-110° 2θ (CuKα) jatkuvalla mittaustavalla 0,06 °2Θ/s kulmanopeudella, mikä jaettuna 6914 askeleeseen vastaa 0,015 °2Θ askeleita mittausajalla 0,25 s/askel (time per step). Primääripuolen optiikassa käytettiin avautuvaa rakoa 15 mm näytepituudella ja 2,5° solleria. Sekundääripuolen optiikassa käytettiin 2,5° solleria ja monokromatisointi tehtiin detektorin energiaerottelukanavilla. Goniometrissä oli 280 mm säde. Näytepyöritin (spinner) oli päällä, ja moottoroitu beamiveitsi nousi mittauksen aikana näytteen pinnasta ylöspäin, mikä pienillä kulmilla estää ilman sirontaa ja suurilla kulmilla estää veitsen aiheuttamaa varjostusta. Generaattorin asetukset olivat 40 kV ja 40 mA.

Diffraktiodatalle tehtiin faasitunnistuksen helpottamiseksi konversio vastaamaan kiinteää 0,3° divergenssiraolla tehtyä mittausta, taustakohinan tason sovitus, ja näytepaksuudesta aiheutuva 2θ-siirtymä tarkistettiin käyttäen näytteiden omaa kvartsia sisäisenä standardina. Mittaustuloksena saadun diffraktogrammin tulkinnassa käytettiin Brukerin EVA 6.0 ohjelmaa ja ICDD:n (International Centre for Diffraction Data, Powder Diffraction File) PDF-4 Minerals 2024 tietokantaa, joka sisältää vain luonnosta tavattavat epäorgaaniset kiteiset faasit (mineraalit).

Diffraktogrammit antavat suoraa tietoa aineen kiderakenteesta, joten kemiallisesti erikoostumukselliset mutta kiderakenteeltaan samanlaiset aineet (isomorfia, kiinteäliuosseossarjat) näyttävät lähes samalta – varmempi faasitunnistus edellyttää lisäksi kemialliseen koostumukseen perustuvaan SEM-EDS (Scanning Electron Microscope, Energy Dispersive Spectroscopy, kuuluu tähän työhön) tai tarkempaa kvantitatiivista EPMA (Electron Probe Micro-Analysis) analyysiä. Diffraktiopiikkien leventyminen johtuu erityisen hienosta partikkelikoosta (nm-luokka, crystallite size), heikosta järjestäytymisen asteesta kiderakenteessa (huonosti kiteytynyt, muuttunut tai metamiktinen aine, strain) tai epähomogeenisesta kemiallisesta koostumuksesta (isomorfia, kiinteäliuosseossarjat, epätasapainoiset kiteytymisolosuhteet). Amorfisia aineita ei voida tunnistaa, mutta niiden osuus näkyy taustakohinan nousuna diffraktogrammissa yleensä d = 6–2,4 Å välillä. Amorfisen osuuden määrä voidaan määrittää erillismittauksella, jossa näytteeseen on sekoitettu sisäistä standardia tunnettu määrä (ei kuulunut tilaukseen).

Mineraalifaasit luetellaan XRD tuloksissa laskevan intensiteetin (pitoisuuden) mukaisessa järjestyksessä. Pieninä määrinä esiintyvien aksessoristen mineraalien tunnistaminen on haasteellista, jos diffraktogrammin taustakohinan tasosta on erotettavissa vain pääpiikkien heijasteet. Ilman kokonaista piikkiprofiilia faasitunnistus on tulkintaa, jossa useiden mahdollisten selittäjien joukosta valitaan realistisimpia ja parhaiten osuvia faasiehdokkaita. Tulkitsijan kokemus tutkittavan materiaalin mahdollisesta faasikoostumuksesta on merkittävässä osassa ja lisätiedot faasien tai näytteen kemiasta muilla menetelmillä (esim. SEM-EDS) helpottavat tulkintaa. Faasista riippuen alle 1–0,5 massa-% pitoisuudet ovat havaintorajan alapuolella XRD-menetelmälle.

2.2 FE-SEM-EDS

Kaikista neljästä näytteestä (Taulukko 1) on analysoitu modaalimineraloginen koostumus kenttäemissio-pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (FE-SEM) JEOL JSM 7100F Schottky, johon on liitetty Oxford Instruments energiadispersiivinen spektrometri (EDS) X-Max 80 mm^2. Kukin näyte sekoitettiin

omassa pussissaan ja näytejauheen keskivaiheilta otettiin spaattelilla faasi-identifiointia varten 1 g osanäyte. Analytiikkaa varten näytteistä valmistettiin epoksiin valetut ja kiillotetut vertikaaliset (viipale-) pintahieet, jotka päällystettiin hiilellä sähkönjohtavuuden aikaansaamiseksi. Näytemateriaalin sekaan sekoitettiin grafiittipulveria rakeiden irtaannuttamiseksi toisistaan.

Kuvantaminen tehtiin mittaamalla näytteistä sironneita korkean energian elektroneja (eng. *back-scattered electron*, BSE), eli näytteistä otettiin takaisinsirontaeletronikuvia (BSE-kuvia). Kuvantamiseen ja EDS-analyyseihin käytettiin 20 kV kiihdytysjännitettä, 1,1 nA elektronisäteen virran voimakkuutta ja 10 mm työskentelyetäisyyttä.

Modaalikoostumuksen selvittämiseksi näytteistä analysoitiin 7500–13750 partikkelia edustavilta alueilta Oxford Instruments Aztec Feature -ohjelmistolla. Analytiikka kohdistettiin mineraalirakeisiin, jotka ovat halkaisijaltaan (ECD) vähintään 5 µm. Lisäksi näytteitä tutkittiin manuaalisella pisteanalytiikalla mineraalifaasitulkintojen varmistamiseksi.

Analyysien laatu on puolikvantitatiivinen ja tulokset normalisoitu 100 %:iin. Faasitunnistus perustuu EDS-spektristä konvertoidun numeerisen alkuainekoostumuksen vertaamiseen GTK:n sisäiseen mineraalitietokantaan. Faasien tarkka identifioiminen EDS-spektrin perusteella ei ole aina mahdollista erityisesti mineraaleilla/ja faaseilla, jotka sisältävät hiiltä, OH- ja H_2O-ryhmiä tai Be ja sitä kevyempiä alkuaineita. Myöskään saman kemiallisen kaavan omaavia faaseja ei pystytä erottamaan toisistaan. Näytteiden grafiitin määrä ei pystytä selvittämään johtuen näytteisiin sekoitetusta grafiittipulverista.

Analyysiteknisistä syistä johtuen miltei aina muutama prosentti analyyseista luokittuu tunnistamattomiksi (*unclassified*). Pääasiassa luokka sisältää useammista eri mineraalifaaseista generoituneita seka-analyyseja, joiden koostumus ei vastaa mitään yksittäistä mineraalia. Tunnistamattomien analyysien määrä on yleensä suurempi hienorakeisilla ja/tai koostumukseltaan kompleksisilla näytteillä.

Edellä mainitut epävarmuustekijät tulee huomioida tarkasteltaessa raportissa esitettyjä mineraalifaasien koostumuksia ja modaalimineralogian tuloksia.

2.3 XRD ja FE-SEM-EDS yhdistelmä

Kummallakin instrumentilla tehtiin aluksi faasi-identifioinnit itsenäisesti, mutta tulkintojen yhtenäisyys tarkastettiin lopuksi vertaamalla havaintoja keskenään. XRD-menetelmällä faasit tunnistetaan niiden sisäisen atomirakenteen toistuvuudesta syntyvien diffraktioheijasteiden perusteella, mikä ei suoraan kerro mineraalien kemiallisesta koostumuksesta vaan nimenomaan kiderakenteen järjestyksestä. FE-SEM-EDS-menetelmällä faasit tunnistetaan kemiallisilla pisteanalyyseillä, jolloin kemialliselta koostumukseltaan erilaiset faasit erottuvat toisistaan mutta samanlaisen koostumuksen omaavat erilaiset kiderakenteet (mineraalit) eivät. Molempien menetelmien tunnistuksia vertaamalla saadaan oikeat mineraalifaasinimet myös tapauksissa, joissa näytteissä on useita eri mineraaleja, joiden kemiallinen koostumus on identtinen tai lähes identtinen ja silloin kun näytteessä olevan mineraalin kiderakenne sallii kemiallisen koostumuksen vaihtelua, mikä ei näy kiderakenteessa ja pelkkä XRD-tunnistus voi olla virheellinen.

3 TULOKSET

3.1 XRD-tulkinnat

Test 4/Tails **LabID: 202500827**

Näytteen pääkomponentit ovat kvartsi, albiittinen (albiitti-oligoklaasi) plagioklaasimaasälpä ja biotiitti/flogopiitti kiille.

Sivukomponentteja ovat magneettikiisu (4M monokliininen magneettinen variantti), kalimaasälpä (mikrokliini), kloriitti (yleensä klinokloori-chamosiitti seossarjasta), serpentiini (lizardiitti/antigoriitti) ja luultavasti hieman myös vermikuliittia.

Hivenfaaseja ovat rikkikiisu ja hyvin vähän klinoamfibolia (tremoliitti SEM-datan perusteella).

Näytteessä voi olla grafiittia, mutta sitä ei voi XRD-datan perusteella havainnoida, koska grafiitin pääpiikki on päällekkäin kvartsin ja biotiitti/flogopiitti kiilteen kanssa.

Test 8/Stails **LabID: 202500828**

Pääfaasit ovat kvartsi, albiittinen plagioklaasi (albiitti-oligoklaasi) ja biotiitti/flogopiitti kiille.

Sivukomponentteja ovat kalimaasälpä (mikrokliini), kloriitti (klinokloori-chamosiitti), vermikuliitti ja ehkä myös serpentiini (lizardiitti/antigoriitti).

Hivenfaaseiksi on tulkittu rikkikiisu, kalsiitti ja klinoamfiboli (tremoliitti).

Näytteessä voi olla grafiittia, mutta sitä ei voi XRD-datan perusteella havainnoida, koska grafiitin pääpiikki on päällekkäin kvartsin ja biotiitti/flogopiitti kiilteen kanssa. Sulfidimineraaleista ei löydy XRD määritysrajan ylittäviä todisteita (<<0,5 wt.-%).

Test 17/Tails **LabID: 202500829**

Näytteen pääfaasit ovat kvartsi, albiittinen plagioklaasimaasälpä ja biotiitti/flogopiitti 10 Å kiille.

Tärkein sivukomponentti on kalimaasälpä (mikrokliini), mutta yleiskuvassa erottuu vähäisempina sivukomponentteina myös kloriitti (klinokloori-chamosiitti), magneettikiisu (4M monokliininen magneettinen variantti), rikkikiisu ja klinoamfiboli (SEM-datan perusteella koostumukseltaan sarvivälkettä ja tremoliittia).

Hiven faasiksi on tulkittu vähäinen määrä vermikuliittia.

Näytteessä voi olla grafiittia, mutta sitä ei voi XRD-datan perusteella havainnoida, koska grafiitin pääpiikki on päällekkäin kvartsin ja biotiitti/flogopiitti kiilteen kanssa. SEM-datassa havaittu granaatti on luultavasti vastaavan koostumuksellista kloriittia, sillä XRD-datasta ei löydy merkkejä granaatista (almandiini-pyrooppi).

Test 21/Stails **LabID: 202500830**

Näytteen pääkomponentit ovat kvartsi, albiittinen plagioklaasimaasälpä ja 10 Å kiille (pääasiassa biotiitti/flogopiitti, mutta myös muskoviittia voi olla hieman).

Sivukomponentteina havaitaan kalimaasälpää (mikrokliini), kloriittia (klinokloori-chamosiitti) ja hieman myös klinoamfibolia (sarvivälke, tremoliitti-aktinoliitti, tms.).

Näytteessä voi olla grafiittia, mutta sitä ei voi XRD-datan perusteella havainnoida, koska grafiitin pääpiikki on päällekkäin kvartsin ja biotiitti/flogopiitti kiilteen kanssa. SEM-datassa havaittu granaatti on luultavasti vastaavan koostumuksellista kloriittia, sillä XRD-datasta ei löydy merkkejä granaatista (almandiini-pyrooppi). Sulfidimineraaleista ei löydy XRD määritysrajan ylittäviä todisteita (<<0,5 wt.-%).

3.2 FE-SEM tulokset

FE-SEM-EDS-laitteistolla määritetyt modaalimineralogian tulokset on esitetty Taulukoissa 2 ja 3. Analyysien laatua voidaan pitää hyvänä ja luokittelemattomien faasien osuus oli pieni (< 3.9 %).

Taulukko 2. Näytteiden Test 4/Tails (202500827) ja Test 8/Stails (202500828) mineraloginen koostumus. Sulfidit ja kalsiitti merkitty punaisella. Analysoitu FE-SEM-EDS laitteistolla, Aztec Feature ohjelmistolla.

Test 4/ Tails / 202500827					Test 8/ Stails / 202500828			
Class	Feature	(%)	pinta-ala-%	massa-%	Feature	(%)	pinta-ala-%	massa-%
quartz	2733	24.0	38.9	35.9	3152	26.1	38.8	37.9
plagioclase	4408	38.8	37.0	33.7	4888	40.5	41.9	40.2
biotite	2043	18.0	8.2	8.8	2406	19.9	10.5	12.0
pyrrhotite	658	5.8	7.2	11.6	14	0.1	0.1	0.2
K feldspar	576	5.1	3.4	3.0	658	5.4	3.7	3.5
pyrite	211	1.9	1.1	2.0	26	0.2	0.2	0.3
phlogopite	232	2.0	0.8	0.7	369	3.1	1.8	1.9
rutile	14	0.1	0.5	0.7	18	0.1	0.6	0.9
almandine	67	0.6	0.5	0.7	73	0.6	0.3	0.4
Al silicate	6	0.1	0.3	0.4				
muscovite	18	0.2	0.3	0.3	16	0.1	0.1	0.1
tourmaline	57	0.5	0.3	0.3	72	0.6	0.3	0.3
orthopyroxene	49	0.4	0.3	0.3	56	0.5	0.2	0.3
tremolite	24	0.2	0.2	0.2	11	0.1	0.1	0.1
pyrope	78	0.7	0.2	0.3	116	1.0	0.3	0.5
Fe oxide	10	0.1	0.2	0.3	12	0.1	0.2	0.4
chlorite	69	0.6	0.2	0.2	67	0.6	0.4	0.4
apatite	29	0.3	0.1	0.2	37	0.3	0.4	0.5
Mg hornblende	30	0.3	0.1	0.1	21	0.2	0.04	0.0
diopside	17	0.1	0.1	0.1	15	0.1	0.1	0.1
cordierite	10	0.1	0.1	0.1	11	0.1	0.03	0.0
calcite	13	0.1	0.05	0.05	11	0.1	0.04	0.04
sphalerite	15	0.1	0.03	0.04				
zircon	4	0.0	0.02	0.03				
chalcopyrite	3	0.0	0.003	0.005				
Total	11375	100.0	100.0	100.0	12084	100	100	100
No Classification	1001	8.1	3.9		1067	8.1	3.9	

Näytteen Test 4/Tails (202500827) pääminerаalit ovat kvartsi, plagioklaasi, magneettikiisu ja biotiitti. Aksessorisina mineraaleina ovat mm. kalimaasälpä ja rikkikiisu. Näytteen sulfidipitoisuus on n. 13.6 paino-%, joista suurin osa on magneettikiisua (11.6 p.-%). Näytteessä on lisäksi muutamia rakeita sinkkivälkettä ja kuparikiisua.

Näytteen Test 8/Stails (202500828) pääminerаalit ovat kvartsi, plagioklaasi ja biotiitti. Aksessorisina mineraaleina ovat mm. kalimaasälpä ja flogopiitti. Näytteen sulfidipitoisuus on lisäprosessoinnin

jälkeen erittäin alhainen, n. 0.5 paino-% magneettikiisua ja rikkikiisua yhteensä. Manuaalisessa tarkastelussa havaittiin muutamia kuparikiisu ja sinkkivälkerakeita.

Näytteen Test 17/Tails (202500829) pääminerаalit ovat kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä ja biotiitti. Aksessorisina mineraaleina ovat mm. magneettikiisu, rikkikiisu, sarvivälke ja tremoliitti. Näytteen sulfidipitoisuus on n. 5.3 paino-%, joista suurin osa on magneettikiisua (4.0 p.-%). Näytteessä on lisäksi muutama rae sinkkivälkettä, kuparikiisua ja pentlandiittia.

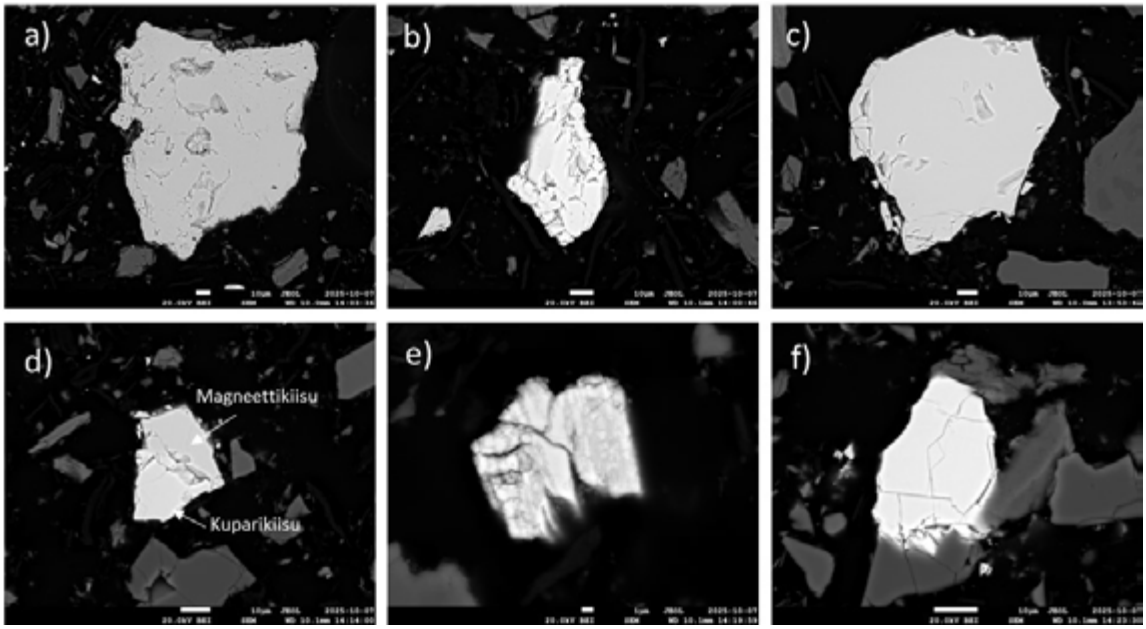
Näytteen Test 21/Stails (202500830) pääminerаalit ovat kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä ja biotiitti. Aksessorisina mineraaleina ovat mm. sarvivälke, granaatti ja flogopiitti. Näytteen sulfidipitoisuus on lisäprosessoinnin jälkeen erittäin alhainen, yhteensä vain n. 0.05 paino-% magneettikiisua ja rikkikiisua. Manuaalisessa tarkastelussa havaittiin yksi sinkkivälkerae.

Taulukko 3. Näytteiden Test 17/Tails ja Test 21/Stails mineraloginen koostumus. Sulfidit ja kalsiitti merkitty punaisella. Analysoitu FE-SEM-EDS laitteistolla, Aztec Feature ohjelmistolla.

Test 17/ Tails / 202500829					Test 21/ Stails / 202500830			
Class	Feature	(%)	pinta-ala-%	massa-%	Feature	(%)	pinta-ala-%	massa-%
quartz	3022	26.5	38.2	36.8	1964	29.1	42.6	42.0
plagioclase	3759	32.9	36.8	35.1	2347	34.8	35.3	34.4
K feldspar	1610	14.1	9.8	9.1	1046	15.5	10.1	9.6
biotite	1590	13.9	7.4	8.4	894	13.3	8.3	9.5
pyrrhotite	435	3.8	2.4	4.0	6	0.1	0.01	0.01
Mg hornblende	109	1.0	0.8	0.9	54	0.8	0.8	1.0
tremolite	97	0.8	0.8	0.9	75	1.1	0.5	0.6
pyrite	200	1.8	0.7	1.3	11	0.2	0.02	0.04
pyrope	161	1.4	0.7	0.9	105	1.6	0.5	0.7
phlogopite	90	0.8	0.6	0.6	65	1.0	0.5	0.5
muscovite	64	0.6	0.4	0.4	34	0.5	0.1	0.1
tourmaline	71	0.6	0.3	0.3	47	0.7	0.3	0.3
titanite	30	0.3	0.3	0.3	9	0.1	0.02	0.03
rutile	10	0.1	0.2	0.4	7	0.1	0.3	0.5
chlorite	67	0.6	0.2	0.2	28	0.4	0.3	0.3
almandine	49	0.4	0.1	0.2	15	0.2	0.1	0.1
calcite	18	0.2	0.1	0.1	9	0.1	0.02	0.02
apatite	17	0.1	0.1	0.1	15	0.2	0.1	0.2
zircon	5	0.04	0.01	0.02				
chalcopyrite	3	0.03	0.01	0.02				
sphalerite	1	0.01	0.004	0.01				
pentlandite	1	0.01	0.001	0.001				
Total	11422	100	100	100	6739	100	100	100.0
No Classification	834	6.8	3.4		433	6.04	3.1	

Kuvassa 1 on esitetty näytteissä esiintyviä sulfidirakeita ja liitteessä III on EDS-analyyseja sulfideista. Bulkkinäytteiden XRF-tuloksissa näkyi suhteellisen korkea Co-pitoisuus, mutta EDS-analyyseissä ei

havaittu kobolttia missään mineraalifaasissa. Magneettikiisu- ja rikkikiisurakeita on lisäksi analysoitu pitkällä analysointiajalla, mutta kobolttia ei havaittu (Liite III).



Kuva 1. Takaisinsirontakuvia (BSE) sulfidirakeista, a) Rikkikiisu, näyte 202500827, b) sinkkivälke, näyte 202500827, c) magneettikiisu, näyte 202500828, d) magneettikiisu ja kuparikiisu, näyte 202500829, e) pentlandiitti, näyte 202500829, f) sinkkivälke, näyte 202500829. FESEM Jeol JSM 7100F.

LIITTEET

I Faasitulkitut diffraktogrammit XRD

II FE-SEM-EDS modaalimineralogia

IV FE-SEM-EDS pisteanalyysejä

Liite 7. Kemialliset analyysitulokset (Eurofins Oy).

eurofins

Analytical Report	**AR-25-GQ-002615-01**	**Page 1/6**
Reporting Date	**23.04.2025**	
Batch code	**EUAB30-00033604**	
Order reference	**50403-3020725**	

Geologian tutkimuskeskus
Teemu Karlsson
Vuorimiehentie 5
02151 ESPOO

Siikalatva rikastushiekka

Sample code			**748-2025-00005444**	**748-2025-00005445**	**748-2025-00005446**	**748-2025-00005447**
Client sample code			Test 4/Tails	Test 8/Stails	Test 17/Tails	Test 21/Stails
Matrix			Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices
Sample description			Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka
Reception date			25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025
Analysis		**Unit**	**Result**	**Result**	**Result**	**Result**
Environmental samples, analyses						
Sulphur (S)	GQKS1	%	5,06	0,26	3,43	0,27
TC (Total Carbon)	GQKC0	%	0,13	0,08	<0,05	0,09
C carb	GQKCC	%	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
C non-carb	GQKCC	%	0,09	0,08	0,09	0,08
Mercury (Hg)	GQKHG	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
AP	GQKAB	Kg CaCO3/metric tonne	160	8,1	110	8,4
NP	GQKAB	Kg CaCO3/TON	7,6	9,4	4,7	4,8
NNP	GQKAB	Kg CaCO3/metric tonne	<0,3	1,3	<0,3	<0,3
NPR	GQKAB		<0,1	1,2	<0,1	0,57
ANC	GQKAB	Kg H2SO4/metric tonne	7,4	9,2	4,6	4,7
MPA	GQKAB	Kg H2SO4/metric tonne	150	8,0	100	8,3
NAPP	GQKAB	Kg H2SO4/metric tonne	150	<0,3	100	3,6
Aqua regia extraction						
Silver (Ag)	YB2RY	mg/kg	0,722	0,309	0,574	0,242
Aluminium	YB27E	mg/kg	18500	20900	16000	16900
Arsenic (As)	YB2RN	mg/kg	0,794	0,333	0,662	0,213
Boron (B)	YB27F	mg/kg	<5	<5	<5	<5
Barium (Ba)	YB2RP	mg/kg	15,7	257	30,0	59,0
Beryllium (Be)	YB2S0	mg/kg	0,403	0,524	0,670	0,729
Bismuth (Bi)	YB2SB	mg/kg	0,293	0,119	0,174	0,070
Calcium (Ca)	YB27G	mg/kg	3780	4360	3270	3480
Cadmium (Cd)	YB2S1	mg/kg	7,68	0,877	4,90	0,775

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND
+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi
VAT number: FI27522925

eurofins

Analytical Report AR-25-GQ-002615-01 **Page 2/6**
Reporting Date 23.04.2025

Sample code			748-2025-00005444	748-2025-00005445	748-2025-00005446	748-2025-00005447
Client sample code			Test 4/Tails	Test 8/Stails	Test 17/Tails	Test 21/Stails
Matrix			Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices
Sample description			Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka
Reception date			25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025
Analysis		**Unit**	**Result**	**Result**	**Result**	**Result**
Aqua regia extraction						
Cobalt (Co)	YB2RR	mg/kg	30,1	3,91	20,2	2,62
Chromium (Cr)	YB2RS	mg/kg	143	156	104	97,9
Copper (Cu)	YB2S2	mg/kg	150	127	151	120
Iron (Fe)	YB27I	mg/kg	86600	27100	59200	19800
Potassium (K)	YB27S	mg/kg	9080	10300	7740	8160
Lanthanum (La)	YB2SE	mg/kg	5,74	13,5	12,2	16,5
Lithium (Li)	YB2RT	mg/kg	19,1	24,6	23,0	25,2
Magnesium (Mg)	YB27K	mg/kg	21200	24100	16100	16800
Manganese (Mn)	YB2S4	mg/kg	436	462	414	412
Molybdenum (Mo)	YB2S5	mg/kg	7,13	4,79	7,05	4,45
Sodium (Na)	YB27V	mg/kg	613	673	358	348
Nickel (Ni)	YB2RU	mg/kg	262	32,0	208	36,1
Phosphorus	YB27L	mg/kg	504	619	390	440
Lead (Pb)	YB2RQ	mg/kg	32,9	6,46	7,20	4,09
Rubidium (Rb)	YB2S6	mg/kg	42,6	47,9	63,4	67,6
Sulphur (S)	YB27W	mg/kg	46200	2270	31600	2270
Antimony (Sb)	YB2S7	mg/kg	0,029	0,022	0,030	<0,02
Scandium (Sc)	YB2SI	mg/kg	12,7	14,5	9,49	10,2
Selenium (Se)	YB2S8	mg/kg	13,6	0,943	10,9	1,30
Tin (Sn)	YB2RV	mg/kg	0,31	0,31	0,70	0,69
Strontium (Sr)	YB32T	mg/kg	11,2	14,6	7,67	8,07
Tellurium (Te)	YB2SK	mg/kg	0,070	0,061	0,097	0,045
Thorium (Th)	YB2SL	mg/kg	1,19	3,85	4,85	5,80
Titanium (Ti)	YB280	mg/kg	2440	2810	1530	1680
Thallium (Tl)	YB2SM	mg/kg	0,853	0,833	1,19	0,964
Uranium (U)	YB2SN	mg/kg	3,11	3,30	8,43	8,26
Vanadium (V)	YB2RW	mg/kg	401	457	341	352
Tungsten (W)	YB2SP	mg/kg	<0,2	<0,2	0,22	<0,2
Yttrium (Y)	YB2SQ	mg/kg	11,9	14,2	16,3	17,7
Zinc (Zn)	YB2S9	mg/kg	887	192	671	147
Zirconium (Zr)	YB32W	mg/kg	8,49	8,00	9,22	8,73
Gold (Au)	YB2RB	µg/kg	1,03	0,74	<0,5	<0,5
Palladium (Pd)	YB2RF	µg/kg	18,3	11,7	17,5	12,4
Platinum (Pt)	YB2RG	µg/kg	0,60	<0,5	<0,5	<0,5

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND

+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi

VAT number: FI27522925

eurofins

Sample code			**748-2025-00005444**	**748-2025-00005445**	**748-2025-00005446**	**748-2025-00005447**
Client sample code			Test 4/Tails	Test 8/Stails	Test 17/Tails	Test 21/Stails
Matrix			Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices	Other solid matrices
Sample description			Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka	Rikastushiekka
Reception date			25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025	25.02.2025
Analysis		**Unit**	**Result**	**Result**	**Result**	**Result**
Aqua regia extraction						
Digestion	YBV20		Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
Digestion	YBV22		Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
ICP-MS run (512M)	YBZ63		Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
ICP-OES run (512P)	YBY71		Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
ICP-MS run (515M)	YBZ62		Tehty	Tehty	Tehty	Tehty
Pretreatments						
Grinding	GQV44		Done	Done	Done	Done

CONTACT PERSON

Anne-Riikka Rautio Business Development Manager

Anne-Riikka.Rautio@etn.eurofins.com +358 40 7557102

Report is electronically validated.

Analytical report recipients: analysis-results@gtk.fi;teemu.karlsson@gtk.fi

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND

+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi

VAT number: FI27522925

eurofins

Analytical Report **AR-25-GQ-002615-01** **Page 4/6**
Reporting Date **23.04.2025**

Method information

Testcode	Parameter name, CAS	Default MU	Default LOQ	Accredited	Method	Laboratory
Environmental samples, analyses						
GQKS1	Sulphur (S), 7704-34-9	<0,1%±60% >0,1%±11%	0,01 %	No	Internal Method, Spectrophotometry (IR)	GQ
GQKC0	TC (Total Carbon)	<0,5%±35% >0,5%±13%	0,05 %	No	Internal Method, Spectrophotometry (IR)	GQ
GQKCC	C carb	<0,5%±40% >0,5%±10%	0,05 %	No	Internal Method, Spectrophotometry (IR)	GQ
GQKCC	C non-carb	<0,5%±40% >0,5%±10%	0,05 %	No	Internal Method, Spectrophotometry (IR)	GQ
GQKHG	Mercury (Hg), 7439-97-6		0,005 mg/kg	No	Internal Method, HG-AAS	GQ
GQKAB	AP		0,32 Kg CaCO3/metric tonne	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	NP			No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	NNP		0,3 Kg CaCO3/metric tonne	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	NPR		0,1	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	ANC		0,3 Kg H2SO4/metric tonne	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	MPA		0,32 Kg H2SO4/metric tonne	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
GQKAB	NAPP		0,3 Kg H2SO4/metric tonne	No	Internal Method, Technique [Calculation]	GQ
Aqua regia extraction						
YB2RY	Silver (Ag), 7440-22-4		0,002 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27E	Aluminium, 7429-90-5		15 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2RN	Arsenic (As), 7440-38-2		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27F	Boron (B), 7440-42-8		5 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2RP	Barium (Ba), 7440-39-3		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S0	Beryllium (Be), 7440-41-7		0,005 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SB	Bismuth (Bi), 7440-69-9		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27G	Calcium (Ca), 7440-70-2		50 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2S1	Cadmium (Cd), 7440-43-9		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RR	Cobalt (Co), 7440-48-4		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RS	Chromium (Cr), 7440-47-3		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S2	Copper (Cu), 7440-50-8		0,005 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27I	Iron (Fe), 7439-89-6		50 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB27S	Potassium (K), 7440-09-7		100 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2SE	Lanthanum (La), 7439-91-0		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND

+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi

VAT number: FI27522925

Aqua regia extraction						
YB2RT	Lithium (Li), 7439-93-2		0,06 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27K	Magnesium (Mg), 7439-95-4		10 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2S4	Manganese (Mn), 7439-96-5		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S5	Molybdenum (Mo), 7439-98-7		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27V	Sodium (Na), 7440-23-5		50 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2RU	Nickel (Ni), 7440-02-0		0,03 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27L	Phosphorus, -		50 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2RQ	Lead (Pb), 7439-92-1		0,1 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S6	Rubidium (Rb), 7440-17-7		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB27W	Sulphur (S), 7704-34-9		20 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2S7	Antimony (Sb), 7440-36-0		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SI	Scandium (Sc), 7440-20-2		0,1 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S8	Selenium (Se), 7782-49-2		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RV	Tin (Sn), 7440-31-5		0,1 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB32T	Strontium (Sr), 7440-24-6		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SK	Tellurium (Te), 13494-80-9		0,006 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SL	Thorium (Th), 7440-29-1		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB280	Titanium (Ti), 7440-32-6		2 mg/kg	No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YB2SM	Thallium (Tl), 7440-28-0		0,03 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SN	Uranium (U), 7440-61-1		0,03 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RW	Vanadium (V), 7440-62-2		0,02 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SP	Tungsten (W), 7440-33-7		0,2 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2SQ	Yttrium (Y), 7440-65-5		0,01 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2S9	Zinc (Zn), 7440-66-6		1 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB32W	Zirconium (Zr), 7440-67-7		0,2 mg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RB	Gold (Au), 7440-57-5		0,5 µg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RF	Palladium (Pd), 7440-05-3		5 µg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YB2RG	Platinum (Pt), 7440-06-4		0,5 µg/kg	No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YBV20	Digestion			No	Internal Method, Extraction	YB
YBV22	Digestion			No	Internal Method, Extraction	YB
YBZ63	ICP-MS run (512M)			No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
YBY71	ICP-OES run (512P)			No	SFS-EN ISO 11885:2009	YB
YBZ62	ICP-MS run (515M)			No	SFS-EN ISO 17294-2:2023	YB
Pretreatments						
GQV44	Grinding			No		GQ

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND

+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi

VAT number: FI27522925

Laboratory	
GQ	Eurofins Environment Testing Finland (Jyväskylä)
YB	Eurofins Ahma - Oulu

Explanatory note
Partial copying of the report is permitted only with the written permission of the laboratory. Results are only valid for received and tested samples. The samples have been delivered to the laboratory by the customer, unless stated otherwise in the analytical report. Measurement uncertainty of microbiological methods is available upon request.

Eurofins Environment Testing Finland Oy
Heinämäentie 2
40250 Jyväskylä
FINLAND

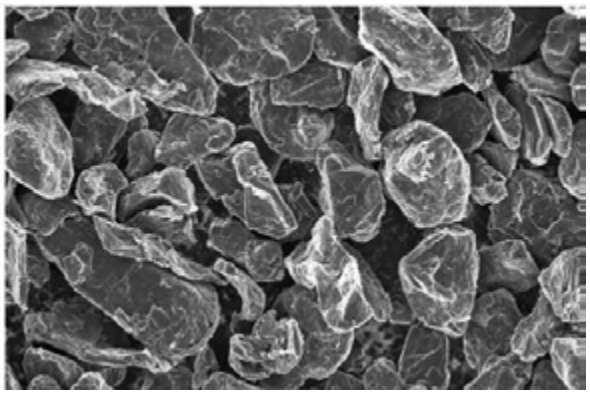
+358 40 805 3608
laboratoriojyvaskyla@etn.eurofins.com
www.eurofins.fi

VAT number: FI27522925

Liite 8. GTK Anodimateriaalitestausraportti.

OULUN YLIOPISTO

Testing report



Ref. Akkutestaus GTK/644/03.01/2023

February 2025

Juho Välikangas

Ulla Lassi

University of Oulu, Kokkola University Consortium Chydenius

1. Objectives of the work

The aim of project was to determine the electrochemical performance of graphite materials in Li-ion cell application. The graphite materials under study were HR273, RV-35T2, SPG15-gecoated and SPG20-gecoated. Commercial graphite (Hitachi) is a reference material for these materials.
Obtained graphite materials were first mixed with binder and conductive carbon, parallel cells were assembled for coin cell testing, and testing was performed as described in this report.

2. Experimental

2.1 Materials

Four graphite materials were provided by GTK. The materials under study were HR273, RV-35T2, SPG15-gecoated and SPG20-gecoated. In the two last samples, 15 and 20 refer to particle sizes of 15 µm and 20 µm, respectively. Commercial graphite (Hitachi) is a reference material for these materials. All materials were used as received.

2.2 Cell assembling and electrochemical characterization

Electrode preparation

Electrochemical performance testing was conducted using half-cells, with metallic lithium as the counter electrode. An electrode (anode) slurry was made by mixing dry components and binder, and 1-methyl-2 pyrrolidone (NMP, Alfa Aesar, anhydrous 99.5%) was used as solvent. Thinky mixer (Thinky mixer ARE-250) was used for slurry mixing to confirm uniform anode slurry.

The slurry composition was 4 wt% of conductive carbon (Timcal C45), 4 wt% of polyvinylene fluoride PVDF binder (Kureha #9300), and 92 wt% of active material (graphite), with NMP solvent. Dry mass of slurry was 36%, and target value for electrode active material loading was 4 mg/cm^2. All electrode foils and battery cells were prepared in dry room conditions.

The mixed anode slurry was spread (coated) on copper foil, using mechanical slurry spreader with fixed spreader height. Coating wet thickness was 180 µm. Electrode foils were dried for one hour at 50°C on the heat plate followed by 12 hours at 80°C in vacuum oven. After the drying, the anode foil was calendared once before the cell assembly. The active material loading on the foil was about 2.5 mg/cm^2.

Cell assembling and electrochemical testing

Electrochemical performance was tested in 2016-type coin cells, with parallel cells. Coin cells were half-cell type, prepared with metallic lithium foil as counter electrode. Commercial 1.15 M $LiPF_6$ in EC:DMC:EMC (2:4:4), and 1% vinylene carbonate was used as the electrolyte. Cells were cycled four times (see Table 1 for the C-rate used). Cells were at first discharged at a constant current until 0.005 V was reached, and after that charged at a constant current until 2.0 V was reached. Cells were tested at 25 °C. The theoretical capacity used to calculate the C-rate was 370 mAh/g.

Hitachi Chemical Co. has developed artificial graphite, compressed graphite crystals within its grains and a large number of fine pores between the grains; the material provides a discharge capacity of 362 Ah kg^{-1}. This material (D50 ~20 um) was used as reference in this study.

Table 1. Electrochemical cell testing program.

Cycle number	1	2	3	4
Discharge C-rate	0.01	0.03	0.03	0.1
Charge C rate	0.03	0.03	0.03	0.1
Voltage range (V)	0.005–2.0	0.005–2.0	0.005–2.0	0.005–2.0

.

3. Results

Electrochemical performance of graphite powders was investigated in the half-cells as described in Section 2.2. Figure 1 shows voltage profiles for the first and 4th cycles. Typical three intercalation stages for the graphite can be clearly seen as voltage plateaus between different phase transition stages.

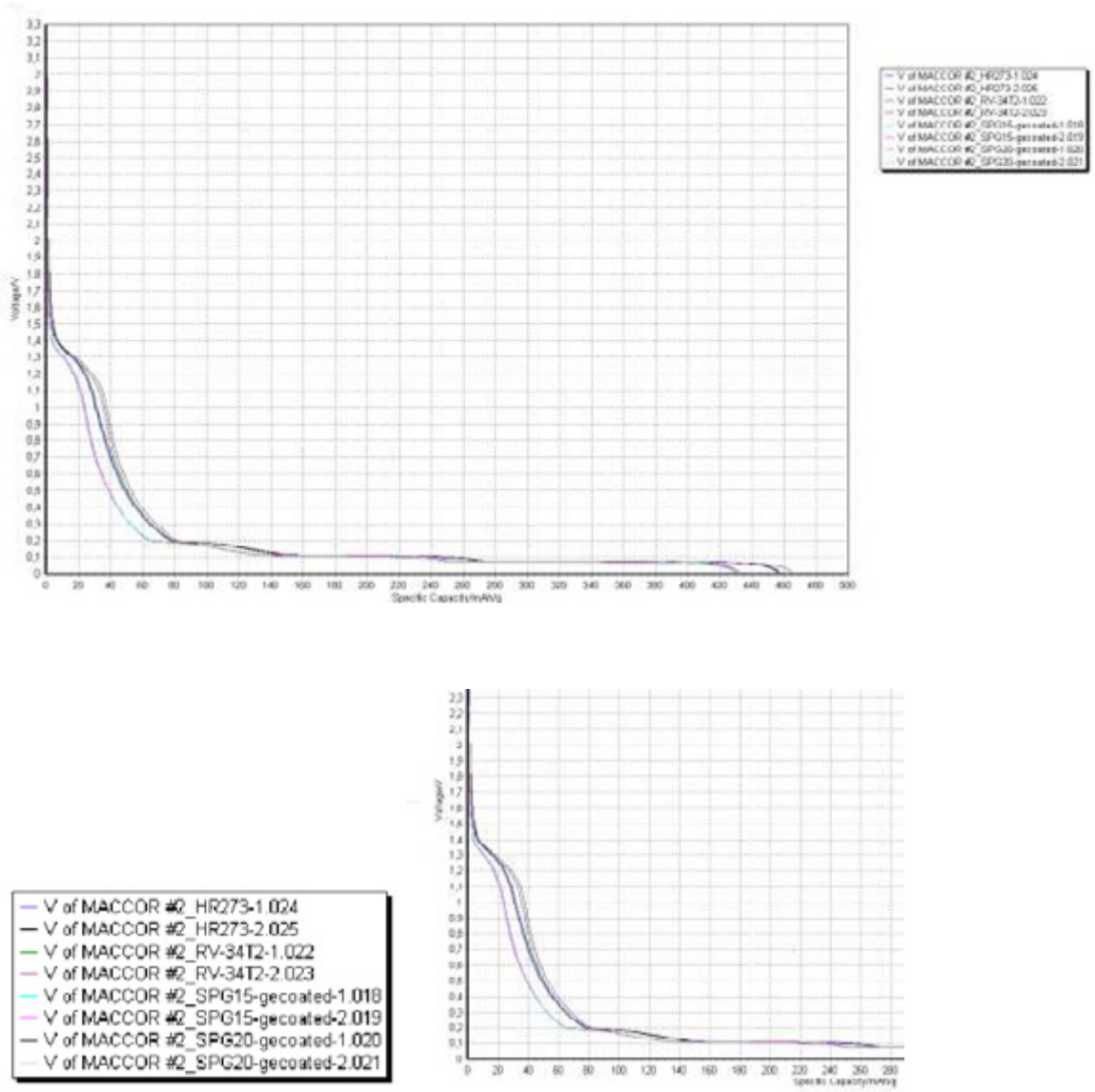


Figure 1. Voltage profile of samples as a function of the discharge capacity (at 0.01 C).

Graphite anodes were first discharged with low current of 0.01 C and SEI (solid electrolyte interface) layer formation can be seen as capacity (mAh/g) over the 0.2 V vs. Li/Li+ in Fig. 1, most of the SEI layer formation takes place between 1.2 and 0.2 V vs. Li/Li+ which is well line with the scientific literature.

Table 2 compares half-cell performance (coin cell results) for the different graphite materials. All materials tested in this study showed excellent electrochemical properties, better than measured for the commercial anode reference. Intercalation process was highly reversible after the 4th cycle, as

seen in Table 2. The Coulombic efficiencies of the 1st and 4th cycles were high for all samples, compared to our Hitachi reference.

An interesting question was the effect of particle size (15 µm or 20 µm) on the electrochemical performance of cells. As can be seen in Table 2, only minor differences were seen (within the error limits). In Fig. 1, the discharge capacity has different profile for 15 µm or 20 µm samples (at 1.5 V-> 0.2V) indicating different SEI formation, but the parallel cells were identical. Furthermore, discharge capacities at the end of 1st and 4th cycles were identical for 15 µm or 20 µm samples. Also Coulombic efficiencies were the same (within the error limits). Therefore, it can be concluded that based on the results **the particle size has no effect on the electrochemical performance**, most probably due to the close to similar particle size of the samples. It should also be mentioned that 20 µm is typical particle size of commercial graphite and quite close (if not) optimal.

Table 2. Electrochemical data (half-cell performance) of tested graphite samples. Coin cells discharge and charge specific capacities of graphite materials (mAh/g) with two parallel cells.

Sample	1st cycle mAh/g		1 cycle eff.	4 th. Cycle mAh/g		4th cycle Eff.
	DC 0.03C	CC 0.03C	%	DC 0.1C	CC 0.1C	%
HR273-1	456.027	380.301	83.3944	375.2	373.191	99.46455
HR273-1	456.027	380.301	83.3944	375.2	373.191	99.46455
HR273-2	456.469	378.558	82.93181	371.951	370.354	99.57064
RV-34T2-1	457.52	380.961	83.26652	377.201	375.53	99.557
RV-34T2-2	464.865	383.302	82.45448	379.679	377.738	99.48878
SPG15-gecoated-1	431.251	379.389	87.97406	375.614	374.471	99.6957
SPG15-gecoated-2	432.897	379.186	87.59266	375.12	373.896	99.6737
SPG20-gecoated-1	430.749	378.099	87.7771	374.058	372.797	99.66289
SPG20-gecoated-2	429.098	373.959	87.15002	369.674	368.651	99.72327

The second interesting question is the role of carbon coating which is known to improve the cyclability of the cells and affect especially at high C-rates. The parallel samples in this study were coated, and only minor effect of the coating is seen in results (within the error limits). This is probably due to the low cycle number since the positive effects of cycling are typically seen in the long-term cycling (i.e. after 1000 cycles). This was not tested in this report.

Conclusions

All samples showed excellent electrochemical performance (CE ≥ 99.5% after 4th cycle, and discharge capacities > 370 mAh/g) which was higher compared to commercial reference. Parallel cells were identical. The particle size has no effect on the electrochemical performance because samples with 15 µm and 20 µm. Positive effect of coating (which is most probably presence) was not seen in these results due to the low cycle number. The coating effects will normally be seen in the long-term cycling (i.e. after 1000 cycles).

.

Kaikki GTK:n julkaisut verkossa hakku.gtk.fi