



RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Grafiitti ja sen hyödyntäminen: analyysi Suomen näkökulmasta

Maria Korpela, Anne Tuomela ja Anssi Rauhala



**Euroopan unionin
osarahoittama**

TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on osa hanketta Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena (1.5.2024–31.8.2026). Hanke on osarahoitettu Euroopan unionin Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 -ohjelmasta, oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta (JTF). Hanke on toteutettu yhteistyössä Siikalatvan kunnan, Geologian tutkimuskeskuksen, sekä Oulun yliopiston kesken. Raportin tarkoituksena oli tuottaa tietoa grafiittikaivosten sijainnista eri puolilla maailmaa ja erityisesti Suomea vastaavilta alueilta. Lisäksi tavoitteena oli saada tietoa grafiittikaivosten mahdollisista ympäristövaikutuksista.

Grafiitti on yksi EU:n ilmoittamista kriittisistä raaka-aineista, jota käytetään laajasti teollisuuden ja teknologian sovelluksissa, erityisesti sähköautojen akkujen anodien valmistuksessa. Anodimateriaaleiksi soveltuvat grafiittityypit ovat somu-, juoni- ja synteettinen grafiitti. Nykyinen tuotanto on vahvasti keskittynyt Kiinaan, ja kriittisenä mineraalina Euroopan unioni on tunnistanut tarpeen lisätä tuotantoa Euroopassa. Pohjoisilla, kylmän ilmaston alueilla grafiittiesiintymiä hyödynnetään pääasiassa avolouhoksissa, mutta myös maanalaisia kaivoksia on, kuten Norjan Skalandissa. Taloudellinen hyödyntäminen edellyttää esiintymiltä yleensä vähintään noin 4 prosentin hiilipitoisuutta.

Kaivostoiminnassa ja malmin rikastuksessa syntyy sivukiveä sekä rikastushiekkaa. Louhinta toteutetaan yleensä räjäytysten avulla, ja rikastusprosesseissa hyödynnetään erilaisia kemikaaleja. Kaivosalueelta johdetaan pois sateen seurauksena kertyviä vesiä. Ympäristövaikutuksia aiheutuu maiseman muuttumisen lisäksi muun muassa melusta, pölystä ja tärinästä sekä mahdollisista suotovesistä. Kaivostoiminta, kuten muukin raskas teollisuus, vaikuttaa paikallisiin yhteisöihin. Positiivisina asioina se voi esimerkiksi monipuolistaa elinkeinorakennetta ja lisätä palveluiden kysyntää. Uuteen teolliseen toimintaan suhtaudutaan usein sekä myönteisesti että kriittisesti.

Grafiitin kysynnän ennakoidaan kasvavan tulevaisuudessa, ja sen merkitys teknologisessa kehityksessä korostuu. Synteettisen grafiitin markkinaosuuden arvioidaan voivan kasvaa erityisesti Euroopassa ja Yhdysvalloissa, mikäli petrokemian sivuvirtoja on saatavilla ja edullista vähähiilistä sähköä on käytettävissä. Tällä hetkellä synteettisen grafiitin tuotannon päästöt ovat moninkertaiset verrattuna luonnongrafiittiin. Samanaikaisesti grafiittianodien kierrätys on yleistymässä, vaikka siihen liittyvät

prosessit edellyttävät merkittäviä määriä kemikaaleja, vettä ja energiaa. Länsimaissa pyritään lisäämään myös luonnongrafiitin käyttöä grafiitin saatavuuden turvaamiseksi teollisuuden ja kasvavan akkutuotannon tarpeisiin.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	GRAFIITTI.....	7
2.1	Grafiitti materiaalina.....	7
2.2	Grafiitin käyttö	8
2.3	Esiintyvyys	9
2.4	Louhinta ja rikastaminen	13
2.4.1	Louhintavaihtoehdot.....	13
2.4.2	Malmin rikastus	14
3	GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN NYKYTILA.....	16
3.1	Grafiittikaivokset pohjoisilla alueilla	16
3.1.1	Merkittävät grafiittihankkeet Norjassa	16
3.1.2	Merkittävät grafiittihankkeet Ruotsissa.....	17
3.1.3	Merkittävät grafiittihankkeet Suomessa	17
3.1.4	Merkittävät grafiittihankkeet Pohjois-Amerikassa ja Grönlannissa.....	18
3.2	Kaivostoiminnan alueelliset vaatimukset	21
3.2.1	Infrastrukturi ja rakennukset.....	21
3.2.2	Jätehuolto.....	27
4	GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	29
4.1	Ympäristövaikutukset.....	29
4.2	Vaikutukset alueen yhteisöön	32
4.3	Grafiitin käytön elinkaarivaikutukset	33
5	GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN TULEVAISUUS	35
6	YHTEENVETO.....	38

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Globaalin yhteiskunnan siirtyessä kohti kestävämpää tulevaisuutta, uusiutuvien energialähteiden kehittäminen muuttuu yhä tärkeämmäksi. Akkukäyttöiset laitteet ja teknologiat ovat vallannut markkinoita niiden pienempien ympäristövaikutusten vuoksi verrattuna muihin energialähteisiin. Mineraaleja, kuten kobolttia, kuparia, litiumia ja grafiittia tarvitaan suurissa määrin uusiutuvien energiajärjestelmien ja akkujen valmistukseen. Grafiitin tärkeys korostuu merkittävästi yhtenä ensisijaisena anodimateriaalina litiumioniakuissa. Näitä akkuja käytetään mm. sähköautoissa, sillä grafiitilla on erinomaiset sähkönjohtavuusominaisuudet. (Park et al., 2025) Lisäksi lainsäädäntö, niin Euroopassa kuin Suomessakin, ohjaa kestävämpiin ja puhtaampiin energiavalintoihin (EU-komissio, 2025). Grafiitin kysynnän kasvaessa pyritään paikantamaan uusia luonnongrafiittiesiintymiä, mutta samalla kehittämään ratkaisuja synteettisen grafiitin valmistamiseksi.

Grafiitti on luonnossa esiintyvä mineraali, mutta sitä pystytään tuottamaan myös synteettisesti. Synteettisen grafiitin tuotantoon liittyy kuitenkin haasteita, kuten valmistuksessa kuluva suuri energiamäärä ja muodostuvat hiilidioksidi- eli CO₂-päästöt. Synteettisen grafiitin hyvä akkukelpoisuus lisää tarvetta kehittää sen tuotantoon ympäristöystävällisempiä syntetisointimenetelmiä. Jatkossa uudet innovaatiot voivat mahdollisesti antaa synteettiselle grafiitille jopa paremman kilpailuaseman luonnongrafiittiin verrattuna. (Hubynskyi et al., 2024) Tällä hetkellä kuitenkin on taloudellisempaa ja ympäristön kannalta vähemmän kuormittavaa louhia grafiittia kallioperästä (Park et al., 2025).

Luonnongrafiitin tuotanto on pitkälti keskittynyt tiettyihin maihin, kuten Kiinaan. Koska useat maat, Kiinaa lukuun ottamatta, ovat vähentäneet viime vuosikymmeninä grafiitin tuotantoa, on pelkona, että tämä voi aiheuttaa geopolittisia haasteita grafiitin saatavuuden kannalta (Park et al., 2025). Euroopan unioni (EU) on sen vuoksi selvittänyt mahdollisuutta kasvattaa grafiitin tuotannon määrää myös Euroopassa. Tähän on vaikuttanut lisäksi se, että grafiitin kysynnän oletetaan nousevan tulevina vuosina. Euroopassa tuotetaan vain murto-osa maailman grafiittista (Weber, 2023). EU joutuukin tuomaan tarvitsemansa grafiitin lähinnä Kiinasta ja Afrikasta.



Mailman suurimmat luonnongrafiitin tuottajat ovat Kiina, Madagaskar, Tansania, Brasilia ja Mosambik (Kanadan hallinto, 2025, Statista 2026). Lisäksi aktiivisia eri vaiheissa olevia grafiittikaivos Hankkeita on vireillä useita ympäri maailman, joista osa sijaitsee myös arktisilla tai kylmien ilmastojen alueilla. Afrikan maiden ennustetaan ohittavan Kiinan suurimpana tuottajana, myös USA:ssa, Kanadassa, Australiassa ja Vietnamissa on merkittävää hyödyntämätöntä esiintymäpotentiaalia. Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Grönlannissa on käynnissä useita tutkimuksia taloudellisesti hyödynnettävissä olevista grafiittiesiintymistä, joista osassa on tehty lupaavia löydöksiä. Esimerkiksi Suomessa Heinävedellä tehdään kohdennettuja tutkimuksia Aitolammen grafiittiesiintymällä sekä aktiivisesti myös Kupukan grafiittiesiintymällä Siikalatvan kunnassa (Grafintec, 2025; Kupukan grafiitti 2025). Norjan Vittangissa Nunasvaaran kaivostoiminnan perustaminen odottaa lupapäätöksiä (Talga group, 2024).

Tämä raportti on tehty osana hanketta ”Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena”. Hanke on JTF-rahoitteinen eli Euroopan unionin osarahoittama. Hankkeessa selvitetään grafiitin rikastettavuutta akkukelpoiseksi materiaaliksi sekä siitä syntyvien sivuvirtojen hyödyntämispotentiaalia. Hankkeen päätoteuttaja on Siikalatvan kunta ja osatoteuttajina ovat Geologinen tutkimuskeskus (GTK) ja Oulun yliopisto. Tässä raportissa tarkastellaan valikoituja grafiittikaivoksia ja niiden soveltuvuutta vertailukohteiksi Suomen olosuhteisiin sekä selvitetään olemassa olevien grafiittikaivosten ympäristövaikutuksia.



2 GRAFIITTI

2.1 Grafiitti materiaalina

Grafiitti on alkuainehiilen yksi muodoista, joka esiintyy eri kokoisina tummina kristallisina hiutaleina, suomuina ja massoina. Sen pääasialliset tärkeät ominaisuudet teollisuudessa ovat kemiallinen vakaus, korkea sähkönjohtavuus, lämmönsieto ja voidemaisuus. Kallioperässä se esiintyy yleensä korkean metamorfoosiasteen eli kemiallisen tai rakenteellisen muutoksen läpikäyneiden kivilajien yhteydessä, kuten gneissien ja liuskeiden yhteydessä.

Grafiittiesiintymiä on kolmea eri muotoa: amorfinen, suomuinen (eng. flake graphite) ja juoniesiintymien palagrafiitti. Mikrokiteinen amorfinen grafiitti muodostuu hiilen, maaöljyn tai hiilirikkaiden kerrostumien metamorfoosissa. Amorfisen grafiitin laatu vaihtelee esiintymän geologisten olosuhteiden mukaan. Suomugrafiitti on kaupallinen nimitys kiteisille grafiittiesiintymille, joissa rackoko on optimaalinen teollisuuden käyttöön. Syntymekanismi muistuttaa hieman amorfisen grafiitin muodostumista, mutta erona on se, että jo alun perin hiiltä sisältänyt kivilaji on metamorfoitunut korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Juonimaisia esiintymiä voi löytää lähes samanlaisista geologisista olosuhteista kuin suomugrafiittia. (Robinson et al., 2017)

Sen lisäksi, että grafiittia voidaan louhia kaivoksista, sitä voidaan myös tuottaa keinotekoisesti eli synteettisesti. Synteettisesti grafiittia voidaan valmistaa mm. öljykoksista. Prosessi jäljittelee luonnongrafiitin syntyä, joten sen tuottoprosessit vaativat hyvin paljon energiaa. (Jacob Robin, 2024) Synteettinen grafiitti on kuitenkin puhtaampaa kuin luonnollisesti esiintyvä grafiitti, sillä valmistusprosessin korkeat lämpötilat höyrystävät epäpuhtauksia. Toisaalta puhtaus laskee sähkönjohtavuutta ja energiaa vaativa valmistusprosessi tekee synteettisestä grafiitista kalliimpaa. (Robinson et al., 2017) Taulukossa 1 on kerättyä synteettisesti valmistetun grafiitin ja luonnongrafiittityyppien eroja tiivistetysti muun muassa yleisyyteen, tuotantotapaan ja tuotteen laatuun liittyen.

Taulukko 1. Erilaisten grafiittityyppien ominaisuuksia kuten tuotteen laatu ja hiilipitoisuus rikasteessa (Hegeman & Zhou, 2025; Park et al., 2025; Robinson et al., 2017).

GRAFIITTI- TYPPI	YLEISYYS	TUOTANTO- TAPA	MALMIN PUHTAUS (HIILIMÄÄRÄ)	TUOTTEEN LAATU (HIILIMÄÄRÄ)
AMORFINEN	Yleisin esiintymätyyppi	Louhint	50–90 %	60–90 %
SUOMU	Melko yleistä, mutta monet esiintymät pieniä	Louhint	5–30 % (voi olla korkeampiakin hiilipitoisia esiintymiä)	75–97 %
JUONI	Harvinaisinta ja vaikeimmin saavutettavissa	Louhint	40–90 %	90–99,9 %
SYNTEETTINEN	Yleistä, n. 60 % käytetystä grafiitista	Syntetisointi öljytuotannon sivutuotteista	-	99,95 %

2.2 Grafiitin käyttö

Grafiittia käytetään hyvien ominaisuuksiensa, kuten lämmönkestävyyden, korkean sähkönjohtavuuden ja kemiallisen reagoimattomuutensa vuoksi monissa teknologisissa sovelluksissa, kuten elektrodeissa, tulenkestävissä materiaaleissa, voiteluaineena, sulattamoissa, akuissa ja jarrupaloissa. Lisäksi grafiittijohdannaisilla, kuten grafeenilla on potentiaalia olla soveltuva materiaali mm. näyttöihin, komposiittimateriaaleihin, pinnoitteisiin ja erilaisiin sähkönjohtokykyä vaativiin teknologioihin. (Simandl et al., 2015)

Litiumioniakkujen anodit ovat yksi grafiitin käyttökohteista. Vain suomugrafiittia, juonissa esiintyvää grafiittia tai synteettistä grafiittia voidaan käyttää anodeihin. Tämä johtuu siitä, että niillä on tarpeeksi raekokoa ja korkea grafiittipitoisuus. Suurta suomukokoa vaaditaan, sillä rikastus- ja jatkokäsittelyprosessit pienentävät suomujen kokoa. Lisäksi tutkimuksia on tehty grafiitin käytöstä protoninvaihtopolttokennoissa, jotka muuntavat polttoaineen (vedyn) kemiallista energiaa sähköenergiaksi. Erittäin



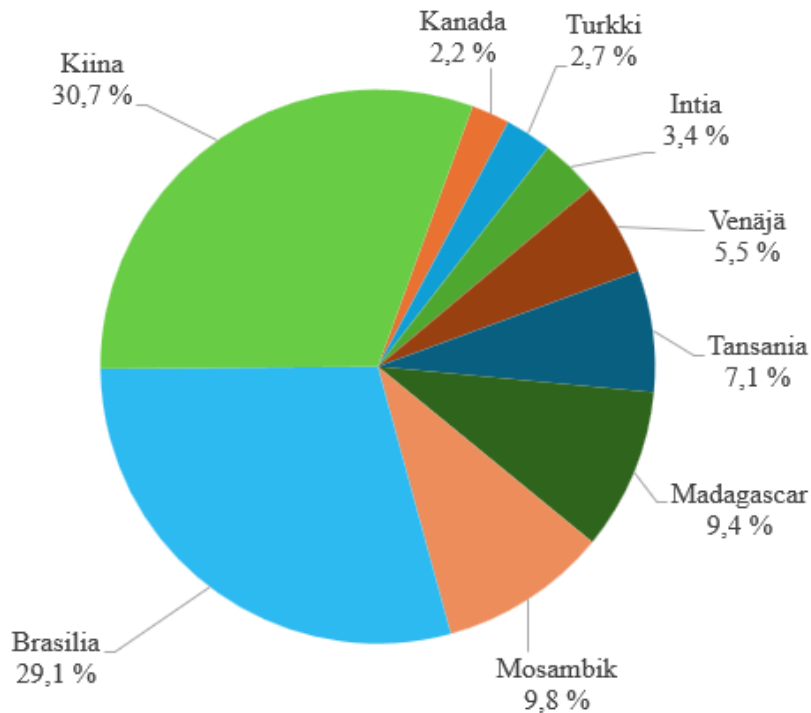
suurikokoista suomugrafiittia voidaan käyttää myös avaruusaluksien osissa ja ydinreaktoreissa. Perinteisesti grafiittia on käytetty tehdasolosuhteissa esimerkiksi teräksen ja lasin tuotannossa. (Jara et al., 2019)

Tulevaisuudessa varsinkin litiumioniakkujen käyttö tulee yleistymään ja investointeja tuotannon kasvattamiseksi onkin jo alettu tehdä. Grafiittiteollisuuden ja -varantojen keskittyminen tietyille maantieteellisille alueille tekee grafiitista strategisen ja kriittisen raaka-aineen. (Domingues et al., 2024)

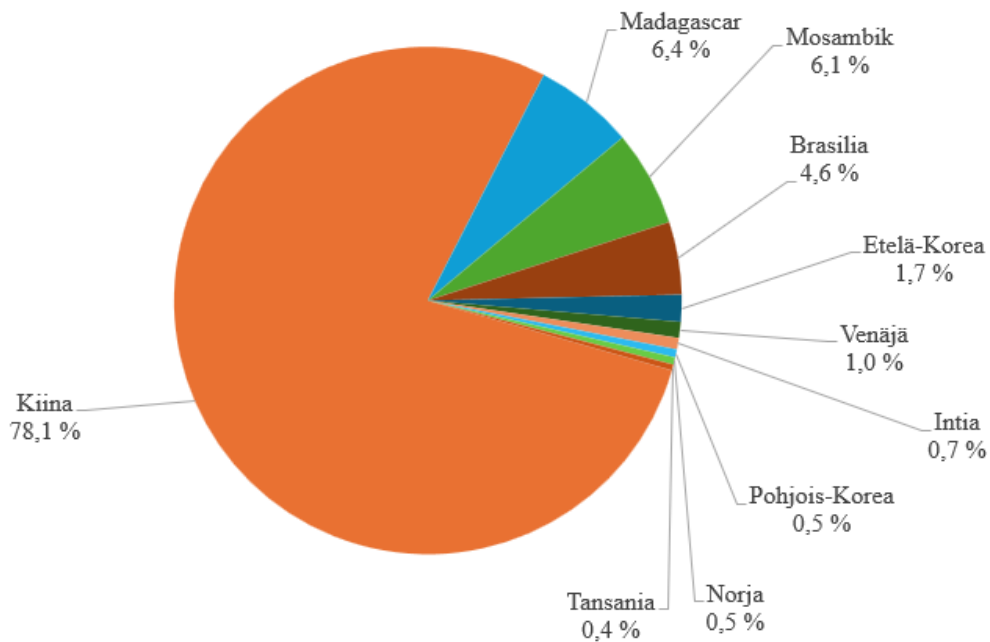
2.3 Esiintyvyys

Grafiittia esiintyy lähes joka puolella maailmaa, mutta vain muutamissa valtioissa esiintymät ovat niin suuria ja laadultaan sopivia, että niitä voi hyödyntää taloudellisesti kannattavasti. Grafiittivarannot ovat jakautuneet niin, että Kiinassa, Brasiliassa ja Mosambikissa on suurimmat varannot (Park et al., 2025). Kuvassa 1 on esitetty maailman kymmenen grafiittivarannoiltaan suurinta valtiota. Myös osin samat valtiot tuottavat eniten grafiittia. U.S. Geological Surveyn (USGS) (2024) mukaan Kiina on johtava maa grafiitin tuotannossa. Vuonna 2023 Kiina tuotti 1 230 000 tonnia grafiittia. Kuvassa 2 on esitettynä kymmenen suurinta tuottajaa. Maailman grafiittivarannot yhteensä ovat arviolta 280 000 000 tonnia ja tuotettu grafiittimäärä vuonna 2023 oli 1 600 000 tonnia. Taulukossa 2 on listattuna valtioittain maailman kymmenen suurinta grafiittivarantoa sekä niiden tuotantomäärät.





Kuva 1. Maailman kymmenen suurinta tunnettua grafiittivarantoa hallussaan pitävää valtiota (U.S Geological Survey, 2024).



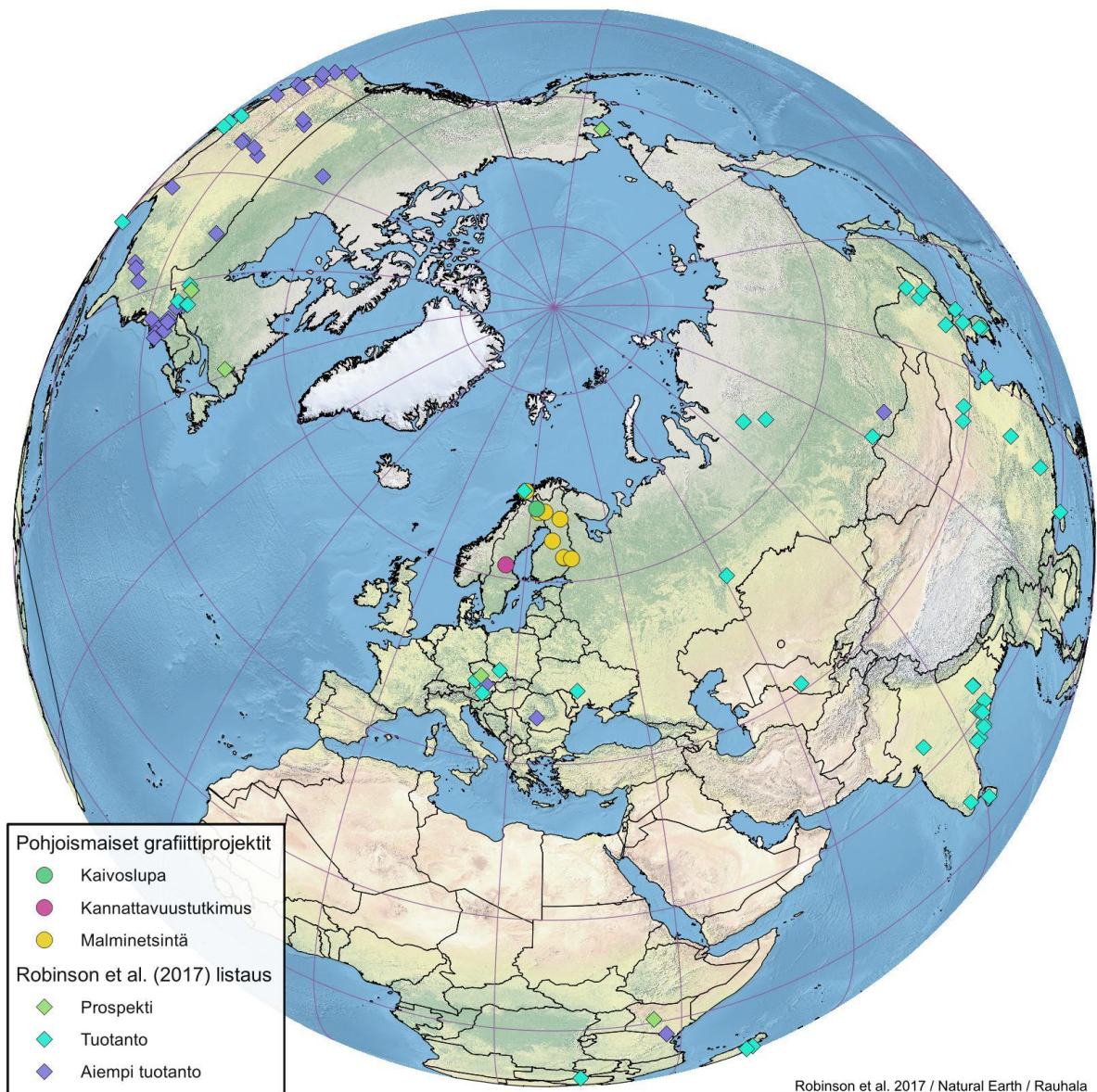
Kuva 2. Maailman kymmenen suurinta grafiitin tuottajaa vuonna 2023 (U.S Geological Survey, 2024).

Taulukko 2. Maailman kymmenen suurinta grafiittivarantoa valtioittain ja niiden tuotantomäärät. Arvot esitetty kilotonneina (U.S Geological Survey, 2024, Statista 2026).

VALTIO	VARANNOT	KAIVOSTUOTANTO 2025
Kiina	100 000	1400
Brasilia	74 000	65
Madagaskar	27 000	80
Mosambik	25 000	60
Tansania	18 000	75
Venäjä	14 000	25
Intia	8 600	17
Turkki	6 900	2
Kanada	5 900	8
Meksiko	3 100	1

Jotta grafiittiesiintymästä voitaisiin hyötyä taloudellisesti, on arvioitu, että hiilipitoisuuden täytyy olla vähintään noin 4 %. Tällä hetkellä tuotannossa olevissa kaivoksissa ja tutkittavina olevissa kohteissa hiilipitoisuuden keskiarvo on noin 13 %. Euroopassa olevat tunnetut grafiittivarannot ovat pieniä verrattuna globaaleihin esiintymiin, nimittäin vain noin 3,7 % maailman tunnetuista grafiittivarannoista sijaitsee Euroopassa. Keskeistä on kuitenkin turvata grafiitin saantia Euroopan unionin alueelta, kuten muiden strategisten ja kriittisten mineraalien osalta. (Weber, 2023)

Pohjois-Euroopassa on tällä hetkellä useita aktiivisia malminetsintä- ja kaivoshankkeita. Muun muassa Norjassa Bukkemoen ja Jennestad ovat geologisesti merkittäviä kohteita Vesterålenin saaristossa (Geological Survey of Norway 2026). Suomessa on tunnistettu mahdollisuuksia grafiittikaivostoimintaan mm. Heinäveden, Tuusniemen ja Siikalatvan alueilla (Grafintec, 2024). Kuvassa 3 on esitetty tunnistettuja grafiittiesiintymiä maailmalla sekä pohjoisten alueiden grafiittikaivoshankkeita.



Kuva 3. Tunnistettuja potentiaalisia grafiittiesiintymiä maailmalla sekä pohjoisten alueiden grafiittikaivoshankkeita. Hankkeita on muitakin mm. Norjassa, sillä grafiitin etsinnässä viimeisin vuosikymmen on ollut aktiivista.

Grafiitin kysynnän kasvaminen voi edesauttaa kehittämään kustannustehokkaita teknisiä ratkaisuja myös pienempien esiintymien hyödyntämiseksi. Monet esiintymät voivat olla haastavia sijainniltaan tai teknisesti vaikeasti toteutettavia tai taloudelliselta hyödyltään liian vähäisiä nykyisillä ratkaisuilla hyödynnettäväksi. Uudet menetelmät ja tavat voivat tuoda paremmat lähtökohdat näille grafiittihankkeille. (Park et al., 2025)

2.4 Louhinta ja rikastaminen

2.4.1 Louhintavaihtoehdot

Luonnongrafiitin tuotantoprosessi alkaa grafiitin louhinnalla kallioperästä. Louhintaa voidaan tehdä avolouhoksista tai maanalaisista kaivoksista. Suurin osa suomugrafiitista louhitaan avolouhoksista. Maanalaisista kaivoksista louhitaan joskus amorfista grafiittia ja pääasiallisesti juonimaisissa esiintymissä olevaa grafiittia. Kahatagahan kaivokset Sri Lankassa hyödyntävät yhtä tunnetuimmista juonigrafiittiesiintymistä. Perinteisesti avolouhoksia suositaan, sillä ne ovat usein kustannustehokkaampia kuin maanalaiset kaivokset, mutta kaivostyypin valinta riippuu malmiesiintymästä. Avolouhoksia suositaan myös, koska grafiitti pysyy vakaana sääolosuhteista riippumatta eli grafiitti ei muutu tai vaurioidu ilman tai sääolosuhteiden vaikutuksesta. (Robinson et al., 2017) Avolouhinta ei kuitenkaan aina ole mahdollista ja maanalaiset kaivokset voivat monesti tarjota pääsyn korkealaatuisiin esiintymiin. Esimerkiksi Norjassa sijaitseva Skaland-kaivos on maanalainen kaivos, joka sijaitsee rinnemäisessä ympäristössä.

Molempiin louhintavaihtoehtoihin liittyy omat haasteensa. Maanalaiset kaivokset ovat usein kalliimpia ja niihin liittyy avolouhoksista poikkeavia työturvallisuusriskejä (Park et al., 2025). Maanalaisiin kaivoksiin liittyviä keskeisiä riskejä ja haasteita ovat muun muassa maanpainumat, sortumat sekä maaperässä ja kallioperässä tapahtuvat rakenteelliset ja geotekniset muutokset, kuten siirtymät, halkeilu ja jännitystilojen vaihtelut. Näitä pyritään huomioimaan kaivoksen layout-suunnittelussa mm. sijoittamalla kaivoksen tarvitsema maanpäällinen infrastruktuuri rakenteellisesti sopivaan paikkaan, jotta maanpinnan muuttumisen aiheuttamilta vaurioilta voidaan välttyä. (Svartsjaern, 2019) Lisäksi on todettu, että maanalainen louhinta voi aiheuttaa todennäköisemmin suuronnettomuusriskiä työntekijöille (Nelson, 2011). Suomen kaivoksissa sattuu vakavia tapaturmia hyvin harvoin.

Avolouhokset puolestaan aiheuttavat mahdollisesti suurempia ympäristövaikutuksia esimerkiksi maiseman muuttumisen sekä pölyn että melun leviämisen riskin vuoksi. Lisäksi verrattuna maanalaisiin kaivoksiin (riippuen esiintymästä) avolouhoksesta joudutaan yleensä siirtämään suuria määriä sivukiveä läjitettäväksi muualle toiminta-alueelle. (Altiti et al., 2021) Tästä syystä avolouhoksille syntyy suurempi pinta-alan tarve, varsinkin siinä tapauksessa, kun louhitaan pienen pitoisuuden esiintymää, tai



grafiittiesiintymä on kapea. Suomugrafiittiesiintymät sisältävät yleensä 8–15 % hiiltä siinä missä esimerkiksi juoniesiintymät sisältävät 40–90 % hiiltä. Tämä johtaa siihen, että sivukiveä ja rikastushiekkaa syntyy suhteellisesti enemmän suomugrafiitin tuotannossa verrattuna juonigrafiitin hyödyntämiseen. (Park et al., 2025)

2.4.2 Malmin rikastus

Riittävän puhtaan grafiitin tuottamiseksi, täytyy grafiittimalmin käydä läpi useita prosessointivaihetta. Tavoitteena on vähentää epäpuhtauksia ja muodostaa grafiitista mahdollisimman korkealaatuisia grafiittituotteita. Taloudellisesta näkökulmasta näillä rikastusprosesseilla pyritään lisäämään ja seulomaan suurempikokoisia suomuja tai lisäämään hiilipitoisuutta. Raekooltaan suurta ja hiilipitoisuudeltaan korkeaa grafiittia tarvitaan jatkokäsittelyprosessiin, jossa tuotetaan esimerkiksi akkujen anodien valmistukseen tarvittavaa pallografiittia. (Jara et al., 2019)

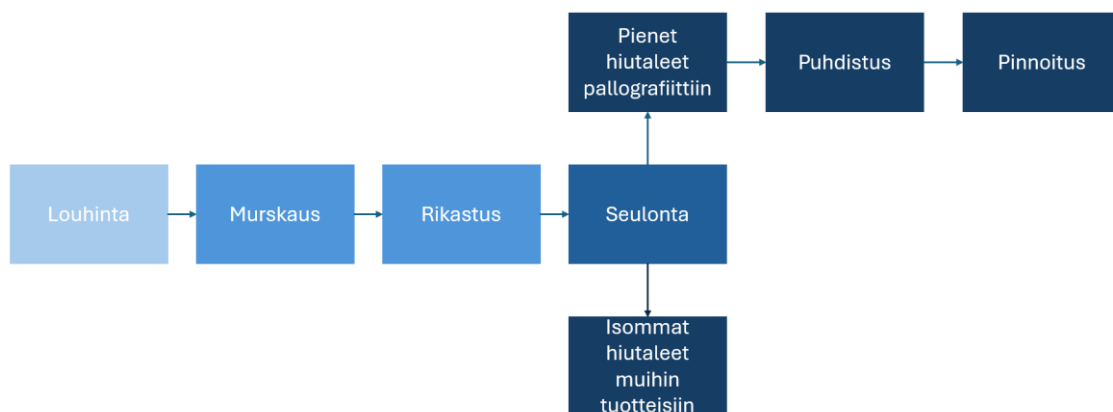
Engels et al. (2022) ovat kuvanneet tiivistetysti grafiitin kaivos- ja käsittelyprosessin Kiinan Heilongjiangissa sijaitsevassa grafiittikaivoksessa ja käsittelylaitoksessa. Prosessi alkaa malmin louhimisella, jonka jälkeen se kuljetetaan rikastamoon murskattavaksi ja prosessoitavaksi. Malmimurske käy läpi monivaiheisen rikastuksen, jossa epäpuhtauksia poistetaan ja saavutetaan haluttu grafiittikonsentraatio. Rikasteen laatu riippuu malmin laadusta, käytettävästä kalustosta sekä asiakasvaatimuksista. Rikastuksessa tähdätään yleensä n. 85–98 % grafiittipitoisuuteen.

Rikastusprosessi tehdään tavallisimmin mineraalien vaahdotuksella, joka perustuu grafiitin ominaisuuteen hylkiä vettä. Aiemmin prosessi on vaatinut lukuisia jauhamis-vaahdotuskierroksia, jotta on saatu grafiitille tarvittava puhtaus. Nykyisin prosessissa tehdään suurustus (esikonsentointi) grafiitille, mikä vähentää tarvittavia rikastuskierroksia ja tuottaa korkeampilaatuista rikastetta. Näin ollen kaivoksilla rikastuskierrosten määrä voi olla hyvin erilainen esiintymän puhtauden mukaan. (Peng et al., 2023)

Grafiittirikastetta voidaan myös jälkikäsitellä rikastamisen jälkeen. Jos tuotettu konsentraatti sisältää tarpeeksi erittäin isoja suomuja, ne voidaan erotella ja käyttää muiden tuotteiden kuten grafiittifolion ja erilaisten tiivisteiden valmistukseen ja konsentraatin pienemmät hiutaleet puolestaan palloitetun grafiitin tuottoon. Pallografiitti



tuotetaan erottelemalla sopivankokoiset suomut rikasteesta ja muokkaamalla ne mekaanisesti pallomaisiksi partikkeleiksi. Anodigrafiitti viimeistellään pinnoittamalla se hiilellä. Tällä lisätään sekä grafiitin sähkökemiallista suorituskkyä että sen kestävyyttä pitkäaikaisessa käytössä. Pallomaiset partikkelit pakkautuvat tiiviimmin anodiin ja lisäävät varaustiheyttä, kun taas hiilikerros vähentää liuosmuotoisen Li-ioneja sisältävän elektrolyytin kovettumista elektrodeihin. Kuvassa 4 on esitetty grafiitin tuotannon prosessikuvaus yksinkertaistetusti. (Engels et al., 2022)



Kuva 4. Grafiitin tuotannon prosessikuvaus yksinkertaistetusti (Engels et al., 2022).

Rikastusprosessissa syntyy malmityyppin mukaan varsin paljon rikastushiekkaa. Esimerkiksi grafiittipitoisuudeltaan 20 %:n malmin konsentroinnissa vaahdottamalla, noin 80 % louhitun malmin massasta läjitetään rikastushiekka-altaaseen (muu mineraaliaines). Osa grafiitista menee myös rikastushiekkaan (rikastuksen tavanomainen saanto 85–90 %). Grafiitin pallotuksessa saadaan vaahdotuksella saadusta rikasteesta tuotettua noin 40 % halutun muotoisia ja kokoisia partikkeleita. Hienoksi jauhautunut, noin 60 % osuus käytetään muihin tuotteisiin, kuten kyniin ja tehdastuotteisiin. (Engels et al., 2022)

3 GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN NYKYTILA

3.1 Grafiittikaivokset pohjoisilla alueilla

Aktiivisia kaivos- tai tutkimushankkeita on lukuisia pohjoisilla alueilla. Kuvasta 3 voidaan tunnistaa kohteita sekä Suomen, Norjan ja Ruotsin alueilta kuin myös Alaskasta, Kanadasta ja Grönlannista. Aktiivisia kaivoksia, joista grafiittia louhitaan, on tähän raporttiin tunnistettu kaksi pohjoisilta alueilta. Norjassa Senjan saarella sijaitseva Euroopan ainoa luonnongrafiittia tuottava Skalandin kaivos ja Kanadan Quebecissä sijaitseva Lac-des-Îles-grafiittikaivos, joka on puolestaan Pohjois-Amerikan ainoa tuottava grafiittikaivos. (Grafintec, 2024; Greenroc, 2023; Mineral Commodities, 2021; Northern Graphite, 2025)

Tutkimushankkeita tai kannattavuusselvityksiä on useita käynnissä pohjoisilla alueilla. Muun muassa Kanadassa on löydetty useita esiintymiä Quebecin alueella, jotka ovat tutkimusvaiheessa, mutta mm. Nouveau Monde Graphite -yhtiön Matawinie kaivoshankkeen suunnitelmat ovat jo pidemmällä kannattavuusselvityksissä kuten myös Northern Graphiten Bisset Creek -hanke (Northern Graphite, 2025). Pohjois-Euroopassa tutkimushankkeita on käynnissä esimerkiksi Vittangissa, Ruotsissa, kannattavuusselvitysvaiheessa (Talga Group, 2024), Jennestadissa Norjassa (Mineral Commodities, 2021) ja Suomessa Heinävedellä sekä Siikalatvalla malminetsintävaiheessa (Grafintec, 2024; Kupukan grafiitti 2025).

3.1.1 Merkittävät grafiittihankkeet Norjassa

Senjan saarella sijaitseva Skalandin grafiittikaivos (Trælen esiintymä) on ainoa Euroopan toiminnassa oleva suomugrafiittia tuottava kaivos. Tuotantoa oli ensimmäisen kerran vuonna 1917. Louhinta tapahtuu maanalaisesta kaivoksesta, sillä esiintymä sijaitsee vuoren rinteessä. Skaland on yksi maailman rikkaimmista esiintymistä, grafiittipitoisuus 25,6 % (vuoden 2021 JORC-mukainen varantoarvio). Tuotteena kaivoksella syntyy prosessoinnin jälkeen grafiittirikastetta, jonka hiilipitoisuus on noin 91 %. Senjan alueella on myös muita potentiaalisia grafiittiesiintymiä, joiden kannattavuutta on alettu kartoittaa. (Mineral Commodities, 2021)



Lisäksi Jennestadin alueella Vesterålenissa on tutkittu mahdollisia suomugrafiittiesiintymiä. Jennestadissa on ollut aiemminkin grafiittikaivos, joka on toiminut vuosina 1899–1914 (Gautneb & Tveten, 2000). Jennestadin varantojen hiilipitoisuuden arvellaan olevan noin 9,6 % (Gautneb et al., 2020). Esiintymää tutki myös vuonna 2013 Norwegian Graphite -yhtiö, joka on sittemmin lakkautettu.

3.1.2 Merkittävät grafiittihankkeet Ruotsissa

Ruotsissa merkittävä grafiittihanke on Vittangin alueella. Kannattavuusselvityksen mukaan tuotanto olisi 120 000 t korkealuokkaista grafiittia vuodessa. Tuotanto on suunniteltu siten, että louhittu grafiitti lähtee prosessin jälkeen rikasteena jatkojalostettavaksi Luulajaan, jossa siitä tehdään anodimateriaalia. Kaivos on suunniteltu toteutettavaksi avolouhoksena. (Talga Group, 2024)

Talga Group tutkii myös muita grafiittimahdollisuuksia Ruotsissa. Kohteet ovat Jalkusessa, joka on noin 50 km päässä Vittangin alueesta ja Raitajärvellä, joka sijaitsee Överkallixin lähellä. Viimeisimmät resurssiarvioinnit Talga groupin sivustolla ovat vuosilta 2013 Raitajärveltä ja 2015 Jalkusesta. (Talga Group, 2023)

Lisäksi Keski-Ruotsissa Edsbynin alueella on kehitysvaiheessa oleva Woxna Graphite -projekti. Projektiin kuuluu neljä esiintymää: Kringel, Mattsmyra, Gropabo ja Mansberg, joita on tutkittu hankkeen aikana. Kringel-esiintymää on louhittu aiemmin Tricoronan harjoittamana vuosina 1996–2001. Kaivos on ollut avolouhos, tavoitteena tuottaa anodimateriaaliksi työstettävää suomugrafiittia. Reservien hiilipitoisuus on 9,13 %. Woxna Graphiten ruotsalainen tytäryhtiö Leading Edge Materials on arvioinut grafiittirikasteen tuotannon aloittamista uudelleen. (Stinton et al., 2021)

3.1.3 Merkittävät grafiittihankkeet Suomessa

Geologian tutkimuskeskus (2015) on selvittänyt grafiittipotentiaalia ja tuotantoa Suomessa. Vuoden 1947 jälkeen Suomessa ei ole ollut grafiitin tuotantoa, vaikka se on yleinen mineraali kallioperässämme (Ahtola & Kuusela, 2015). Beowulf Miningin suomalaisella tytäryhtiöllä Grafintecillä on ollut vuonna 2024 menossa muutamia malminetsintähankkeita Suomessa kuten Heinävedellä, Tuusniemellä ja Kruunupyyssä. Aiemmin hankkeita oli myös Lapualla, mutta niistä on luovuttu. Näistä Aitolammen



grafiittiesiintymä Heinävedellä Pitkäjärven malminetsintäalueella on yksi Euroopan suurimmista tunnetuista suomugrafiittiesiintymistä (hyödynnettävää malmia 19,3 miljoonaa tonnia, pitoisuudella 4,8 % C). Alueelta löydettyä malmia on testattu rikastamisen ja pallotuksen osalta ja on todettu, että konsentraatin prosessointi anodigrafiitiksi on mahdollista. (Grafintec, 2024)

Siikalatvalla malminetsintää suorittaa Kupukan grafiitti. Esiintymää pidetään lupaavana (Kupukan grafiitti, 2025). Samoin Siikalatvan alueen grafiittipotentiaalia on tutkinut GTK vuosina 2022–2025 ja näiden tutkimusten tulokset esitetään myös Siikalatvan grafiitti vihreän siirtymän raaka-aineena hankkeen loppuraportissa.

3.1.4 Merkittävät grafiittihankkeet Pohjois-Amerikassa ja Grönlannissa

Kanadassa on Pohjois-Amerikan ainoa toiminnassa oleva grafiittikaivos, Lac-des-Îles Quebecissä. Ensimmäisen kerran kaivostoiminta alueella on aloitettu vuonna 1989 ja Northern Graphite -yhtiölle kaivos siirtyi vuonna 2022. Kaivos tuottaa nykyisin erilaisia grafiittirikasteita noin 5 000–15 000 tonnia vuodessa. Tämä on aiempaa tuotantomäärää hieman vähemmän. Grafiittia tuotetaan avolouhintana. Alueella on useita eri aikoina hyödynnettyjä louhoksia. Käytöstä poistettuihin louhoksiin sijoitetaan nykyisin sivukiveä. (El-Rassi et al., 2023) Northern Graphitella on myös toinen grafiittihanke Bisset Creek Kanadan Ontariossa, joka on lähes siinä vaiheessa, että kaivosalueen rakentaminen voi alkaa. Alustavan grafiittikonsentraattituoton oletetaan olevan n. 44 000 tonnia vuodessa. (Northern Graphite, 2025)

Kanadassa Quebecissä on myös muutamia muita grafiittihankkeita, kuten Nouveau Monde Graphite:n Matawinie-projekti, joka on kannattavuusselvitysvaiheessa. Kaivoksen oletetaan tuottavan jopa yli 100 000 tonnia grafiittirikastetta vuodessa. Kaivos toteutettaisiin avolouhoksena. Alueella ei ole aiemmin ollut kaivostoimintaa. (Allaire et al., 2025) Lisäksi Lomiko Metals:n La Loutre -projekti sijaitsee myös Quebecin alueella, mutta on vasta malmivarojen arviointivaiheessa (Iund et al., 2023).

Myös Alaskassa on aloitettu ainakin yksi grafiittihanke Graphite Onen toimesta. Graphite Creek -projekti on kannattavuusselvitysvaiheessa ja kaivoksen oletetaan tuottavan täydessä kapasiteetissaan n. 175 000 tonnia rikastetta vuodessa. Alueella on ollut kaivostoimintaa aikaisemminkin 1900-luvun alussa. (Todd et al., 2025) Grönlannin



Amitsoqissa Greenroc on käynnistänyt grafiittihankkeen. Kohteelle on tehty alustava taloudellinen selvitys, jota täydennetään parhaillaan kannattavuuslaskemilla. Selvityksen perusteella vuosittainen rikasteen tuotanto voisi olla n. 77 000 tonnia vähintään 94 % hiilipitoisuudella. (Greenroc, 2023)

Taulukossa 3 on tiivistettynä perustietoja pohjoisten alueiden kaivoshankkeista, kuten vuotuinen tuotantomäärä, kaivostyyppi, esiintymän grafiitin hiilipitoisuus ja mineraalivarannon kokonaismäärä esiintymässä. Lisäksi taulukossa 3 on ilmoitettu hiilipitoisuuden yhteydessä cut-off-pitoisuus, joka kertoo mistä pitoisuudesta alkaen malmi on laskettu mukaan arvoihin. (Pittuck, 2015) Koska kaivosyhtiöt käyttävät hieman erilaisia cut off -arvoja, taulukon grafiittipitoisuuksia ei voi suoranaisesti verrata toisiinsa. Kaikkia esiteltyjä hankkeita ei ole sisällytetty taulukkoon puutteellisten tietojen vuoksi.



Taulukko 3. Eräitä pohjoisia grafiittihankkeita (Allaire et al., 2025; El-Rassi et al., 2023; Gignac et al., 2012; Iund et al., 2023; Stinton et al., 2021; Todd et al., 2025).

Grafiittihanke	Yhtiö	Sijainti	Status	Viimeisin pitoisuusmittaus	Vuotuinen konsentraatin tuotto/oletettu tuotto	Esiintymän tyyppi	Kaivos-tyyppi
Skaland graphite operation	Mineral Commodities	Norja, Senja	Kaivostoiminta käynnissä	25.6 % (10 % COG)	15 kt	suomu	maanalainen
Woxna Graphite project	Leading edge materials	Ruotsi, Edsby	Kannattavuustutkimus	9.13 % (7 % COG), Kringel	14,7 kt, Kringel	suomu	avolouhos
Lac-des-Îles	Northern graphite	Kanada, Quebec	Kaivostoiminta käynnissä	6.4 % (2.3 % COG)	10 kt	suomu	avolouhos
La Loutre project	Lomiko metals	Kanada, Quebec	Resurssiestimointi	4.59 % (1.5 % COG)	-	suomu	avolouhos
Matawinie mine project	Noveau Monde Graphite	Kanada, Quebec	Kannattavuustutkimus	4.26 % (1.78 % COG)	105,9 kt	suomu	avolouhos
Aitolammen grafiittiesiintymä	Grafintec	Suomi, Heinävesi	Malmintetsintä	4.8 % (3 % COG)	-	suomu	avolouhos
Graphite Creek project	Graphite One	USA, Alaska	Alustava kannattavuustutkimus	4.58 % (2 % COG)	180,1 kt	suomu	avolouhos
Bisset Creek	Northern graphite	Kanada, Ontario	Lupien hankkiminen	2.5 %	15,6 kt	suomu	avolouhos

3.2 Kaivostoiminnan alueelliset vaatimukset

Alueelliset vaatimukset kaivostoiminnalle riippuvat monista eri seikoista. Esiintymän pitoisuus, grafiitin suomukoko ja malmin koko sekä sen laatu vaikuttavat mm. rikastushiekan määrään ja avolouhinnassa louhoksen kokoon ja syvyyteen. Edellä mainittujen grafiittikaivosoperaatioiden teknisiä raportteja tutkimalla on voitu tunnistaa muutamia strategisesti ja taloudellisesti tärkeitä seikkoja aluevalinnan kannalta kaivostoiminnan edellytykseksi, kuten etäisyys lähimmästä suuremmasta asutuksesta, valtatiestä ja potentiaalisista kaivoksella hyödynnettävistä vesivarannoista. Lisäksi sähkön saatavuus ja tuotanto on tärkeää kaivoksen sijainnille.

3.2.1 Infrastrukturi ja rakennukset

Kaivostoiminnan infrastruktuuria ovat mm. alueelle johtavat ja alueella olevat kulku- ja liikenneväylät, veden- ja sähkönjakelu sekä vesialueet ja vedenhallinta. Grafiittihankkeiden teknisistä raporteista on mahdollisuus löytää tietoa kaivosalueiden sijainneista maanteiden ja asutuskeskusten suhteen. Esimerkiksi Woxna Graphite kaivosalue sijaitsee n. 9,5 km päässä maantie 301:stä ja lähellä Edsbynin kylää (Stinton et al., 2021). Lac-des-Îles-kaivokse etäisyys moottoritie 309:lle on noin 5 km ja lähin suurempi asutus Mont-Laurier on 24 km etäisyydellä (El-Rassi et al., 2023). Taulukossa 4 on niiden grafiittihankkeiden sijaintitietoja, joista oli tietoja asutuskeskusten ja tieyhteyksien suhteen.

Lisäksi vedenhallinta kaivosalueilla on tärkeää, sillä mm. tietyt sulfidipitoiset mineraalit hapettuessaan muodostavat happamia suotovesiä, jotka vaativat erityisesti rikastushiekka-altailta ja niiden rakenteilta parempaa ympäristönsuojelun tasoa sekä ympäristön tilan seuranta ympäristövaikutusten minimoimiseksi. Malmin prosessointiin ja muuhun kaivostoiminnan ylläpitämiseen tarvitaan paikallisia vedenottopaikkoja. Rikastusprosessin jätevedet johdetaan rikastushiekka-altaille, joista vesi palautetaan prosessiin. Tämä vähentää uuden veden tarvetta. Pintavedet pyritään pitämään erillään suljetun kierron vesistä. Sadevedet johdetaan selkeytysaltaiden kautta pois kaivosalueelta. (Wills & Finch, 2016)



Taulukko 4. Grafiittihankkeiden sijaintitietoja suurempien asutuskeskusten ja suurempien teiden suhteen, sekä alueelle kulkevan tien tyyppi. (Allaire et al., 2025; El-Rassi et al., 2023; Gignac et al., 2012; Stinton et al., 2021; Todd et al., 2025)

Grafiittihanke	Lähin suurempi asutus	Lähin suurempi tie	Alueelle johtavan tien tyyppi
Lac-des-Îles	Mont-Laurier n. 24 km matkaa	Moottoritie 309 n. 5 km päässä alueelta	Päällystämätön tie
Bisset Creek	North Bay n. 110 km matkaa	Moottoritie 17 n. 5 km päässä alueelta	Päällystämätön tie
Woxna Graphite	Edsbyn n. 10 km matkaa	Moottoritie 301 n. 10 km päässä alueelta	Päällystämätön tie
Matawinie	Montreal n. 120 km matkaa	maantie 131 n. 8 km päässä alueelta	Soratie
Graphite Creek	Nome n. 60 km matkaa	Nome-Teller moottoritie n. 30 km päässä alueelta	Alueelle johtavaa tietä ei tällä hetkellä ole, mutta se on suunnitteilla

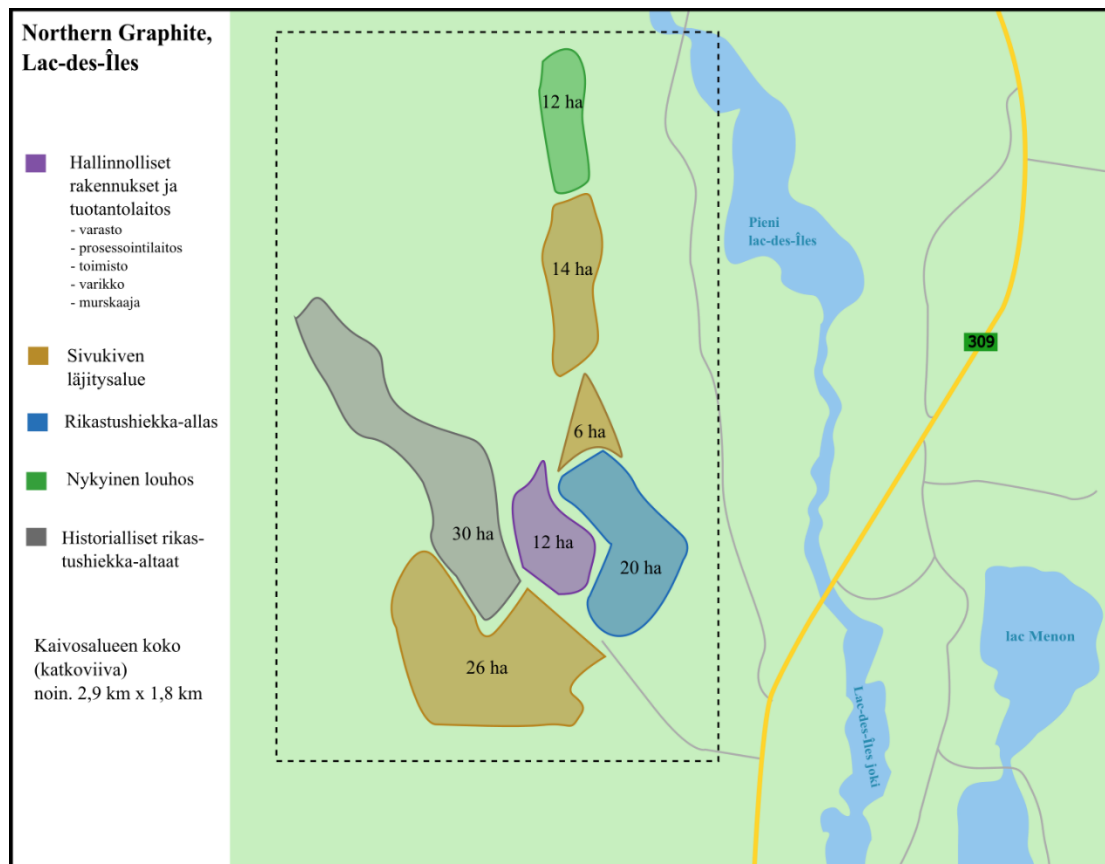
Veden lisäksi myös sähkönjakelu on oleellinen osa kaivosalueen infrastruktuuria ja se voidaan toteuttaa eri tavoilla riippuen kaivosalueen sijainnista. Quebecissä sijaitsevat Lac-des-Îles ja Matawinie -kaivokset saavat sähkönsä quebecilaiselta vesivoimayhtiöltä ja Bisset Creek -hankkeelle suunnitellaan maakaasulinjaa, jolla ylläpidetään kaivosalueen omaa sähköntuottolaitosta. Ruotsissa sijaitsevan Woxna grafiittikaivoksen suunnitellaan myös käyttävän kunnallista vesivoimaa, kun taas Graphite Creek -hankkeelle on suunnitteilla kaivoksen oma sähköntuottolaitos alueella mahdollisesti potentiaalisen hyödynnettävän vesivoiman vuoksi.

Tutkittujen kaivosalueiden sähkönkulutus on vaihtelevaa. Lac-des-Îles-kaivoksella sähkön maksimikulutus on ollut vain 50 kW vuonna 2023 (El-Rassi et al., 2023), kun taas Graphite Creek ja Matawinie -kaivosten prosessointilaitosten arvioitu sähkönkäyttö on noin 15 MW. Lac-des-Îles-kaivoksen matalampi sähkönkulutus johtuu todennäköisesti siitä, että kaivosyrityksen lopputuote on grafiittirikaste eli sille ei tehdä jatkokäsittelyä (Allaire et al., 2025; Todd et al., 2025). Prosessointilaitos kuluttaakin tavallisesti suurimman määrän sähköä ja Woxna-kaivoksen teknisessä raportissa on arvioitu, että n. 95 % sähkönkäytöstä menee rikasteen tuottamiseen ja sen jatkokäsittelyyn (Stinton et al., 2021).

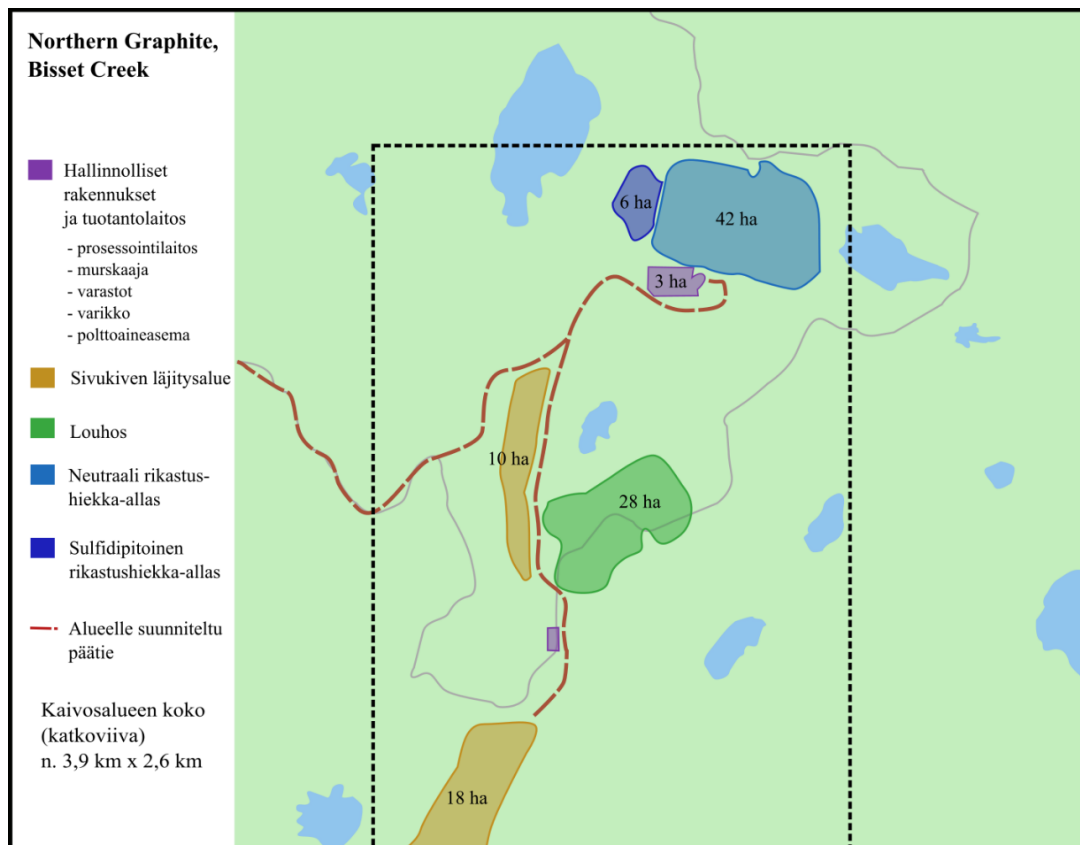


Sijainnin tärkeys tulee esille kaivostoiminnan yhteydessä myös osaavan työvoiman ja tarvittavan koneiston saatavuuden kannalta. Mm. Matawinie-grafiittihankkeen lähialueella on paljon metsätaloutta, minkä vuoksi alueella on osaamista tarjolla, kuten mekaanikkoja ja raskaskaluston kuljettajia. (Allaire et al., 2025)

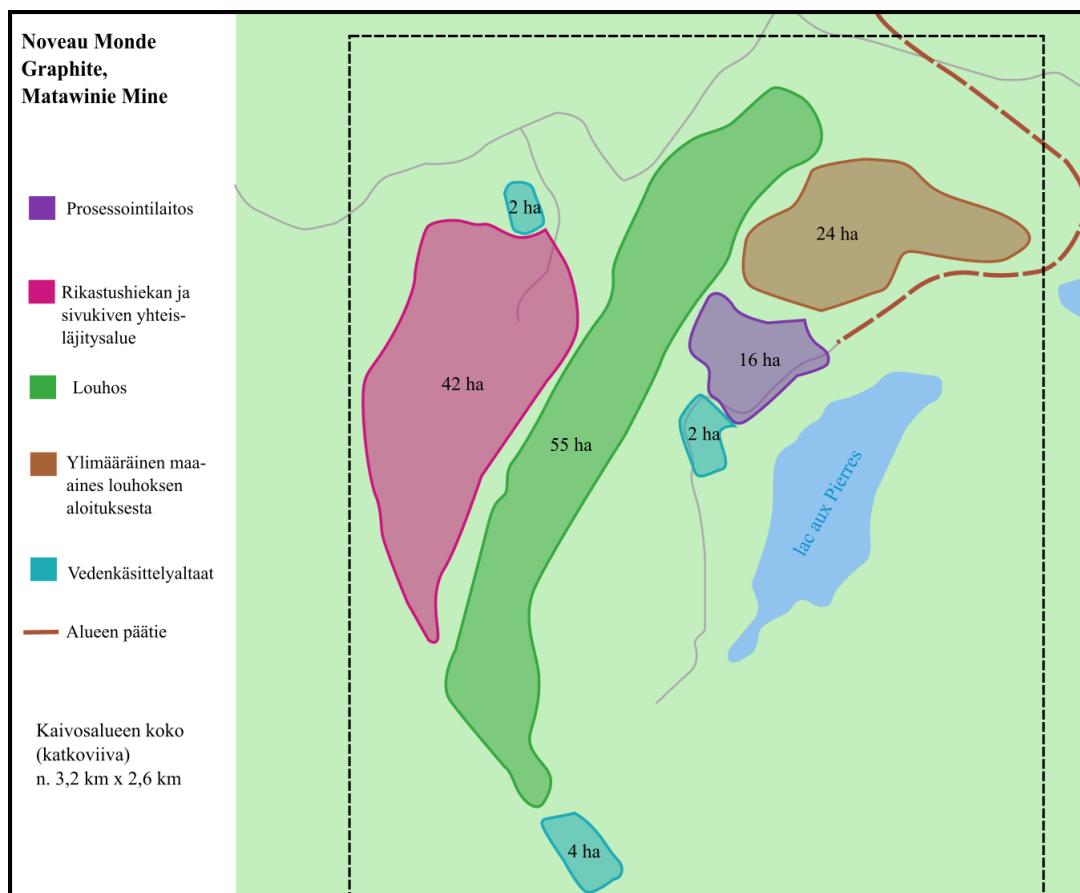
Teknisistä raporteista tunnistettiin useita grafiittikaivoksissa tarvittavia rakennuksia ja rakenteita. Louhoksen lisäksi mm. rikastushiekka-altaat, sivukivien läjitysalueet, malmin murskaus, prosessointilaitos, vedenpuhdistamo, huoltamo, varastot ja hallinnolliset rakennukset ovat oleellisia kaivosalueella. Prosessointilaitoskokonaisuus sisältää rikastusprosessiin tarvittavan laitteiston sekä säiliöt, joissa rikastetta säilytetään. Louhittavaa malmia myös säilytetään välivarastossa sille tarkoitetulla alueella, jos prosessointilaitoksen kapasiteetti on kokonaan käytössä. (Allaire et al., 2025) Kuvissa 5–10 on esitetty muutamien esiteltujen kaivosten aluesuunnitelmia ja kaivosalueiden arvioitua kokoa sekä eri toiminnallisten alueiden karkeasti arvioidut alat. Lisäksi taulukossa 5 on listattuna toiminnallisten alueiden koot tutkituissa kaivoshankkeissa.



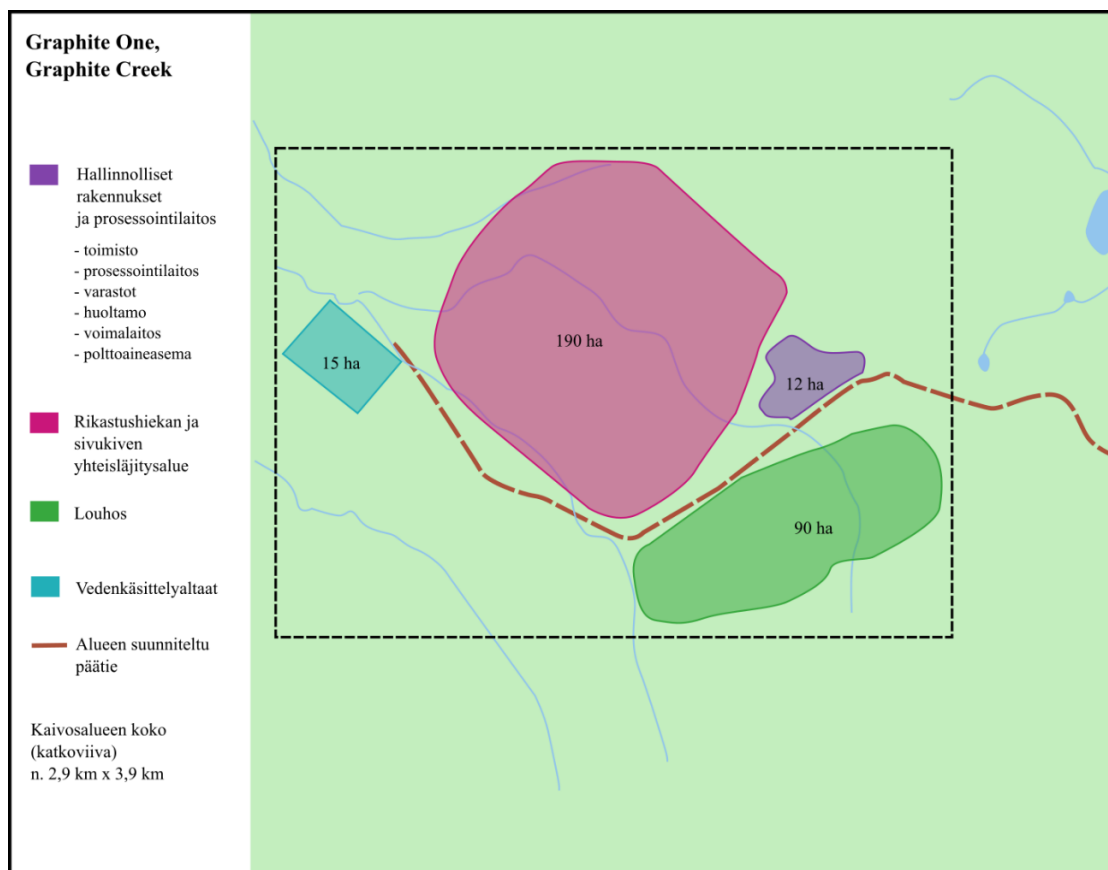
Kuva 5. Lac-des-Îles-kaivoksen alue (El-Rassi et al., 2023).



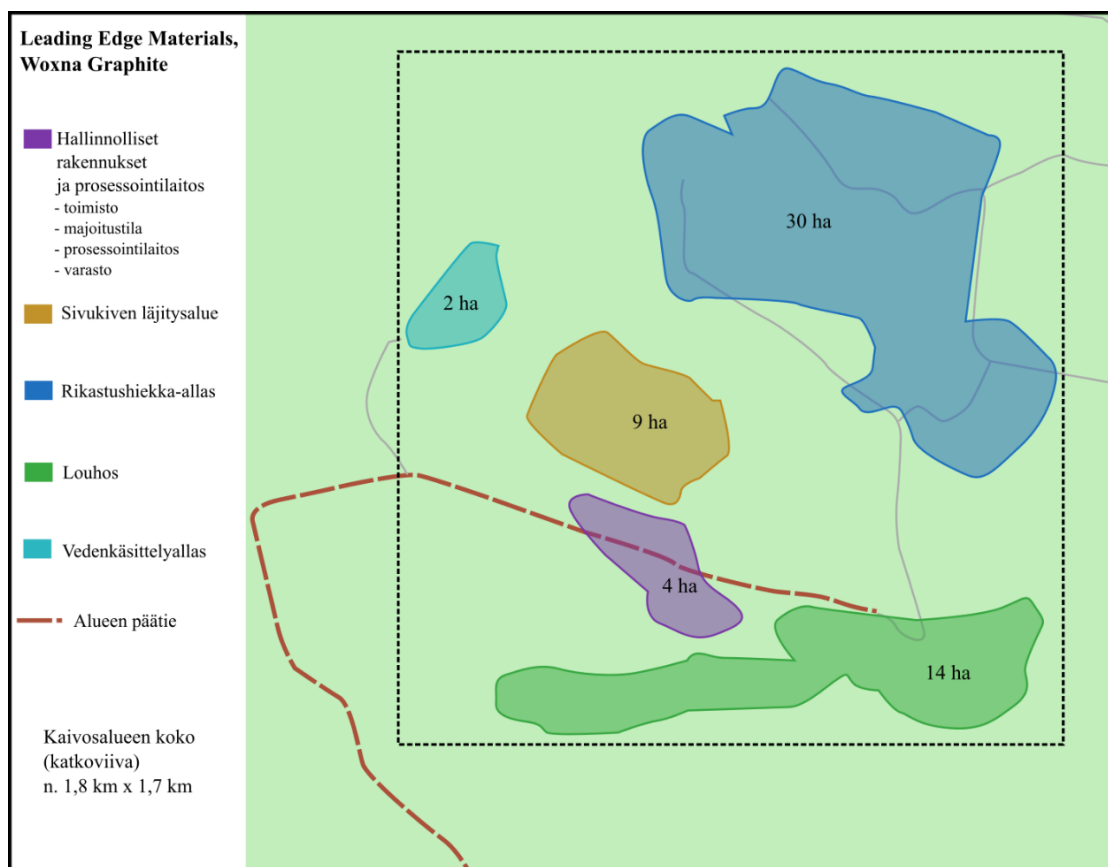
Kuva 6. Bisset Creekin kaivosalueen suunnitelma (Gignac et al., 2012).



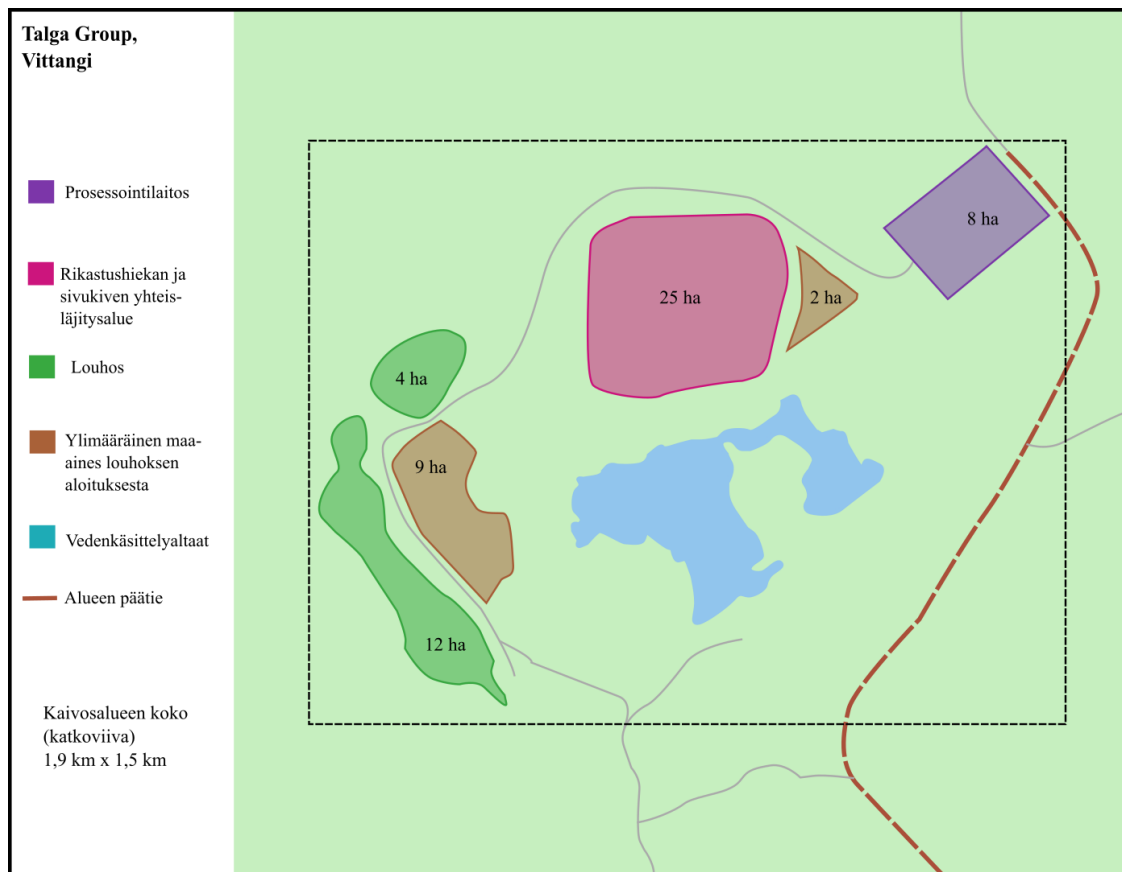
Kuva 7. Matawinie -kaivosalueen suunnitelma (Allaire et al., 2025).



Kuva 8. Graphite Creekin kaivosalueen suunnitelma (Todd et al., 2025).



Kuva 9. Woxna Graphiten kaivosalueen suunnitelma (Stinton et al., 2021).



Kuva 10. Vittangin kaivosalueen suunnitelma (Golder, 2020b).

Taulukko 5. Kaivoshankkeiden alueiden tiedot taulukoituna (Allaire et al., 2025; El-Rassi et al., 2023; Gignac et al., 2012; Golder, 2020b; Stinton et al., 2021; Todd et al., 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
Rikastuhiekka-allas	42 ha + 6 ha			30 ha	20 ha	
Sivukivien läjitysalue	28 ha			9 ha	46 ha	
Vedenkäsittelyaltaat		8 ha	15 ha	2 ha		
Yhteisläjäytysalue		42 ha	190 ha			25 ha
Ylimääräisen maa-aineksen varastointi		24 ha				9 ha + 2 ha
Historialliset rikastuhiekka-altaat					30 ha	



3.2.2 Jätehuolto

Kaivostoiminnassa muodostuu lähinnä kaivannaisjätteinä sivukiveä ja rikastushiekkaa. Sivukivi varastoidaan kaivosalueelle, mutta sille pyritään löytämään mahdollisuuksien mukaan käyttöä. Esimerkiksi Lac-des-Îles-kaivoksella sivukiveä on käytetty aiemmin hyödynnettyjen louhosten täyttöihin ja rikastushiekka-altaiden rakentamisessa (El-Rassi et al., 2023). Jos sivukiveä ei voida hyödyntää alueen maisemoinnissa, kaivostäytöissä tai rakenteissa, täytyy sivukiville osoittaa erikseen paikka. Graphite Creek on suunniteltu niin, että sivukivi säilötään rikastushiekan kanssa samassa läjityksessä. Tämä ei kuitenkaan ole usein kannattava ratkaisu, mikäli jätteiden laadulliset ominaisuudet eroavat. (Todd et al., 2025)

Malmin käsittelyssä ja prosessoinnissa muodostuva rikastushiekka läjitetään altaisiin. Pääosa rikastushiekkaa voidaan varastoida niin sanottuun neutraaliin altaaseen, kun taas sulfidimineraaleja sisältävät rikastusjätteet läjitetään erilleen omaan altaaseen. Rikastushiekan mukana altaalle johdetaan prosessivesiä ja rikastuksessa käytettyjä aineita. Prosessivesien mukana rikastushiekka-altaaseen kulkeutuu lähinnä pH:n säätelyyn käytettyjä aineita (grafiitin vaahdotuksessa tarvitaan joko sammutettua kalkkia tai soodaa), ja muita prosessikemikaaleja vain hyvin vähäisiä määriä. Rikastushiekka-altaisiin johdetut vedet kerätään ja kierrätetään takaisin rikastusprosessiin. Lisäksi huolehditaan, ettei hallitsemattomia suotovesiä synny tai niiden leviäminen ympäristöön estetään. Osa rikastamon prosessivedestä jää rikastushiekkaan huokosvedeksi. Rikastushiekalle on kehitetty uudenlaisia käsittelymenetelmiä kuten pastatekniikka tai kuivaläjitys. Usein sitä voidaan käyttää myös hyödyksi kaivostäytöissä. (Wills & Finch, 2016)

Happoa tuottavat kivilajit saattavat puolestaan johtaa metallien liukenemiseen valumaveteen. Happamien suotovesien muodostumista pyritään välttämään eliminoimalla rikastushiekasta joko ilma, vesi tai sulfidipitoinen materiaali. Jos happamia suotovesiä kuitenkin muodostuu, vesi tulee kerätä ja käsitellä vedenpuhdistamolla. (Wills & Finch, 2016) Kipsisaostus on yksi tunnetuista sulfaatinpoistokeinoista, jota voidaan käyttää rikastushiekan käsittelyyn. Myös muita keinoja tutkitaan tai on kehitetty rikastushiekan käsittelyyn (Runtti et al., 2018). Esimerkiksi Talga Groupin Vittangi-kaivoshankkeessa on arvioitu, että rikastuksessa syntyvä materiaali voi olla potentiaalisesti happoa tuottavaa, jolloin veden puhdistuksen ja keräämisen tärkeys on



suuressa roolissa alueen tuotantolaitoksen ympäristötoimissa (Golder, 2020a). Siikalatvan grafiittiesiintymissä tavatut sulfidit ovat rautakiisuja (magneettikiisu ja rikkikiisu) (Konnunaho et al., 2026). Niissä ei ole raudan lisäksi muita metalleja.

Vedenkierto ja puhdistus on keskeisessä osassa kaivosten toimintaa. Valumavesien hallinnan lisäksi avolouhoksilla on louhoksen vedenpoistoa, prosessointilaitosten prosessiveden ottoa sekä jätevesien käsittelyä. Bisset Creek -hankkeeseen suunnitellussa vedenkiertojärjestelmässä mm. rikastushiekassa oleva vesi kerätään talteen. Neutraalin rikastushiekan vettä käytetään prosessointilaitoksen ylläpitämiseen ja sulfidipitoisen rikastushiekan vesi pumpataan vedenpuhdistuslaitokselle. Lisäksi prosessointilaitoksen vesitarpeen tyydyttämiseen vettä pumpataan alueella olevasta Blimkie-järvestä. Järveen lasketaan takaisin vettä neutraalin rikastushiekan altaasta. Hulevedet on tärkeä pitää erillään muista kaivosvesistä ja kerätä erilleen. Puhtaana käyttövetenä kaivoksella käytetään pohjavettä, joka saadaan alueelle tehtävistä kaivoista. (Gignac et al., 2012) Prosessi on lähes samanlainen myös muilla kaivoksilla, lukuun ottamatta Lac-des-Iles-kaivosta, jonka operointi ei tuota happopitoista valumavettä, jolloin ei ole erillistä tarvetta happamien suotovesien vedenkäsittelylle. (El-Rassi et al., 2023)

Suomessa kaivoshankkeiden YVA-prosessissa ja ympäristöluvassa huomioidaan toiminnassa muodostuvat kaivannaisjätteet, ja niiden karakterisointimenetelmät. Lisäksi niissä selvitetään kaivosalueella ja -toiminnassa syntyvät vesijakeet ja niiden laatua arvioidaan.



4 GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1 Ympäristövaikutukset

Edellä olevissa kappaleissa on jo käsitelty kaivostoiminnan ja rikastuksen prosesseja, ja niissä muodostuvia kaivannaisjätteitä. Kaivosten ympäristövaikutukset ovat kuitenkin yksilöllisiä ja siten riippuvaisia alueen geologiasta ja mineralogiasta, kaivoksen tyypistä, prosessista, kaivosalueen ympäristöstä sekä mm. sen etäisyydestä asutukseen. (Kauppila et al., 2015) Käytännön esimerkkinä käytetään Talga Groupin Ruotsissa sijaitsevan Vittangin kaivoshanketta, joka vastaa olosuhteiltaan ja osaksi lainsäädännöltään eniten olosuhteita Suomessa.

Kaivoksen vaikutukset ovat suurimmat itse kaivosalueella tai välittömässä läheisyydessä olevilla alueilla. Tyypillisiä vaikutuksia ovat kasvava melutaso, tärinän ja pölyn leviäminen sekä muutokset lähimaisemaan. Kaivoksille tehdään tarkka maankäyttösuunnitelma, jotta toiminta voidaan lopettaa niin, että alue pysyy ympäristöllisesti turvallisena. Suunnitelmissa on varmistettava myös se, että alueelta poisjohdettavat vedet ovat puhtaita. (Altiti et al., 2021) Teolliset ympäristöt voivat aiheuttaa alueella asuvien eläinpopulaatioiden asuinalueiden pirstaloitumista. Tosin vaikutus riippuu paikallisista olosuhteista ja siitä, kuinka valikoivia alueen lajit ovat elinpaikastaan (Zhuo et al., 2022).

Kaivostoiminnan ympäristöriskit tunnetaan ja niiden hallinnasta määrätään ympäristöluvassa. Kaivoksen rakennusvaihe, malmin louhinta, murskaus ja kuljetus tuottavat paljon hetkellisiä haittoja, kuten melua, tärinää ja pölyä. Avolouhoksella melu ja pölyhaitat voivat olla suuremmat kuin maanalaisissa kaivoksissa, joissa malmi usein murskataan maan alla. Kiven murskauksen suojauksesta on pitkäaikaista kokemusta muun muassa kiviainestuotannossa. Suojaustoimilla vähennetään pölyn leviämistä muualle kaivosalueelle ja sen ulkopuolelle. Suojaustoimilla lisätään työturvallisuutta ja estetään haitalliset vaikutukset lähiasutukselle ja ympäristölle. (Kauppila et al., 2015) Työntekijöiden työturvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomioita ohjeistamalla muun muassa suojaimien käytöstä. (Robinson et al., 2017).



Melu ja tärinä ovat luonteenomaisia piirteitä kaivostoiminnalle. Jo kaivoksen rakennusvaiheessa melua muodostuu lähinnä työkoneiden liikkumisesta alueella ja maansiirtotöistä. Kaivoksen toiminnan aikana melua syntyy malmin räjäytyksistä, alueella liikkuvista työkoneista sekä malmin siirtelystä ja murskauksesta. (Kauppila et al., 2015) Tärinää muodostuu louhintaräjäytyksistä, jotka voivat aiheuttaa avolouhoksilla myös ilmanpaineen äkillisiä muutoksia. Irtolohkareiden sinkoutumista rajoitetaan huolellisella porareikien suuntauksella ja panostuksella. Räjäytysten tärinästä aiheutuvia raja-arvon ylityksiä ei tapahdu kaivoksen ulkopuolella. Räjäytyksistä maaperään muodostuvat heilahdusnopeudet jäävät kaivosalueelle. Tärinä jää kallion tai moreenin (kitkamaa) päälle perustetuilla lähikiinteistöillä myös alle mittausrajan, kun taas savimaalla olevien rakennusten alueella voi tärinä olla paikallisesti havaittavissa vielä kilometrinkin etäisyydellä. Räjäytysten aiheuttamia ympäristövaikutuksia varten on kehitetty menetelmiä, joilla pyritään pienentämään kaivoksella niistä aiheutuvaa tärinän määrää (Ma et al., 2016). Vittangin kaivosalueella tärinä ja mahdolliset irtokivet on arvioitu erittäin pieneksi häiriötekijäksi, sillä mm. tärinän tasot ovat huomattavasti ruotsalaisten viitearvojen alapuolella ja lähimmät asutukset tai loma-asunnotkaan eivät sijaitse lähellä kaivosaluetta (Golder, 2020b).

Kaivostoiminnan ympäristövaikutuksia alueen vesistöille ja pohjavedelle pyritään vähentämään ottamalla huomioon vesien hallinnan parhaat käytännöt. Esimerkiksi hulevedet pidetään erillään muista kaivoksen ja rikastamon vesijakeista. Kiintoainespitoisuutta pyritään pienentämään ennen vesien johtamista pois alueelta. Kaivostoiminta kuitenkin vaikuttaa pohjavesiolosuhteisiin alueellisesti. Rikastushiekka-altaan happamat suotovedet kerätään ja puhdistetaan. Vesien käsittelyn huolellisuus ja tarkkailu lupavelvoitteen mukaan vähentää merkittävästi riskiä ympäröivän ympäristön pilaantumiselle. (Kauppila et al., 2015) Grafiitin rikastuksessa ei käytetä voimakkaita happoja, vaahdotusprosessin pH säädellään joko poltetulla kalkilla tai soodalla. Prosesseissa käytetään suljettua vedenkiertoa. Grafiitin jatkojalostus tehdään yleensä muualla kuin kaivosalueen rikastamolla, esimerkiksi akkulaatuisen grafiitin mekaaninen muokkaus ja puhdistus emäs-happokäsittelyllä on mahdollista tehdä vain siihen erikoistuneissa jalostuslaitoksissa, missä prosessilaitteisto on suunniteltu niin, ettei vuotoja pääse tapahtumaan, eikä näin ollen riskejä ympäristön happamoitumiselle pääse aiheutumaan (Jacob Robin, 2024).



Vittangi-hankkeen ympäristövaikutusten arviointiraportissa on mm. selvitetty käytännön vaikutuksia pohja- ja pintavesistöille, sekä ympäröiville vesistöille. Kaivosalueelle on suunniteltu kuusi avolouhosta, jotka tulevat mahdollisesti aiheuttamaan tilapäistä pohjaveden laskua alueella, millä on arvioitu olevan kohtalaisia vaikutuksia vieressä sijaitsevaan Hoisiojärveen. Järven vesitasapaino voi muuttua kaivoksen toiminnan aikana, sekä kaivostoiminnasta veteen liukenevien aineiden kuten sulfaattien, kloridien ja kalsiumin pitoisuudet voivat kasvaa. Järvenpinnan alenemista sekä aineiden päätymistä järveen ennaltaehkäistään tarkalla vesien hallinnalla ja käsittelyllä kaivosalueella sekä laskemalla kaivosalueella puhdistettu vesi takaisin Hoisiojärveen. (Golder, 2020b)

Grafiittirikasteen jatkokäsittely palloitetuksi grafiitiksi tehdään erillisissä tuotantolaitoksissa, joiden ympäristöluvista päätetään erikseen (Jacob Robin, 2024). Pallografiitin tuotantoprosessi on suurin energiankulutuserä anodimateriaaliksi sopivan grafiitin tuotannosta. Luonnon grafiitista valmistaminen vaatii kuitenkin merkittävästi vähemmän energiaa verrattuna synteettisestä grafiitista valmistettuun anodigrafiittiin. Engels et al. (2022) tekemän anodigrafiitin elinkaaritutkimuksen mukaan erään kiinalaisen anodigrafiitin tuottajan sähkönkulutuksesta 1000:ta tuotekilogrammaa kohden lähes 60 % kului pallografiitin erotteluun ja pinnoittamiseen. Impakti- ja ilmaerottelumylyt kuluttavat energiaa, ja orgaanisella hiilellä tehty pinta on käsiteltävä sähköä johtavaksi korkeassa kuumuudessa. Chen et al. (2025) mukaan yhden tonnin anodimateriaalin tuottamiseen luonnon grafiitista tarvittava energiankulutus on noin $1,1 \times 10^4$ MJ, kun taas yhden tonnin synteettisen grafiittianodin tuottamiseen tarvittava energia on noin 4×10^4 MJ, mikä on 3,6 kertaa enemmän kuin luonnon grafiitista valmistetulle tuotteelle. CO₂-päästöjen määrä luonnongrafiitista valmistetulle anodimateriaalitonnille on 5,3 tonnia, sen sijaan synteettisen grafiitin valmistus tuottaa yli 10 tonnia CO₂-päästöjä. Anodigrafiitin tuotannosta syntyviä päästöjä voitaisiin pienentää mm. käyttämällä enemmän uusiutuvaa energiaa prosessissa. Käytettyä vesimäärää prosessissa voidaan vähentää ottamalla käyttöön vedenkierrätysjärjestelmä kaivoksella tai jatkokäsittelylaitoksella. (Jacob Robin, 2024)

Kaivostoiminta muokkaa lähimaisemaa. Avolouhinnan päättymisen jälkeen alueelle jää vesiallas, rikastushiekka-allas ja sivukiviläjitys sekä kaivoksen ja rikastamon tarvitsemat rakennukset ja muut rakennelmat, jollei niitä pureta tai siirretä. Esimerkiksi kaivannaisjätealueet tulee peittää pölyämisen estämiseksi ja suotovesien hallintaa tulee jatkaa toiminnan loppumisen jälkeen, jotta voidaan estää haitallisten aineiden pääsy



ympäristöön. Kaivos- ja ympäristöluvassa määrätään myös muusta suojauksesta, kuten vaaranpaikkojen aitaamisesta. Myös mahdolliset sortumavaarat tulee huomioida ja merkitä alueen turvallisuuden ylläpitämiseksi. (Kauppila et al., 2015)

4.2 Vaikutukset alueen yhteisöön

Kaivostoiminnan perustaminen vaikuttaa monin tavoin myös alueen yhteisöön. Mm. alueen väestörakenne voi muuttua, mikä puolestaan voi vaikuttaa alueen palveluihin ja talouteen. Usein uuden teollisuuden käynnistyminen ja työpaikkojen muodostuminen koetaan myönteisesti, kun taas ympäristössä tapahtuvat muutokset koetaan kielteisesti.

Väestön kasvaminen alueella työmuuton vuoksi voi aiheuttaa kiinteistöjen hintojen nousua sekä muuttaa erilaisten asumismuotojen kysyntäjakaumaa. Toisaalta sijainti lähellä kaivosta voi laskea virkistyskäyttöön tarkoitettujen kiinteistöjen arvoa (Kauppila et al., 2015). Liikennemäärät kasvavat alueella, mikä voi vaatia lisää resursseja tien kunnossapitoon ja jopa uusien kulkureittien rakentamista. Työpaikkojen ja sitä kautta kunnan asukasmäärän lisääntyminen voi tarkoittaa kunnalle palvelujen, kuten koulujen, päiväkotien ja terveydenhuollon lisäämistä.

Vaikka kaivoshankkeet voivat tuoda alueelle positiivisia taloudellisia hyötyjä ja kasvattaa työllisyyttä, mielipiteet hankkeiden suhteen ovat monesti hyvin jakautuneet. Yleensä ympäristövaikutukset ovat suurin mielipiteiden jakaja kaivoshankkeen suhteen ja alueella asuvat yhteisöt voivat kokea, että hyödyt eivät ole riittävän suuria haittoihin nähden (Jartti et al., 2020). Kaivoshankkeen hyväksyntään vaikuttaa yhtiöiden viestintä. Sen pitäisi olla sisällöltään täsmällistä ja oikea-aikaista. Hyväksyntä saattaa kuitenkin olla riippuvainen alueen yhteisön nykyisestä taloudellisesta tilasta. Esimerkiksi Ruotsissa monet tutkimushankkeet kohdistuvat pohjoisille alueille, joissa työttömyys on korkeaa, jolloin on todennäköisempää, että kaivoshankkeet saavat hyväksyntää sekä alueen väestöltä että kunnan päättäjiltä (Ejdemo & Söderholm, 2011). Tutkimusten mukaan yksi teollinen työpaikka kertaantuu alueelle luoden vähintään 1,3 työpaikkaa palvelualoille. Suomessa vuoden 2024 alusta voimassa ollut kaivosvero tuo kunnille myös merkittäviä taloudellisia tuloja.



4.3 Grafiitin käytön elinkaarivaikutukset

Grafiitin käytön elinkaarivaikutuksia on tutkittu vähän. Saatavilla olevan datan määrä on rajallista mm. valmistajien prosessien osalta ja varsinkin grafiittianodeja käyttävien akkujen ympäristökuormituksista. Kokonaisvaltaisempien elinkaarianalyysien tekeminen valmistuksesta hävittämiseen asti on haasteellista. (Jacob Robin, 2024)

Akkujen materiaalien valmistuksen on todettu olevan pääasiallinen kasvihuonekaasujen päästölähde sähkökäyttöisten autojen valmistuksessa. Suurin osa akun painosta tulee litium-, nikkeli- ja kobolttisisällöstä (36 %). Grafiittia on noin 20 % ja kuparia noin 16 %. Sekä luonnon että synteettisen grafiitin valmistusprosessit vaativat energiaa, joka vaikuttaa elinkaariarvioon (Engels et al., 2022). Synteettisen grafiitin valmistusprosessi kuluttaa tällä hetkellä huomattavasti enemmän energiaa kuin luonnongrafiitin tuotanto. Sen hiilidioksidipäästöt ovat n. 10 kertaa suuremmat käytettyjen raaka-aineiden ja energian kulutuksen vuoksi. (Hegeman & Zhou, 2025)

Kiina on suurin grafiittianodien tuottajamaa, mikä vaikuttaa prosessin päästöihin, sillä Kiinassa korostuu hiilivoiman käyttö. Puhtaampien energialähteiden käytöllä voidaan vaikuttaa luonnongrafiitista valmistettujen anodien elinkaariarvioon positiivisesti. (Jacob Robin, 2024). Kaivannaisten tuottamisessa kuluu eniten energiaa malmin jauhatuksessa. Anodigrafiitin pallotukseen käytetään myös sähköllä toimivia jauhimia. Synteettisen grafiitin prosessointi vaatii sen sijaan hehkutusta korkeassa kuumuudessa. Valmistus kestää useita viikkoja. Luonnongrafiitin käytön päästöedut paranevat vastuullisessa kaivostoiminnassa. Tämän lisäksi grafiittikaivoshankkeet ja jatkojalostus Skandinavian alueella voivat olla kasvihuonepäästöiltään parempia, koska monissa esiintymissä hiilipitoisuus on korkea ja uusiutuvien energiamuotojen käyttöaste on pohjoismaissa korkeampaa (Engels et al., 2022).

Grafiittianodien elinkaaren loppuvaiheessa selvitetään niiden kierrätysmahdollisuuksia. Käytetyt grafiittianodit vaativat puhdistusta. Menetelmät eivät kuitenkaan ole vielä tarpeeksi tehokkaita tuottamaan uutta anodikelpoista grafiittia, mutta muitakin käyttökohteita etsitään. Ongelmana useassa kierrätysvaihtoehdossa tällä hetkellä on puhdistusprosessien vaatima energiamäärä tai käytettävät kemikaalit, jotka tuottavat entisestään päästöjä ja jätettä. Käytettyjä grafiittianodeja pystytään mahdollisesti



tulevaisuudessa kierrättämään myös mm. grafeeniksi, katalyyteiksi ja komposiiteiksi.
(Niu et al., 2022)



5 GRAFIITTIKAIVOSTOIMINNAN TULEVAISUUS

Grafiittikaivostoiminnan tulevaisuus on riippuvainen monesta eri seikasta. Mm. synteettisen grafiitin tuotto voi kasvattaa suosiotaan uusien valmistusmenetelmien kehittyessä, ympäristöhaasteet kaivostoiminnassa voivat rajoittaa kaivosten perustamista, ja markkinat voivat muuttua vaihtoehtoisten anodimateriaalien ja grafiitin kierrätyksen vuoksi. Toisaalta fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen rajoittaa tulevaisuudessa synteettisen grafiitin valmistuksessa käytetyn petrokoksin saatavuutta (muodostuu öljynjalostuksessa).

Ympäristöystävällisempiä ja tehokkaampia keinoja valmistaa synteettistä grafiittia tutkitaan. Synteettisen anodigrafiitin valmistukseen on tutkittu uudentyyppisen uunin käyttöä, jonka arvioidaan vähentävän kasvihuonepäästöjä n. 40–50 % verrattuna perinteisiin uuneihin. Tämän saman menetelmän arvioidaan myös toimivan luonnongrafiitin puhdistuksen ympäristökuormituksen vähentämiseen eliminoimalla tarpeen käyttää happoja puhdistusprosessissa. (Hubynskyi et al., 2024) Tokai Cobex on kehittämässä vähähiilisempää synteettistä anodimateriaalia, jonka päästöt olisivat vain 5 kg hiilidioksidia per kilogramma anodimateriaalia (Tokai Cobex, 2022).

Luonnongrafiitin tuotantoa pyritään tehostamaan ja muuttamaan vähäpäästöisemmäksi jätteen ja energiankäytön osalta. Esimerkiksi puhdistusprosessin tehostamista on tutkittu modifioimalla happosuodatusprosessia. Dong et al. (2025) suorittivat tutkimuksen muuttamalla puhdistusprosessia sisällyttämällä kuumapainemenetelmän prosessiin. Tutkimusten tulosten mukaan prosessin arvioitiin kasvattavan prosessissa saatavan pallografiitin puhtautta verrattuna tavanomaiseen prosessiin. Lisäksi käytettyjen happojen määrä prosessissa voisi vähentyä menetelmän käyttöönotolla. Voimakkaalla fluorivetyhapolla puhdistamista tehdään vielä Kiinassa, muualla on jo otettu käyttöön ympäristöä säästävä alkalipaahtomenetelmä.

Kaivoksen prosesseja pyritään myös parantamaan ja muuttamaan kestävämmiksi esim. paremmilla vedenkäsittelymetodeilla ja tutkimalla uusia mahdollisia käyttökohteita kaivoksella syntyvälle kaivannaisjätteelle. On tutkittu mm. silikaattipitoisen rikastushiekan käyttömahdollisuutta sementtipohjaisten sideaineiden esiasteena. Rikastushiekan muuntaminen käyttökelpoiseksi materiaaliksi muihin sovellutuksiin vaatii erilaisia käsittelyjä, jotta rakenteesta ja mineralogiasta tulee sopiva kuhunkin



käyttötarkoitukseen (Maruthupandian et al., 2025). Sivukiven ja rikastushiekan käyttöä rakennusmateriaalina teissä on tutkittu myös, mutta käyttö vaatii tarkempia lisäselvityksiä. Lisäksi haastetta luo myös niiden ajoittain heikot geotekniset ominaisuudet. (Segui et al., 2023)

Vedenpuhdistuksen prosesseja kehitetään edelleen. Näitä ovat mm. biologiset vedenkäsittelyprosessit, joissa mikrobit puhdistaisivat vettä sulfaateista. Biologiset prosessointisysteemit vaativat kuitenkin vielä optimaalisempien tekijöiden löytämisen. Lisäksi membraaniteknologialla on mahdollisuus yltää myös erittäin tiukkoihin pitoisuusvaatimukseen, mutta lähes kaikilla uudemmilla menetelmillä on vielä puutteita kustannustehokkuuden suhteen. (Runtti et al., 2018)

Grafiitin saannin turvaamiseksi on tutkittu myös mahdollisuuksia hyödyntää pienempiä esiintymiä sekä selvitetty edellytyksiä suppeampien kaivosoperaatioiden mahdollistamiseksi. Pienempien esiintymien hyödyntäminen taloudellisesti kannattavasti vaatii kuitenkin korkeamman hinnan grafiitille. Grafiitille ei ole olemassa samanlaista hintatietoa kuin esim. kullalla ja kuparilla, koska hinta määräytyy kahdenvälisistä sopimuksista. Kuva 11 kuitenkin kertoo yleisen trendin grafiitin hinnan kehityksestä viimeisen vuosikymmenen aikana. Siinä on nähtävissä alkuun melko tasainen hintataso ja sitten akkuteknologian nostama kysyntä. Sen jälkeen tuli hetkellisesti laskua, mutta viimeisinä vuosina hinta on lähtenyt kohomaan. Tyypillinen hinnan vaihteluväli on luonnon grafiitille 500–800 USD/tonni ja synteettiselle jopa 8000–12000 USD/tonni. (IEA, 2023; U.S. Geological Survey, 2025)



Kuva 11. Suuntaa antava hinnan kehitystrendi grafiittimarkkinoilla vuosina 2015–2025 (kuva tuotettu Copilotilla seuraavista lähteistä IEA, 2023; U.S. Geological Survey, 2025).

Rikkaat esiintymät voivat sisältää yli 20 % hiiltä, toisaalta karkeasuomuisesta grafiitista maksetaan huomattavasti korkeampaa hintaa kuin akkulaatuisesta raekoosta. Lisäksi pienten esiintymien hyödyntämisen arvioidaan vaativan vähemmän investointeja ja kompensoivan kaivostoiminnasta koituvia riskejä. Haasteena voi olla kuitenkin kaivostoiminnan lyhytaikaisuus ja siitä seuraavat taloudelliset asiat. Rahoitusinstituutit panostavat mieluummin projekteihin, joista voi saada pitkän aikavälin tuottoa. Rahoituksen haastavuuden vuoksi jotkin pienemmät kaivosyhtiöt yrittävät jatkuvasti löytää erilaisia taloudellisia laskentamalleja ja arviointimenetelmiä, jotka nopeuttaisivat taloudellisesti kannattavien vähimmäismalmivarantojen määrittämistä eli löytämään sitä tietoa, millä malmimäärällä kaivos voitaisiin kannattavasti avata. (Moore et al., 2020)

Grafiitin kysyntä voi myös muuttua vaihtoehtoisten anodimateriaalien kehittämisen myötä. Grafiitti voi palautua uudelleen käyttöön tarpeeksi tehokkaiden kierrätysmenetelmien myötä. Uusia anodimateriaaleja ja tekniikoita tutkitaan yleisesti, on esimerkiksi tutkittu litium- ja piinanolangan sopivuutta anodimateriaaleiksi. (Wu & Kong, 2018). Uusien akkuteknologioiden siirtyminen massatuotantoon vie kuitenkin useita vuosia. Anodimateriaalin kierrätys myös todennäköisesti kasvaa tulevaisuudessa, mutta tällä hetkellä käytössä olevilla menetelmillä saadaan vain n. 10 % käytetystä grafiitista talteen, sillä sen laatu heikkenee käytön aikana (Hegeman & Zhou, 2025).



6 YHTEENVETO

Grafiitti on kriittinen raaka-aine, jota käytetään monipuolisiin teollisuuden ja teknologian sovelluksiin. Grafiitin kysynnän ennustetaan kasvavan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Grafiitti on kriittinen mineraali ja sen saatavuuden turvaamiseksi ollaan myös EU:ssa panostamassa sekä luonnon grafiitin että synteettisen grafiitin tuotantoon. Suuria perinteisiä käyttökohteita ovat metalliteollisuuden tulenkestävät materiaalit, hiilen lisääminen teräksen valmistuksessa ja valimoteollisuus. Kasvavaa kysyntää on muun muassa palonsuojamateriaaleissa ja metallien voiteluteknologioissa. Tällä hetkellä voimakkaimmin kasvava grafiitin käyttökohde on sähköautoissa käytettävien akkujen anodien valmistus. Anodeissa käytettävä grafiitti vaatii tietynlaisia ominaisuuksia, jolloin käytettäväksi grafiitiksi sopii vain suomu-, juoni- tai synteettinen grafiitti. Grafiitin tuotanto on keskittynyt pitkälti Kiinaan, joka on suurin tuottajamaa niin luonnon kuin synteettisen grafiitin osalta. Kriittisen mineraalin statuksen vuoksi on tärkeä tutkia mahdollisuuksia varmentaa grafiitin saatavuus kaikissa tilanteissa, esimerkiksi lisäämällä grafiittituotantoa myös Euroopassa.

Merkittävää tuotannon kasvua on Afrikan maissa, mutta Euroopassa vielä vähän. Pohjoisilla alueilla kaivoksia tai kaivoshankkeita sijaitsee mm. Norjassa, Ruotsissa, Suomessa, Kanadassa ja Yhdysvaltojen Alaskassa. Suurin osa esiintymistä on sellaisia, että ne ovat hyödynnettävissä avolouhoksena, mutta maanalaisiakin kaivoksia on kuten Norjassa sijaitseva Skalandin kaivos. Jotta esiintymät olisivat taloudellisesti kannattavia, niissä tulisi olla n. 4 % hiiltä. Kaivosalueilla tuotetaan grafiittirikasteita, jotka usein viedään toiseen laitokseen jatkokäsittelyyn, esimerkiksi anodigrafiitin valmistusta varten. Kaivoksen tuotantomäärät riippuvat esiintymän laadusta ja prosessointilaitoksen kapasiteetista.

Kaivostoiminnalla on vaikutuksia ympäröivään luontoon ja yhteisöihin. Malmin louhinta synnyttää sivukiveä, pintamaat varastoidaan omiin kasoihin ja käytetään myöhemmin alueen maisemointiin. Grafiitin pitoisuutta nostetaan vaahdotusprosessilla, missä syntyy myös läjitettävää kiviainesta eli rikastushiekkaa. Rikastusprosessit toimivat suljetulla vedenkierrolla, ja vain vähäisiä määriä vaahdotuksessa käytettäviä aineita päätyy rikastushiekka-altaaseen. Rikastushiekoista ja sivukivistä muodostuvat suotovedet kerätään puhdistettavaksi. Kaivosalueen sade-, ns. hulevedet pidetään erillään muista



vesijakeista ja saostetaan ennen poisjohtamista alueelta. Toiminnan päätyttyä avolouhoksiin muodostuu vesialtaita, sivukiven varastot suojataan niin, ettei niistä aiheudu vaaraa eikä haittaa. Kuitenkin haitallisia suotovesiä voi syntyä ja ne voivat vaikuttaa alueen ympäristöön. Samoin vaikutuksia on alueen pohjaveden pinnan korkeuksiin ja laatuun.

Kaivokset lisäävät kunnan elinvoimaa ja hyvinvointia. Alueelle muuttaa nuorta työvoimaa ja sillä on suorien työpaikkojen lisäksi vaikutuksia syntyviin alueen palveluihin ja palvelualojen työpaikkoihin. Uusi teollisuus virkistää myös asuntokauppaa ja asuntotuotantoa.

Teollisen grafiitin valmistamiseen tarvittavan öljynjalostusteollisuuden jätteen, petrokoksin saatavuudessa on kuitenkin niukkuutta EU:ssa. Tästä syystä Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa grafiitin saatavuuden turvaaminen teollisuuden kilpailukyvyin säilyttämiseksi tullaan etupäässä järjestämään avaamalla uusia luonnongrafiitin louhoksia. Synteettisen grafiitin tuotannon päästöt ovat lähes kymmenkertaiset verrattuna luonnon grafiittiin. Tästä huolimatta synteettisen grafiitin tuotanto on kasvanut Kiinassa merkittävästi viimeisten vuosien aikana sekä halvan raaka-aineen että sähköenergian takia.

Grafiittianodin kierrätys tulee lisääntymään, mutta vain pieni osa materiaalista päätyy käyttöön, eikä varsinkaan akkuanodeiksi epäpuhtaan laadun vuoksi. Kaivostuotanto on entistä tehokkaampaa ja ympäristöturvallisempaa. Kaivannaisten hyödyntäminen laajenee ja maisemointi ja muut kaivoksen lopettamiseen liittyvät toimet aloitetaan jo tuotannon aikana.



LÄHDELUETTELO

Ahtola, T. & Kuusela, J. (2015). Esiselvitys Suomen grafiittipotentiaalista. Geologinen tutkimuskeskus, 88/2015.

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*.

Altiti, A. H., Alrawashdeh, R. O., & Alnawafleh, H. M. (2021). Open Pit Mining. In A. K. Soni (Ed.), *Mining Techniques - Past, Present and Future* (pp. 1–22). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92208>

Chen, S., Liu, C., Feng, R., Chen, Z., Lu, Y., Chen, L., Huang, Q., Guan, Y., Yan, W., Su, Y., Li, N. & Wu, F. (2025). *Natural graphite anode for advanced lithium-ion Batteries: Challenges, Progress, and Perspectives*. Chemical Engineering Journal. Volume 503. 158116. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.158116>

Domingues, A. M., de Souza, R. G., & Luiz, J. V. R. (2024). Lifecycle social impacts of lithium-ion batteries: Consequences and future research agenda for a safe and just transition. In *Energy Research and Social Science* (Vol. 118). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103756>

Dong, H., Qiu, Y., Liu, J., Mai, Y., You, D., & Sun, K. (2025). Efficient removal of impurities from natural spherical graphite for lithium-ion batteries by hot-pressure leaching. *Minerals Engineering*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2025.109284>

Ejdemo, T., & Söderholm, P. (2011). Mining investment and regional development: A scenario-based assessment for Northern Sweden. *Resources Policy*, 36(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2010.08.008>

El-Rassi, D., Eng, P., Katharine, M., Masun, P. G. G., & Comeau, I. (2023). *NI 43-101 Technical Report on the Lac-des-Îles Graphite Mine, Report for Northern Graphite Corporation*.

Engels, P., Cerdas, F., Dettmer, T., Frey, C., Hentschel, J., Herrmann, C., Mirfabrikkar, T., & Schueler, M. (2022). Life cycle assessment of natural graphite production for



lithium-ion battery anodes based on industrial primary data. *Journal of Cleaner Production*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130474>

EU-komissio. (2025). *Energia*. https://commission.europa.eu/topics/energy_fi, viitattu 11.6.2025.

Gautneb, H. & Tveten, E. (2000). *The geology, exploration and characterisation of graphite deposits in the Jennestad area, Vesteralen, northern Norway* (Vol. 436).

Gautneb, H., Rønning, J. S., Engvik, 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. In *Minerals* (Vol. 10, Issue 7, pp. 1–25). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/min10070626>

Geological Survey of Norway. (2026). Graphite in Norway. <https://www.ngu.no/en/geological-resources/graphite-norway>

Gignac, L., Marchand, R., Ménard, R., Phillips, A., & Aiken, S. R. (2012). *Feasibility Study Bissett Creek Graphite Project Ontario, Canada Volume I*. www.northerngraphite.com

Golder. (2020a). *Miljökonsekvensbeskrivning, Nunasvaara Södra*. <https://talgroup.eu-central-1.linodeobjects.com/app/uploads/2023/06/15140733/Bilaga-B-Miljo%CC%88konsekvensbeskrivning>.

Golder. (2020b). *Avfallshanteringsplan Nunasvaara Södra*. <https://talgroup.eu-central-1.linodeobjects.com/app/uploads/2023/06/15123136/Bilaga-C-Avfallshanteringsplan.pdf>

Grafintec. (2025). *Malminetsintähankkeet*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://www.grafintec.fi/malminetsintahankkeet/>

Greenroc. (2025). *Amitsoq Graphite*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://greenrocplc.com/amitsoq-graphite>

Hegeman, P., & Zhou, L. (2025). Towards a sustainable supply of graphite: a geological way forward. *Earth Science, Systems and Society*, 5(1). <https://doi.org/10.1144/esss2024-014>



Hubynskyi, S., Sybir, A., Fedorov, S., Usenko, A., Hubynskyi, M., & Vvedenska, T. (2024). Analysis of changes in global warming potential during enrichment and production of battery-grade graphite using electrothermal fluidized bed technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1348(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012028>

IEA, International Energy Agency. (2023). *Critical Minerals Market Review*.

Iund, M., Perron, M., & Boudreau, S. (2023). *NI 43-101 Technical Report and Mineral Resource Estimate Update for the La Loutre Project, Quebec, Canada*.

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

Jara, A. D., Betemariam, A., Woldetinsae, G., & Kim, J. Y. (2019). Purification, application and current market trend of natural graphite: A review. In *International Journal of Mining Science and Technology* (Vol. 29, Issue 5, pp. 671–689). China University of Mining and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.04.003>

Jartti, T., Litmanen, T., Lacey, J., & Moffat, K. (2020). National level paths to the mining industry's Social Licence to Operate (SLO) in Northern Europe: The case of Finland. *Extractive Industries and Society*, 7(1), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.01.006>

Kanadan hallinto. (2025). *Graphite facts*. <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/graphite-facts>

Kauppila, K. :, Kauppila, T., Räisänen, M. L., Komulainen, J., H, Kauppinen, T. , Leppänen, M. T., Tornivaara, A. , Kemppainen, A. , Liukko, E. , Raunio, A., M , Huttula, J., Kauppi, T., S, Tran-Nguyen, E, Karjalainen, J., Tuomela, N., ... J 8. (2015). *Hyviä käytäntöjä kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa*.

Kivinen, S. (2017). Sustainable post-mining land use: Are closed metal mines abandoned or re-used space? *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101705>

Konnunaho, J., Lahti, I., Rauhala, A., and Tuomela, A. (2026). Assessment of Graphite Potential in the Siikalatva Area, Central Finland, *EGU General Assembly 2026*, Vienna, Austria, 3–8 May 2026, EGU26-3275, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu26-3275>

Kupukan grafiitti. (2025). *Kupukan grafiittiprojekti*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://www.kupukangrafiitti.fi/kupukan-grafiittiprojekti/>

Ma, L., Li, K., Xiao, S., Ding, X., & Chinyanta, S. (2016). Research on Effects of Blast Casting Vibration and Vibration Absorption of Presplitting Blasting in Open Cast Mine. *Shock and Vibration*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/4091732>

Maruthupandian, S., Chaliasou, N. A., Akram, S., Chrysanthou, A., & Kanellopoulos, A. (2025). Characterisation and activation of graphite mine tailings for use in cementitious binders. *Construction and Building Materials*, 473. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140923>

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

Mineral Commodities. (2025). *Skaland Graphite Operation*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://www.mineralcommodities.com/operations-projects/graphite/norway/>

Moore, K. R., Whyte, N., Roberts, D., Allwood, J., Leal-Ayala, D. R., Bertrand, G., & Bloodworth, A. J. (2020). The re-direction of small deposit mining: Technological solutions for raw materials supply security in a whole systems context. In *Resources, Conservation and Recycling: X* (Vol. 7). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100040>

Nelson, M., G. (2011). Chapter 6.1 - Evaluation of Mining Methods and Systems. In *SME Mining Engineering Handbook*. (3 rd ed., pp. 341-348) Society of Mining, Metallurgy and Exploration.

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



Northern Graphite. (2025) *Perspectives No. 10. Lac.des-Iles Graphite Mine Marks 35 Years*. <https://www.northerngraphite.com/perspectives-no-10-ldi-special-report/>

Northern Graphite. (2025). *Bisset Creek*. Haettu: 19.6.2025 osoitteesta <https://www.northerngraphite.com/bissett-creek/>

Park, J., Cho, S. J., Shin, S., Kim, R., Shin, D., & Shin, Y. (2025). Overview of graphite supply chain and its challenges. In *Geosciences Journal*. Korean Association of Geoscience Societies. <https://doi.org/10.1007/s12303-025-00027-2>

Peng, Z., Li, D., Fang, W., Zhang, J., Zhang, R., Qiu, Y., & Sun, K. (2023). Improved Flotation of Fine Flake Graphite Using a Modified Thickening Process. *Separations*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/separations10050275>

Robinson, G. R., Hammarstrom, J. M., & Olson, D. W. (2017). *Graphite* (K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, & D. C. Bradley, Eds.; Professional Paper). <https://doi.org/10.3133/pp1802J>

Runtti, H., Tolonen, E. T., Tuomikoski, S., Luukkonen, T., & Lassi, U. (2018). How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—A review of potential methods. In *Environmental Research* (Vol. 167, pp. 207–222). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.018>

Segui, P., Safhi, A. el M., Amrani, M., & Benzaazoua, M. (2023). Mining Wastes as Road Construction Material: A Review. In *Minerals* (Vol. 13, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/min13010090>

Simandl, G. J., Paradis, S., & Akam, C. (2015). *British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey*.

Statista. (2026). Leading graphite producing countries worldwide in 2025. Haettu 3.7.2026 osoitteesta https://www.statista.com/statistics/267366/world-graphite-production/?srsltid=AfmBOorFvxU2f9f8kgwpZVOginLDT2fwGLL4EaRGzBbVg_nqs2C1i6yr

Stinton, C., Holmström, H., Gosselin, M., & Reed, E. G. (2021). *NI 43-101 Technical report - Woxna Graphite*. <https://leadingedgematerials.com/woxna-graphite/>



Svartsjaern, M. (2019). A Prognosis Methodology for Underground Infrastructure Damage in Sublevel Cave Mining. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52(1), 247–263. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1464-7>

Talga Group. (2025). *Our operations. Vittangi*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://www.talgagroup.com/our-operations/vittangi/>

Talga Group. (2025). *About. Mineral Projects*. Haettu 19.6.2025 osoitteesta <https://www.talgagroup.com/about/>

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*.

U.S Geological Survey. (2024). *MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2024*.

U.S. Geological Survey. (2025). *Mineral Commodity Summaries: Graphite*.

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

Wills, B. A., & Finch, J. A. (2016). Chapter 16 - Tailings disposal. In *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery* (8th ed., pp. 439–448). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2010-0-65478-2>

Wu, Z., & Kong, D. (2018). Comparative life cycle assessment of lithium-ion batteries with lithium metal, silicon nanowire, and graphite anodes. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(6), 1233–1244. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1548-9>

Zhuo, Y., Xu, W., Wang, M., Chen, C., da Silva, A. A., Yang, W., Ruckstuhl, K. E., & Alves, J. (2022). The effect of mining and road development on habitat fragmentation and connectivity of khulan (*Equus hemionus*) in Northwestern China. *Biological Conservation*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109770>

