

Suomen kallioperän rikkaudet

– kolmen miljardin vuoden geologisen kehityksen tulos

TEKSTI: PEKKA A. NURMI
PEKKA1NURMI@GMAIL.COM

Suomi on yksi merkittävimmistä mineraalisten raaka-aineiden tuottajista ja jalostajista EU:ssa. Olemme ainoa EU-maa, jossa louhitaan kromi-, fosfori- ja platinametallimalmeja. Lisäksi Suomi on nikkelin, kullan ja koboltin suurin tuottaja. Mineraalivarannot ja malmipotentiali ovat myös globaalisti arvioiden poikkeuksellisen hyvät maamme pinta-alaan suhteutettuna.

Miksi näin on? Vastauksena on pitkä ja monipuolinen geologinen historia, johon liittyy kiinteästi myös Suomen malmiesiintymien synty kallioperän kehityksen eri vaiheissa.

Suomi on osa laajaa Itä-Euroopan prekambriasta kilpialuetta, joka on paljastuneena vain Fennoskandiassa ja Ukrainassa. Muualla kilpi on eri paksuisten, nuorien sedimenttikivien peittämä. Fennoskandian kilpi on geologisesti varsin samanlainen kuin prekambriest kilpialueet muilla mantereilla, esimerkiksi Kanadassa, Brasiliassa, Afrikassa ja Australiassa. Kilpialueiden malmipotentiali on monipuolinen, ja ne ovat tärkeitä mineraalisten raaka-aineiden tuotantoalueita.

Fennoskandian ja Pohjois-Amerikan kilvet ovat olleet osa samaa supermannerta suuren osan geologisesta historiastaan. Fennoskandian kilpi on vaeltanut vuosimiljardien aikana muinaisten ja nykyisten mantereiden osana eri puolilla maapalloa laattatektonisten liikuntojen kuljettamana. Valtaosan geologisesta historiastaan Suomi on sijainnut tropiikissa, kääntöpiirien välisellä alueella.

Suomen kallioperä on syntynyt hyvin monimutkaisissa geologisissa prosesseissa yli 3000 miljoonan vuoden aikana. Kehityksen moottorina ovat toimineet laattatektoniset prosessit. Geologinen historia on sisältänyt lukuisia eri kokoisten mannerlaattojen ja merenpohjan laattojen törmäyksiä ja pilkkoutumisia, vuoristoja synnyttäviä orogeenisiä prosesseja ja vuoristojen taasoittumisia lohkolikuntojen vauhdittaman kulumisen seurauksena.

Kuva 1. Suomen tärkeimmät kaivokset ja kaivosprojektit kallioperäkarttapohjalla. Kivilajit: arkeaiset granitoidi-gneissialueet on merkitty vaaleanharmaalla ja liuskejakaot vaaleanvihreällä; proterotsooiset granitoidi-gneissialueet vaaleanruskealla ja liuskealueet sinisellä; rapakivi-graniitit vaaleanpunaisella; ja Lapin granulittialue lilialla

Metallimalmikaivos

Teollisuusmineraalikaivos

Kaivos ei toiminnassa

Kaivosprojekti



JUSSI POKKI, PERUSTUU GTICN ANEISTOON.

Malmi on syntynyt geologisen kehityksen aikana moninaisissa kivilajeja muodostavissa magmaattisissa, sedimenttisissä, metamorfisissa tai tektonisissa prosesseissa. Malminmuodostus on aina erikoislaituinen tapahtuma, joka edellyttää monien eri osatekijöiden yhtäaikaista toteutumista siten, että suuri määrä malmimetalleja pysyy konsentroitumaan tiettyyn geologiseen muodostumaan.

Malmiesiintymät ovat harvinaisia kivilajimuodostumia, joissa esiintyy hyödynnettäviä mineraaleja, kuten sulfideja, oksideja tai silikaatteja sellaisessa muodossa ja niin runsaasti, että kaivostoiminta on teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Teknialoudellisten tekijöiden lisäksi kaivostoiminnan edellytyksenä ovat mm. luvitus ja sosiaalinen toimilupa. Malmi on käsitteenä siten vahvasti sidottu aikaansa ja paikkaansa. Perustana on kuitenkin aina poikkeuksellinen mineraalien rikastuma.

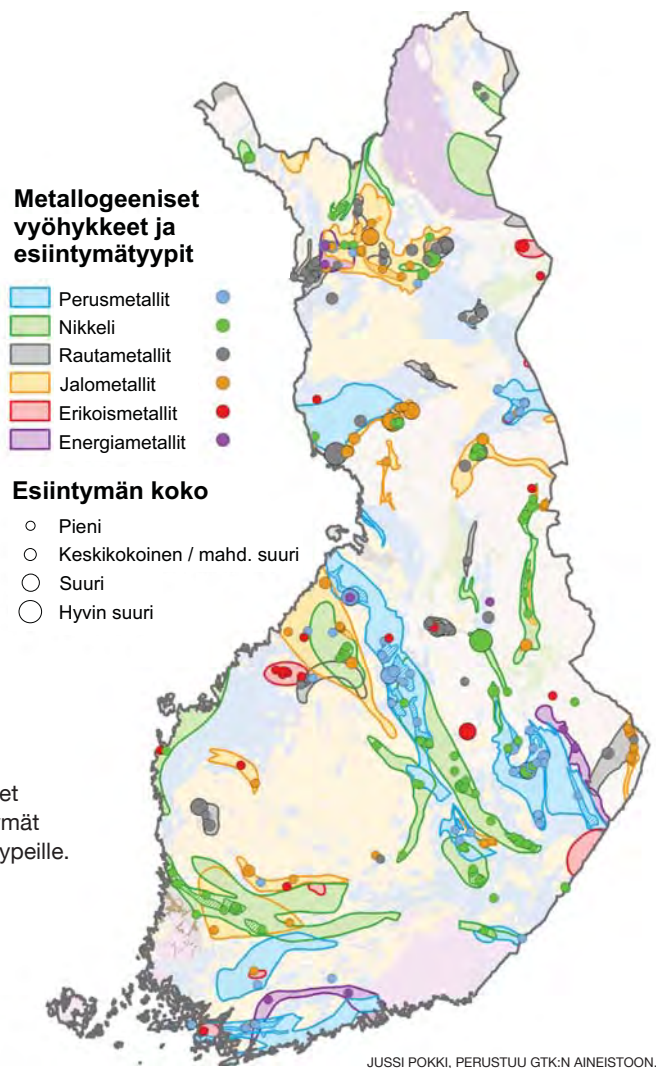
Suomessa on useita merkittäviä kaivoksia ja projekteja, jotka tähtäävät uusien kaivosten avaamiseen tai olemassa olevien kaivosten kehittämiseen (kuva 1). Mineraalipotentialikartta antaa käsityksen siitä, miten monenlaisia malmityyppejä ja malminetsinnälle otollisia alueita esiintyy maamme eri puolilla (kuva 2).

Tiede on avannut geologisen menneisyyden salat

Suomen kallioperän monimutkainen geologinen historia on voitu selvittää uusimmilla tutkimusmenetelmillä varsin yksityiskohtaisesti. Kivien syntyä pystytään määrittämään erilaisin isotooppi-geologisin menetelmin jopa 1-5 miljoonan vuoden (0,5-2 prosentin) tarkkuudella. Yhtä tarkasti voidaan ajoittaa monet geologiset prosessit, kuten metamorfoosi, deformaatio ja malminmuodostus. Isotooppien avulla voidaan jäljittää myös kivilajien tai malminainesten alkuperä.

Geokemiallisin menetelmin kyetään puolestaan päättämään kivilajien muodostumisympäristö sekä metamorfoosin, deformaation ja malminmuodostuksen paine-lämpötilaolosuhteet. Uusimmat laboratoriomethodit mahdollistavat kivi-näytteiden tutkimukset jopa nanometrien mittakaavassa, mikä luo edellytykset geologisen kehityksen aiempaa yksityiskohtaisemmalle tulkinnaalle. Moninaisilla geofysikaalisilla menetelmillä saadaan olennaista tietoa kallioperän rakenteesta ja fysikaal-

Kuva 2. Suomen mineraalipotentialiset vyöhykkeet ja esiintymät tärkeimmille malmityypeille.



lisista ominaisuuksista aina kymmenien kilometrien syvyyteen. Kaiken tieteellisen tutkimuksen pohjana ovat kuitenkin edelleen yksityiskohtainen kallioperän kartoitus ja tarkat geologiset maastohavainnot.

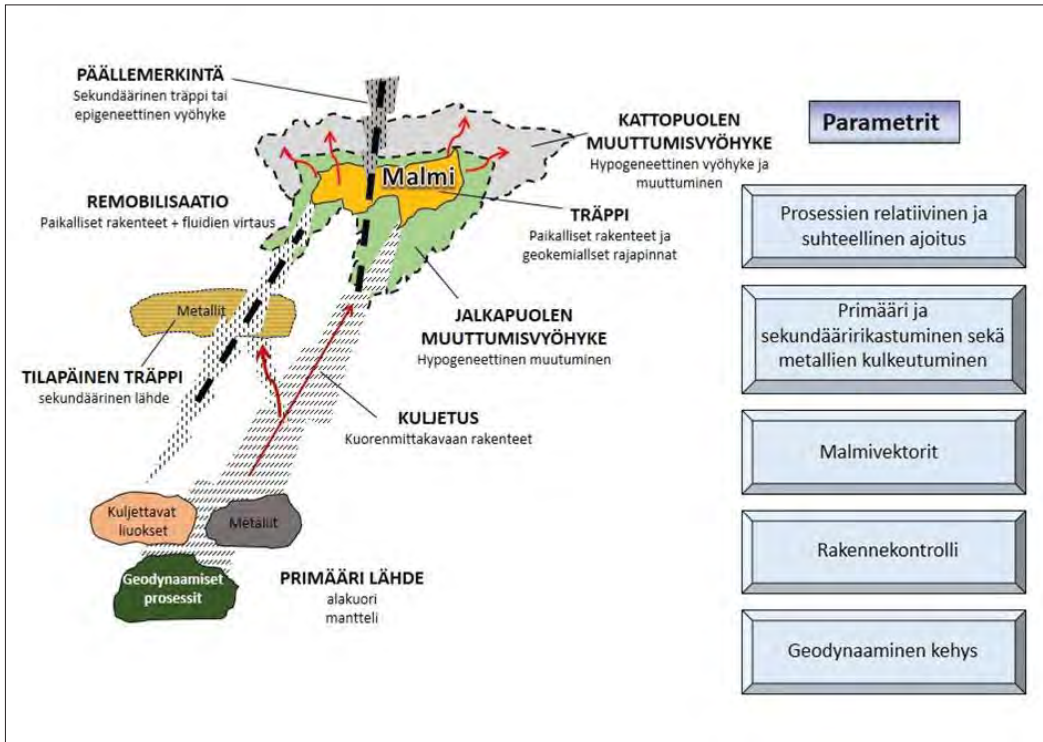
Monimutkaisen palapelin kokoamisessa käytetään hyväksi geologisia malleja, analogioita muille alueille sekä kokeellista tutkimusta ja simulointia. Tekoäly ja laskentakapasiteetti ovat luoneet uusia mahdollisuuksia suurten geoaineistojen tulkintaan.

Monet olennaiset kysymykset on selvitetty, mutta samalla on auennut lukuisia uusia ongelmia. Geologinen kehitys näyttääkin olevan paljon monimutkaisempaa kuin joskus viime vuosikymmenillä luulimme.

Malmi on syntynyt poikkeuksellisten ja monimutkaisten tapahtumien tuloksena. Yksityiskohtaisella, monialaisella tutkimuksella on kyetty kuitenkin selvittämään tärkeimpien malmityyppiemme geologinen kehitys: muodostumisympäristö, rakenteel-

liset kontrollit, aineiden alkuperä, malmimetallien kuljetus- ja saostumismekanismi, sivukivien muuttumisilmiöt, prosessien ikä sekä malminmuodostuksen lämpötila- ja paineolosuhteet. On myös selvitetty tekijät, jotka ovat muokanneet malmeja alkuperäisen muodostumisen jälkeen. Kuvassa 3 on havainnollistettu hydrotermisten ja magmaattisten malminmuodostusjärjestelmien yleispiirteitä ja tutkimusongelmia.

Geologisen kehityksen ja siihen liittyvän malminmuodostuksen yksityiskohtainen ymmärtäminen ei ole vain tieteellisesti mielenkiintoista, vaan se on myös tuloksekkaan malminetsinnän perusta. Sen avulla voidaan päätellä, mihin tietyn metallin etsintää kannattaa suunnata globaalisti ja paikallisesti, minkä tyyppisiä esiintymiä valitulta tutkimusalueelta voidaan todennäköisesti löytää, mitkä etsintämenetelmät purevat parhaiten ja millaiset geotieteelliset havainnot viittaavat malmien esiintymiseen.



Kuva 3. Havainnekuva magmaattisten ja hydrotermisten esiintymien malminmuodostusprosessista ja sen tutkimusongelmista

Kolmen miljardin vuoden kehityshistoria

Suomen kallioperän nykyinen pintaleikkaus on monimutkainen mosaiikki, joka koostuu eri-ikäisistä ja erilaisissa prosesseissa syntyneistä kivistä (kuva 1). Vierekkäin voi olla esimerkiksi maanpinnalle purkautuneita vulkaanisia tai pinnalle kerrostuneita sedimenttisiä kivilajeja ja syvällä syntyneitä magmakiviä, jotka edustavat aivan eri vaihetta geologisessa kehityksessä. Monet geologiset muodostumat syntyivät alun perin kaukana toisistaan, jopa maapallon eri puolilla, mutta törmäsivät toisiinsa ja hitsautuivat lopulta yhteen laattatektonisissa prosesseissa.

Suomen ja samalla koko EU:n vanhin kivi on Siuruan gneissi Pohjois-Pohjanmaalla. Se on kiteytynyt 3500 miljoonaa vuotta sitten. Kivessä on kuitenkin viitteitä siitä, että sen lähtöaineksessa on vieläkin vanhempia kiviä, jotka syntyivät jo 3730 miljoonaa vuotta sitten, ainoastaan 800 miljoonaa vuotta aurinkokuntamme synnyn jälkeen. Suomen nuorimpia magmakiviä ovat puolestaan Itä-Suomen 360 miljoonan vuoden ikäiset alkalikivet. Vanhimpien ja nuorimpien kivien ikäero on siten yli 3000 miljoonaa vuotta.

Vaikka geologinen historia onkin erittäin pitkä, niin pääosa kallioperästämme syntyi kuitenkin kahdella, geologisesti ly-

hyehkällä ajanjaksolla: arkeisella ajalla 2800–2700 miljoonaa vuotta ja varhaisproterotsooisella ajalla 1930–1870 miljoonaa vuotta sitten. Tällöin valtavat määrät uutta maankuorta erottui maapallon vaipasta sen osittaisen sulamisen seurauksena. Prosessiin liittyi useita merellisten ja mantee-reellisten laattojen törmäyksiä, laattojen pilkkoutumisia ja niiden seurauksena vuorijonojen muodostumista.

Lohkoliikunnat ja poimuttuminen veivät pintasyntyiset kivilajit 5-30 km syvyyteen, jolloin ne deformatuivat ja metamorfoituivat ennen vähittäistä paluutaan takaisin kallioperän pintaan. Tämä on ollut tärkeää myös malmiesiintymien säilymisen kannalta, koska monet niistä syntyivät alun perin maanpinnalla tai lähellä pintaa. Siksi malmit ovat voineet säilyä läpi geologisen historian vain hautautumalla tektonisissa prosesseissa pitkäksi ajaksi syvälle maankuoreen ennen uudelleen paljastumistaan kallioperän nykyiseen pintaleikkaukseen.

Vanhin manner muodostui

Itä- ja Pohjois-Suomen arkeisen kallioperän laajemmat varhaiset muodostumat syntyivät ajanjaksolla 2950-2750 miljoonaa vuotta sitten. Ne ovat koostumukseltaan pääosin graniittisia kivilajeja, joissa esiintyy kapeina vyöhykkeinä erilaisia vulkaanisia kivilajeja. Kemiallisen koostumuksen pe-

rusteella on päätetty, että vanhin kallioperä syntyi nykyisestä laattatektoniikasta poikkeavissa prosesseissa.

Pääosa arkeisesta kallioperästä Käsi-varresta Kuolaan ja Karjalaan ulottuvalla alueella (kuva 1) syntyi ajanjaksolla 2750-2690 miljoonaa vuotta sitten nykyisen kaltaisissa laattatektonisissa prosesseissa. Tällöin kehittyi samanlaisia vuoristoja, joita näemme nykyisten laattojen törmäysvyöhykkeillä esimerkiksi Andeilla tai Himalajalla.

Tärkeimmät arkeisen ajan malmit ovat Sotkamon hopea-sinkki-, Ilomantsin kulta- ja Siilinjärven fosforiesiintymät. Sotkamon malmi syntyi happamaan vulkanismiin liittyvän hydrotermisen toiminnan tuloksena lähellä maan pintaa. Ilomantsin orogeeniset kultaesiintymät muodostuivat puolestaan metamorfisista liuoksista syvällä maankuorella. Palaamme näiden malmityyppien syntyprosesseihin edempänä. Siilinjärven kaivoksella louhittava apatiittimalmi liittyy harvinaiseen maan vaipasta peräisin olevaan karbonaatti-magmatismiin arkeisen aikakauden loppuvaiheissa, 2610 miljoonaa vuotta sitten.

Manner repesi ja malmeja syntyi

Arkeinen manner repesi ensimmäisen kerran 2440 miljoonaa vuotta sitten. Sen seurauksena syntyi emäksisten-ultraemäk-

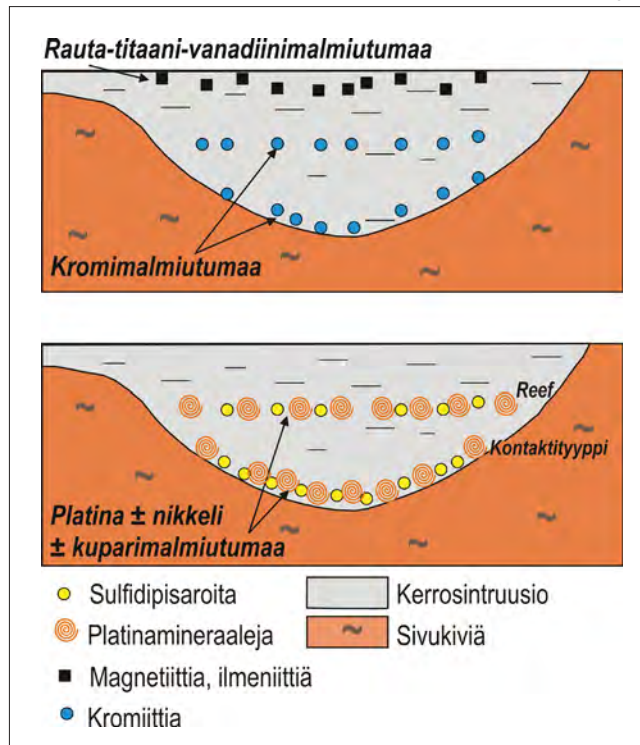
sisten kerrosintruusioiden ketju Kemistä Kuusamoon ulottuvalle vyöhykkeelle. Repeämät ulottuivat maan kuoren läpi ja niihin tunkeutui maapallon vaipasta emäksistä magmaa useina pulsseina. Lopputuloksena syntyivät kerrosintruusioidet, joille on ominaista rytmisesti vaihteleva kerroksellisuus. Magmaa purkautui myös maan pinnalle laajoina laakiobasalttikerrostumina. Nykyisenä analogiana on Itä-Afrikan hautavaoama, jota pitkin Afrikan manner on pilkkoutumassa geologisessa tulevaisuudessa.

Eri mantereilla esiintyvät saman ikäiset kerrosintruusioidet osoittavat, että tämä varhaisten mantereiden repeäminen oli maapallon laajuinen tapahtuma, jonka seurauksena syntyneet kerrosintruusioidet ovat tärkeitä platinametalli- ja kromimalmien isäntäkiviä. Erityisesti Etelä-Afrikassa niissä on valtavat mineraalivarannot. Suomessa merkittävimmät esiintymät ovat Kemin kromi-, Suhangon palladium-platina- ja Mustavaaran rauta-vanadiini-titaanimalmi.

Kromi- ja platinametalliesiintymät syntyvät kromiitin ja platinamineraalien kiteytyessä magmaattisen kehityksen varhaisvaiheessa ja kumuloidessa silikaattisulaa painavampina rauhallisissa olosuhteissa magmasäiliöiden pohjaosiin (kuva 4). Rauta-titaani-vanadiiniesiintymät syntyvät puolestaan magmaattisen kehityksen myöhäisemmässä vaiheessa rauta- ja titaanioksidimineraalien kiteytyessä intruusioiden yläosiin. Alkuperäisen muodostumisensa jälkeen Suomen magmaattiset esiintymät ovat kiteytyneet uudelleen metamorfoosissa ja deformatuneet nykyiseen muotoonsa.

Arkeisen mantereiden repeytyminen jatkui useissa vaiheissa aikavälillä 2440-1970 miljoonaa vuotta sitten. Maanpinnalle purkautui laajoja laakiobasalttialueita. Muinaiset purkauskanavat näkyvät Itä-Suomen kallioperässä yleisinä diabaasijuonina, jotka ovat pisimmillään kymmenien kilometrien pituisia, mutta leveydeltään enintään muutamia satoja metrejä. Samanaikaisesti kerrostui matalan meren rantavyöhykkeeseen kvartsihiekkoja 2300-2200 miljoonaa vuotta sitten. Näistä syntyi metamorfoosissa kvartsiitteja, jotka muodostavat tänä päivänä Itä-Suomen korkeimmat vaarat (Koli, Vuokatti ja Ruka).

Merkittävä vanhan mantereiden repeytyminen tapahtui Itä-Suomen alueella 2100-2050 miljoonaa vuotta sitten. Sen seurauksena kehittyi nykyistä Punaista merta muistuttava geologinen ympäristö. Merialtaaseen kerrostoitui savi- ja hiekkasedimenttejä. Samalla muodostuivat me-



Kuva 4. Malmimineraalien kiteytyminen emäksisissä-ultraemäksisissä kerrosintruusioidissa

rellisen kuoren emäksiset-ultraemäksiset (ofoliittiset) kivilajit, jotka ovat nyt nähtävissä Outokummun ja Kajaanin Jormuan alueilla. Samankaltaiset ofoliittit ovat tavalaisia valtamerien keskiselänteillä. Jormua on kuitenkin maailman vanhin paikka, missä tällainen muinaisen merenpohjan selkeä poikkileikkaus on säilynyt.

Sotkamon Talvivaaran nikkeli-sinkki-kobolttiesiintymät muodostuivat alun perin tässä vaiheessa hiili- ja rikkipitoisten muta-, savi- ja hiekkasedimenttien kerrostuessa hapettomissa olosuhteissa matalahkoon meren pohjan altaaseen. Tämä tapahtui 2000-1900 miljoonaa vuotta sitten. Merivesi oli paikallisesti rikastunut malmimetalleista ja mikrobit edesauttoivat sulfidien saostumista. Myöhemmissä tektonis-metamorfoosisissa prosesseissa malmimineraalit kiteytyivät uudelleen ja esiintymät paksuuntuivat, minkä seurauksena syntyivät nykyiset malmiesiintymät.

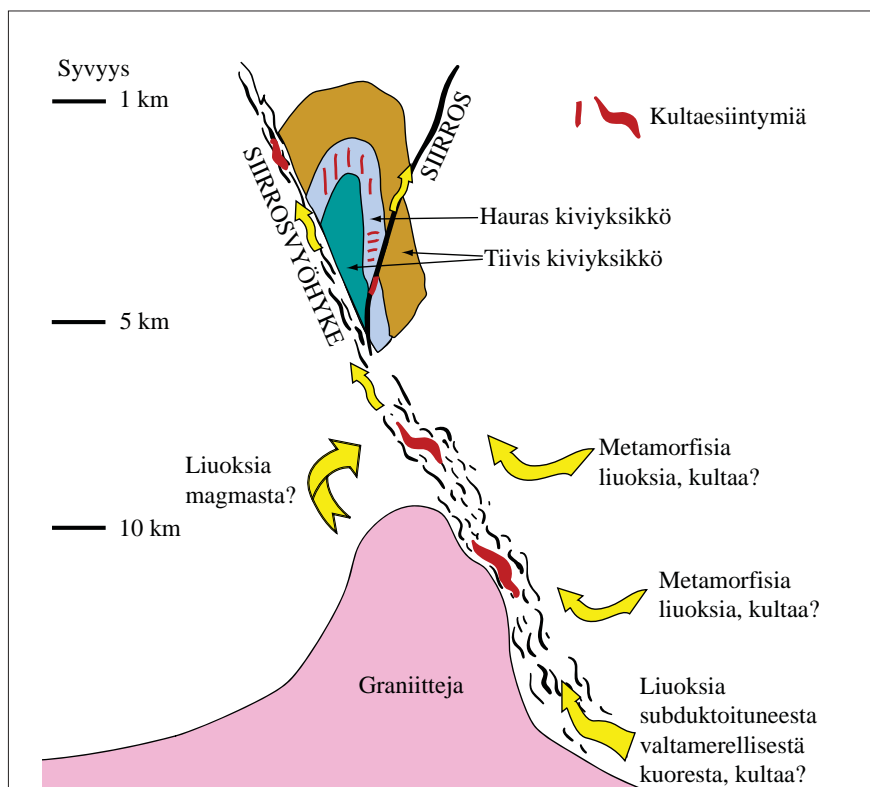
Suomen kaivostoiminnan historian kannalta merkittävät Outokummun alueen massiiviset kupariesiintymät (Keretti, Luikonlahti ja Kylylahti) kerrostuivat alun perin vulkaanis-hydrotermisissä prosesseissa massiivisina, mutta ohuehkoina sulfidikerroksina merenpohjalle ultraemäksisten kivien yhteyteen. Tämä tapahtui 1950 miljoonaa vuotta sitten. Alueen malmien muodostumiseen vaikuttivat olennaisesti

myös myöhempi poimutus ja metamorfoosi, joissa ohuet sulfidirikkaat kerrokset rikastuivat poimujen kärkeisiin ja malmimineraalit kiteytyivät uudelleen karkearakeisiksi. Tämä tapahtui svekofennisessä orogeniassa 1900 miljoonaa vuotta sitten.

Samanaikaisesti syntyivät myös Outokummun piroitteiset nikkeli-kobolttiesiintymät Vuonos ja Hautalampi. Ultraemäksiset kivet kiteytyivät metamorfoosissa uudelleen reagoiden samalla ympäristön mustaliuskeista peräisin olevan rikin kanssa. Tämän lopputuloksena silikaateista vapautuneet nikkeli ja koboltti muodostivat piroitteisia sulfidiesiintymiä ultraemäksisiin isäntäkiviin.

Lappiin kehittyi suuria nikkeli- ja kultamalmeja

Keski-Lapin vulkaaniset ja sedimenttiset kivet kerrostuivat ajanjaksolla 2400-2000 miljoonaa vuotta sitten hitaasti repeilevän ja vajoavan arkeisen kuoren alueelle muodostuneisiin altaisiin. Sedimentit olivat matalan meren hiekk-, karbonaatti- ja savisedimenttejä. Niitä seurasivat ultraemäksinen (komatiittinen) vulkanismi ja emäksiset-ultraemäksiset intruusioidet pääosin 2220 ja 2050 miljoonaa vuotta sitten. Intruusioidiin muodostui nikkeli-kupari-platinametalliesiintymiä, joista merkittävimmät ovat Kevitsan ja Sakatin suuret malmit Sodankylässä.



Kuva 5. Orogeenisten kultamalmien muodostumisprosessin havainnekuva

Nikkelimalmeja voi syntyä, kun emäksinen tai ultraemäksinen magma reagoi rikkipitoisten sivukivien kanssa. Tällöin voi muodostua silikaattisulaan sekoittumaton, vaihtelevasti nikkelistä, kuparista, koboltista ja platinametalleista rikastunut sulfidisula (kuva 4). Sulfidisula syntyy alun perin magmaan sekoittuneina pieninä pisaroina, mikä voi johtaa piroteisten malmien syntyyn. Tästä on esimerkkinä Kevitsan malmi. Painavampi sulfidisula voi myös kumuloitua magmasäiliön pohjalle, jolloin voi syntyä massiivisia malmeja. Sulfidisula voi kumuloitua jo aikaisemmassa vaiheessa syvemmällä maankuoressa ja tunkeutua yhdessä silikaattisen magman kanssa nykyiselle paikalleen. Sakatti on esimerkki massiivisesta nikkeli-kuparimalmista.

Kittilän alueen vulkaaniset kivet ovat osa muinaista merenpohjaa, joka törmäsi Lapin arkeiseen mantereeseen 1920 miljoonaa vuotta sitten. Tätä seurasi Inarista Kuolan alueelle ulottuvan mannerlohkon törmäys Keski-Lappiin 1900 miljoonaa vuotta sitten. Törmäys johti koko liuskejakson poimuttumiseen ja metamorfotukseen. Lappiin kehittyi silloin nykyistä Himalajaa muistuttava korkea vuoristo.

Vuoriston juuriosissa noin 10 km sy-

vyydessä syntyi paikallisesti orogeenisia kultamalmeja, joista esimerkkinä on Euroopan suurin kultakaivos Kittilä. Orogeeniset kultamalmit muodostuvat monivaiheisessa prosessissa, jonka lähtökohdaksi on syvällä maankuoressa olevien kivilajien uudelleenkiteytyminen lämpötilan ja paineen nousun vaikutuksesta (kuva 5). Tämä tapahtuu usein merenpohjan laatan subduktiovyöhykkeessä. Prosessissa syntyy metamorfisia liuoksia mineraaleista vapautuneesta kidevedestä ja muista volatiileista komponenteista. Prosessissa uuttuu liuoksiin myös kultaa ja muita metalleja hyvin pieninä pitoisuuksina. Joskus liuokset voivat olla osittain peräisin myös graniittisista magmoista.

Seuraavassa vaiheessa liuokset keskittyvät maankuoren murrosvyöhykkeisiin ja tunkeutuvat ylöspäin tektonisten prosessien pakottamana. Kulta voi saostua otollisissa olosuhteissa lämpötilan laskiessa ja liuosten koostumuksen muuttuessa reaktioissa sivukivien kanssa. Suotuisia paikkoja kultamalmien muodostumiselle ovat tyypillisesti ympäristöään hauraammat ja rautapitoiset kivilajimuodostumat. Kullan saostuminen tapahtuu yleensä 6-12 kilometrin syvyydellä.

Malmin syntyminen edellyttää suurten

Nikkelimalmeja voi syntyä, kun emäksinen tai ultraemäksinen magma reagoi rikkipitoisten sivukivien kanssa.

liuosvolyymien syntymistä, liuosten keskittymistä murrosvyöhykkeisiin ja tehokasta kullan saostumista laimeista liuoksista kemiallisesti ja rakenteellisesti otollisissa paikoissa.

Etelä-Suomeen syntyi vuoristoja ja malmien kirjo

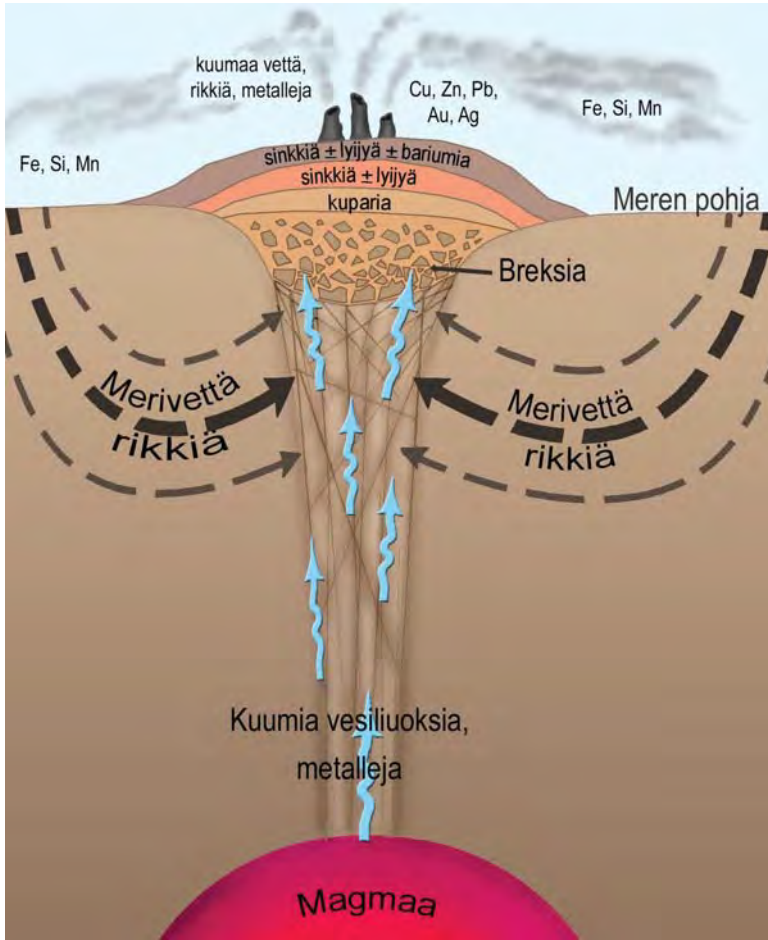
Etelä- ja Keski-Suomen kallioperä muodostui pääosin lyhyellä ajanjaksolla 1930-1870 miljoonaa vuotta sitten. Valtava määrä vulkaanisia kiviä, savia ja hiekkokeroja kerrostui miljöössä, jossa saarikaaret ja mannerlaatat törmäsivät toisiinsa ja Itä-Suomen vanhaan arkeiseen mantereeseen. Syntyi vuoristoja nykyistä Indonesian saaristoa muistuttavassa ympäristössä.

Saarikaarimiljöössä purkautuneiden happamien vulkaanisten kivien yhteyteen kehittyivät Vihannin ja Pyhäsalmen kupari-sinkki-lyijyesiintymät. Tämä tapahtui vulkaanis-hydrotermisissä prosesseissa 1920 miljoonaa vuotta sitten. Esiintymien paksuuntuminen poimutuksessa, ja malmimineraalien uudelleen kiteytyminen karkearakeiseksi ja siten helposti rikastettaviksi olivat tärkeitä osatekijöitä taloudellisesti hyödyntämiskelpoisten malmien synnyssä. Tämä tapahtui orogeenisissa huippuvaiheissa 1890 ja 1800 miljoonaa vuotta sitten.

Nykyisenä analogiana ovat merenpohjan mustat savuttajat, jotka kerrostavat perusmetallisulfideja valtamerien pohjaan esimerkiksi Indonesian saaristossa. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu malli vulkaanis-hydrotermisten malmien muodostumiselle. Magmasta peräisin oleviin, metallipitoisiin liuoksiin sekoittuu tulivuorten juuriosissa merivettä ja rikkiä. Liuosten kohotessa malmimetallit saostuvat merenpohjalle tai vulkaaniseen purkauskanaavaan. Liuosten jäähtyminen, paineen lasku ja laimentuminen sekoittumisessa viileän meriveden kanssa johtavat metallisulfidien vyöhykkeeseen saostumiseen.

Lukuisia emäksisiä intruusioita tunkeutui Etelä-Suomessa mikrolaattojen reunavyöhykkeisiin 1890 miljoonaa vuotta sitten.

MUKAELTU J.W. LYDONIN ALKUPERÄISESTÄ KUVASTA



Kuva 6. Vulkaanis-hydrotermisten, massiivisten perusmetalliesiintymien muodostumisprosessin havainnekuva

Niihin kehittyi paikallisesti nikkeli-kupari-esiintymiä, joista esimerkkeinä ovat Hitura, Vammala ja Kotalahti. Svekofennisen orogeenian metamorfisen huippuvaiheen jälkeen syntyi vuoriston juuriosissa orogeenisia kultaesiintymiä, kuten Huittisten Jokisivu ja Raahen Laivakangas.

Mikrolaattojen törmäyksissä eteläisimpään Suomeen muodostui jälleen kerran korkea vuoristo 1850-1790 miljoonaa vuotta sitten. Pintakivet joutuivat 15-20 km syvyyteen maankuoreen, jolloin ne metamorfoituvat ja sulivat osittain. Nämä vuoriston juuriosissa syntyneet graniitit ja migmatiitit hallitsevat Etelä-Suomen nykyistä geologiaa.

Prosessissa syntyi myös harvinaisista metalleista rikastuneita pegmatiittigraniittijuonia. Kaustisen litiumpitoiset pegmatiittiesiintymät muodostuivat Pohjanmaalle samassa vaiheessa, 1790 miljoonaa vuotta sitten. Myös joitakin orogeenisia kultaesiintymiä syntyi eteläiseen Suomeen jälleen tässä vaiheessa.

Etelä-Suomen suuret rapakivigraniitit saivat alkunsa stabiloituneen mantereiden repeytyessä useassa vaiheessa 1650-1540 miljoonaa vuotta sitten. Maan vaipasta nousi ensin emäksistä magmaa, joka sulatti ympäröivää maankuorta. Sulasta kiteytyi laajoja rapakivigraniitti-intruusioita. Samanaikaisesti alkoi hiekka- ja savikivien kerrostuminen. Ne ovat aikanaan peittäneet lähes koko nykyisen Suomen alueen, mutta nämä nuorimmat sedimenttikivet ovat säilyneet nykypäivään ainoastaan Satakunnan ja Muhoksen hautavaoimissa.

Nuorimmat kivet toivat timantteja ja fosforia maan uumenista

Viimeisimpinä magmaattisina tapahtumina muodostuivat Itä-Suomen vanhalle mantereelle timanttipitoiset kimberliitit ja alkalikivet. Kimberliittejä syntyi kolmessa vaiheessa: 600, 760 ja 1200 miljoonaa vuotta sitten. Kimberliitit ovat harvinaisia räjähdysmäisesti maanpintaan tunkeutuneita,

Suotuisia paikkoja kultamalmien muodostumiselle ovat tyypillisesti ympäristöään hauraammat ja rautapitoiset kivilajimuodostumat.

pienialaisia ja kaasurikkaita intruusioita. Niiden lähtökohtana on maan vaipan hyvin paikallinen osittainen sulaminen syväällä paksun arkeaisen kuoren alapuolella. Kimberliittipurkaukset toimivat ikään kuin pikahissinä, joka tempaisee maan vaipasta, 150-200 kilometrin syvyydeltä kyytiinsä siellä esiintyviä timantteja ja muuta ainesta ja kuljettaa sen magmaan sekoittuneena hurjalla vauhdilla maan pintaan.

Savukosken Soklin karbonaatti muodostui 365 miljoonaa vuotta sitten yhtenä monista Kuolan niemimaan alkalikivistä. Se syntyi monivaiheisessa prosessissa, jonka lähtökohtana oli maan vaipan osittainen sulaminen ja erityisen ultraemäksisen magman muodostuminen. Tätä seurasi juonikivien intrudoituminen sekä varsinaisen karbonaatti-magman synty ja tunkeutuminen maan pintaan. Sokli sisältää huomattavat fosforivarannot ja potentiaalia myös niobiumin sekä harvinaisten maametalien tuotannolle.

Sokliin päättyi Suomen vuosimiljardeja kestänyt malmiesiintymien synty. ▲

Kirjallisuutta

- Eilu, P. (ed.) 2012. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 p. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_053.pdf.
- Lehtinen, Martti; Nurmi, Pekka ja Rämö, Tapani (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s. <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/>.
- Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, T.O. (eds.), 2005. Precambrian geology of Finland: key to the evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, 14. Elsevier, Amsterdam, 736 p.
- Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien H. (eds.) 2015. Mineral Deposits of Finland. Elsevier, Oxford, 781 p.
- Nironen, Mikko (ed.), 2017. Bedrock of Finland at the scale 1:1 000 000 - Major stratigraphic units, metamorphism and tectonic evolution. Geological Survey of Finland, Special Paper 60, 130 p. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_060_pages_009_040.pdf.