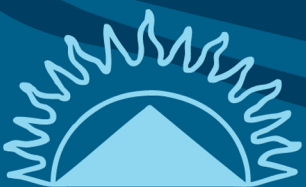


Acta Lapponica Fenniae 25

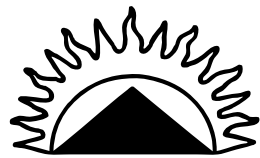
Lapin geologiset luonnonvarat 2010

Toimittanut
Pertti Sarala



Lapin
tutkimusseura
www.lapintutkimusseura.fi

ACTA LAPPONICA FENNIAE 25



Lapin
tutkimusseura
www.lapintutkimusseura.fi

Lapin geologiset luonnonvarat 2010

Toimittanut
Pertti Sarala

Lapin tutkimusseura
Acta Lapponica Fenniae
Rovaniemi 2012

Acta Lapponica Fenniae

Nro 25, 2012

Julkaisija Lapin tutkimusseura r.y.

Lapin maakuntakirjasto

Jorma Eton tie 6

96100 Rovaniemi

www.lapintutkimusseura.fi

Julkaisuvastaava Pertti Sarala

Toimituskunta Pertti Sarala, Mervi Autti, Pasi Lehmuspelto, Terho Liikamaa, Seija Tuulentie, Leena Suopajärvi, Marja Uusitalo, Jarkko Ylipieti

Taitto ja ulkoasu Pertti Sarala

Rovaniemi 2012

ISSN 0457-1754

ISBN 978-951-9327-64-8 (nid.)

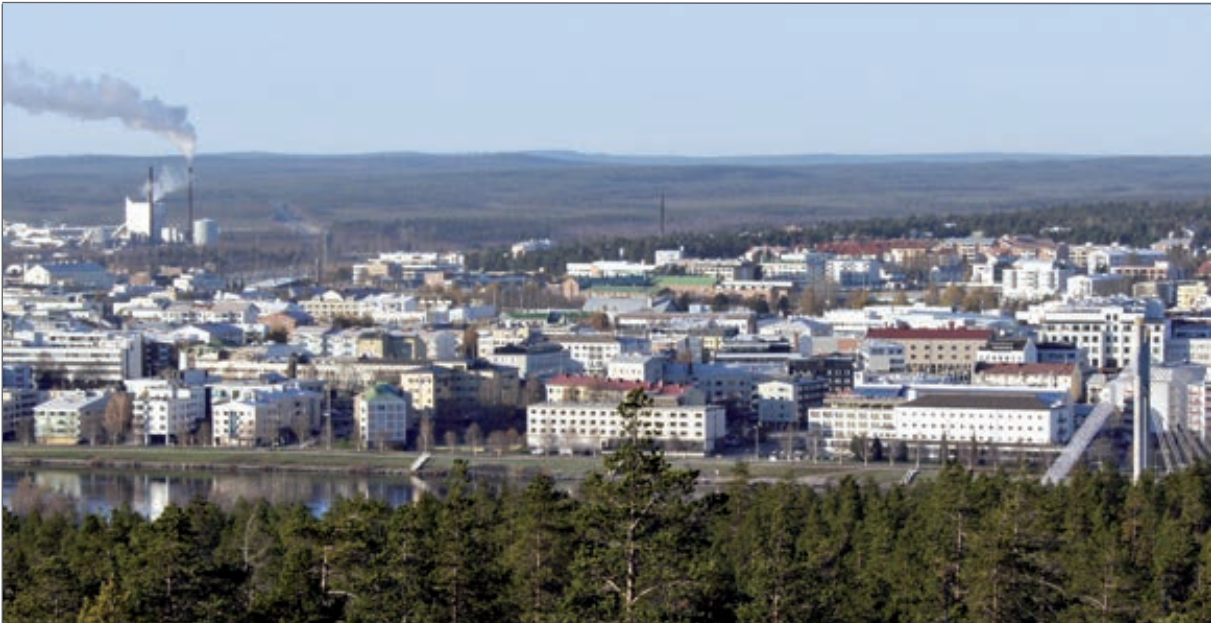
ISBN 978-951-9327-65-5 (PDF)

Painatuskeskus Finland, Rovaniemi

Kansi: Näkymä Rautuvaaran vanhan rautakaivoksen avolouhokselle ja siitä itään Ylläkselle. Kuva Pertti Sarala.

Sisällys

Esipuhe.....	1
Johdanto.....	3
Pohjois-Suomen geologinen kartoitus.....	9
Kallioperäkartoitus.....	9
Maaperäkartoitus.....	17
Soiden kartoitus.....	27
Pohjavesien kartoitus.....	36
Geokemiallinen kartoitus.....	43
Geofysikaalinen kartoitus.....	53
Malmi- ja mineraalivarat.....	69
Lappi - malmien ja mineraalien maa.....	69
Kulta.....	71
Rautaoksidi-kupari-kultaesiintymät.....	82
Nikkeli-kupari-platinametalliesiintymät.....	87
High-tech -metallit.....	93
Uraani.....	94
Teollisuusmineraalit ja -kivet.....	96
Luonnonkivet.....	103
Jalo- ja korukivet.....	109
Lapin maa-ainekset.....	114
Kalliokiviaines.....	120
Lapin turvevarat.....	123
Summary.....	127



Palveleva geoalan osaaja

Mineraalivarat ja raaka-ainehuolto



Maankäyttö ja rakentaminen



Energiahuolto ja ympäristö



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

www.gtk.fi

Esipuhe

Vuonna 2012 tuli kuluneeksi 50 vuotta ensimmäisen Lapin tutkimusseuran *Acta Lapponica Fenniae* -julkaisun ilmestymisestä. Kirjan aiheena oli Lapin kivennäisvarat ja kirjan olivat toimittaneet Geologisen tutkimuslaitoksen myöhempi ylijohtaja Herman Stigzelius ja geologi Pentti Ervamaa. Yleiskatsausluonteesta huolimatta kirja käsitteli kattavasti tuon ajan tietämyksen mukaisesti Lapin kivennäisvaroja käsittäen pääasiassa mineraalisia malmi-, ja rakennuskivi- ja teollisuusmineraaliesiintymiä. Kivennäisvaroihin oli sisällytetty myös savi- ja savihiesuesiintymät sekä turve. Kirjan alussa oli myös kuvaus Lapin geologisesta kartoitustilanteesta, jonka voidaan todeta olleen varsin alkutekijöissään 1960-luvun alussa.

Lapin tutkimusseura juhli 50-vuotista seurataivaltaan vuonna 2009. Seuran vahvuuksiin ovat alusta asti kuuluneet laaja-alainen tieteellisen tutkimuskentän seuraaminen ja tutkimuksen edistäminen Lapin ja Pohjois-Suomen erityisolosuhteiden näkökulmasta. Tieteenalojen yli menevä aktiivinen, vapaaehtoisuuteen perustuva yhteistyö on ollut toiminnan kantava voima ja sitä on tukenut seuran kirjallinen toiminta vuosikatsaus-tyyppisen Vuosikirjan ja enemmän tieteelliseen sisältöön painottuvan *Acta Lapponica Fenniae* -julkaisusarjan muo-

doissa. Myös tämän järjestyksessään 25. *Acta:n* kokoamisessa on ollut mukana laaja kirjoittajakunta koostuen sekä aktiivisesti työelämässä mukana olevista Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Pohjois-Suomen yksikön geologeista ja tutkimushenkilöstöstä että jo eläkkeelle siirtyneistä alan asiantuntijoista.

Lapin kivennäisvarojen kartoituksessa ja tutkimuksessa on tapahtunut viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana valtava kehitys niin tieteellisen kuin teknologisenkin kehityksen ja tietämyksen kasvun myötä. Samaan aikaan metallien ja kivennäisraaka-ainevarojen alueellinen ja erityisesti globaali tarve on saavuttanut suuret mittasuhteet väestönkasvun ja rakentamisen lisääntymisen myötä. Kehitys on edesauttanut myös pohjoisten alueiden kuten Lapin ja laajemminkin koko Pohjois-Suomen geologisten luonnonvarojen kartoittamista ja malmivarojen arviointia. Samalla kivennäisvarojen tarkastelu on laajentunut käsittämään perinteisten mineraalisten malmi- ja teollisuusmineraalikaivannaisten lisäksi yhä laajemmin rakentamiseen tarvittavien kivi-, hiekka- ja soraraaka-ainevarojen, energiantuotantoon tarvittavan turpeen ja maalämmön sekä vesihuoltoon tarvittavien pinta- ja pohjavesivarojen arvioinnin eli yleisemmin geologisten luonnonvarojen

arvioinnin. Unohtaa ei sovi myöskään geologiaa luonnon monimuotoisuuden, matkailun ja virkistymisen näkökulmista, jotka ovat merkittäviä Pohjois-Suomen luontomatkailun vetovoimatekijöitä.

Tämän kirjan tarkoituksena on päivittää yleiskatsauksenomaisesti Lapin geologisten luonnonvarojen kartoitukseen ja tutkimukseen liittyvä tietämys 2010-luvulle. Kirja noudattelee rakenteeltaan samaa tyyliä kuin 50 vuotta sitten julkaistu ensimmäinen *Acta Lapponica Fenniae*, mutta kartoituksen kehityksestä kertova osio on nyt huomattavasti edel-

täjäänsä laajempi ja monipuolisempi. Kirja on tarkoitettu yleisteokseksi kaikille Lapin geologiasta sekä geologisista luonnonvaroista kiinnostuneille ja se toimii hyvin myös yleisteoksena opetuksessa ja yhteiskunnallisessa päätöksenteossa.

Lapin tutkimusseura kiittää kaikkia kirjoittajia ja käsikirjoituksiin kommentteja sekä parantavia korjausehdotuksia antaneita ennakkotarkastajia – professo-reita Vesa Peuraniemi, Kimmo Pietikäinen ja Ahti Silvennoinen – ja tutkimusseuran hallituksen jäseniä sekä kirjan julkaisemista tukeneita organisaatioita.

Rovaniemellä 31.12.2012

Pertti Sarala

Johdanto

Pertti Sarala

Geologista tutkimusta ja raaka-ainevarojen kartoitusta on tehty Lapissa noin 150 vuotta, tosin kulturalöytöjä tiedetään tehdyn jo 1500-luvulta lähtien (GTK 2012). Varsinaisen geologisen tutkimuksen voidaan katsoa alkaneen vuonna 1868, jolloin Vuorihallitus lähetti retkikunnan etsimään luonnonvaroja Lapista. Ensimmäinen kultaryntäys alkoi Ivalojoella 1870 ja sitä kesti muutaman vuosikymmenen kyseisen vuosisadan lopulle. Malminetsintää alettiin tehdä laajemmin 1900-luvun alussa, jolloin tutkimuksen kohteena olivat rautamalmit ja myöhemmin nikkelimalmit muun muassa Petsamon alueella. Samaan aikaan Laanilan alueella, Saariselän eteläpuolella, yritettiin louhia kultaa kaivosmittakaavassa, ja Ivalojoella sekä sen jokihaaroissa kehiteltiin koneellista huuhtontaa irtokultaesiintymien hyödyntämiseksi. Nämä yritykset kuitenkin päättyivät varsin nopeasti taloudellisesti kannattamattomina. Sen sijaan pienimuotoinen huuhtontakultatoiminta jatkui Ivalonjoen alueella aktiivisena samoin kuin Lemmenjoen alueella, missä koettiin Lapin toinen kultaryntäys toisen maailmansodan jälkeen.

Geologinen kartoitus aloitettiin Lapissa jo 1800-luvulla tosin vain pienialaisesti tieteellisiin tutkimuksiin liittyen. Etelä-Suomessa järjestelmällinen geologinen kartoitus aloitettiin 1870-luvul-

la, jota organisoivat ensin Vuorihallituksen geologinen toimisto ja vuodesta 1885 lähtien Geologinen komisioni (Virkkala 1986). Geologisten yleiskarttojen aineiston keräämiseen ja karttojen laadintaan päästiin Lapissa 1900-luvun alkupuolella ja ensimmäiset 1:400 000-mittakaavaiset kartat painettiin vuonna 1910. Kartoitustyötä jatkettiin vuoden 1925 jälkeen Geologisen toimikunnan alaisena, kunnes vuonna 1946 perustettiin Geologinen tutkimuslaitos (Kauranne 2011). Yleiskartoitusta jatkettiin aina 1960-luvulle, jolloin viimeinen kartta saatiin painetuksi. Sotien jälkeen 1950- ja 1960-luvuilla valtio ja kaivosyhtiöt alkoivat todella panostaa malminetsintään ja geologiseen tutkimukseen. Samaan aikaan aloitettiin myös maaperäkartoitusohjelma. Siitä voidaan katsoa alkaneen nykymuotoisen geologisen kartoitus- ja tutkimustoiminnan Lapissa.

Ensimmäisen Lapin tutkimusseuran Acta Lapponica Fenniae -julkaisun ilmestymisen aikaan 1960-luvun alussa geologisen kartoituksen voidaan todeta olleen kallioperän osalta jo hyvin vauhdissa, mutta maaperäkartoituksen ja geofysikaalisten mittausten osalta varsin alkutekijöissään Lapissa (vrt. Stigzelius & Ervamaa 1962). Koska kallioperän tuntemuksen katsottiin edesauttavan malminetsintää, niin kartoitusta oli syytä

tehostaa. Huomattavaa on myös, että geologisia karttoja oli saatavilla vain harvoilta alueilta sodan jälkeen.

Malminetsintä on ollut yksi merkittävistä geologista tutkimusta ja kivennäisvarojen kartoitusta edistävästä tekijöistä Lapissa. Jo vuonna 1962 oli tiedossa runsaasti malmiesiintymiä ja mineralisoitumia, joista useat ovat johdaneet sittemmin kaivostoimintaan tai laajoihin jatkotutkimuksiin. Lukuisia rauta- ja perusmetalliesiintymiä löydettiin kallioperää kartoitettaessa (Stigzelius & Ervamaa 1962). Kallio- ja maaperän kartoituksen ja Geologisen tutkimuslaitoksen Rovaniemen aluetoimiston perustamisen jälkeen vuonna 1973 alueen geologinen tietämys kasvoi nopeaa vauhtia ja jo vuonna 1984, *Acta Lapponica Fennia* numeron 12 ilmestymisen aikaan käsitys geologian pääpiirteistä oli muotoutunut pääosin nykyisen kaltaiseksi (Silvennoinen 1984).

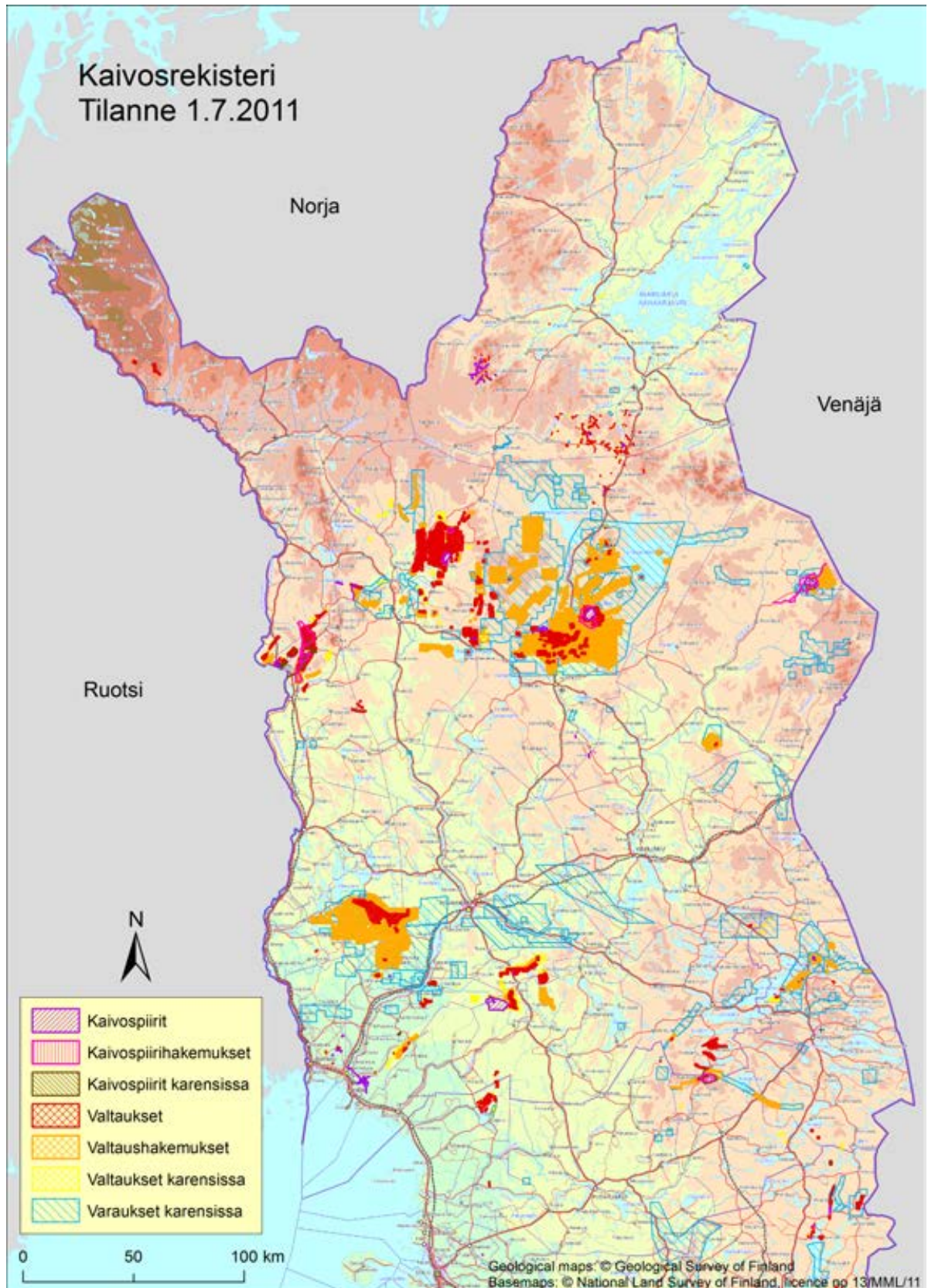
Malminetsintää ja kallioperäkartoitusta tekivät 1960-luvulta lähtien Geologisen tutkimuslaitoksen lisäksi valtionyhtiöt Rautaruukki Oy ja Outokumpu Oy. Valtionyhtiöistä ensimmäinen lopetti malminetsinnän 1980-luvulla ja jälkimmäinen 2000-luvun taitteessa. Geologinen tutkimuslaitos vaihtoi nimensä 1983 Geologian tutkimuskeskukseksi (GTK) ja 1990-luvun alussa GTK:n organisaatiota uudistettiin perustamalla alueyksiköt, joista Pohjois-Suomen aluetoimisto alkoi vastata Pohjois-Suomen geologisesta kartoituksesta ja tutkimuksesta. Myöhemmin, vuonna 2007 GTK:n Pohjois-Suomen aluetoimiston nimi vaihtui Pohjois-Suomen yksiköksi (Kauranne 2011).

Erityisesti 1990-luvun puolesta välistä

lähtien malminetsintä on ollut Suomessa ja erityisesti Lapissa aktiivista ETA-sopimuksen allekirjoittamisen myötä. Vuoden 1994 jälkeen kansainvälisiä malminetsintä- ja kaivosalojen toimijoita on ollut Pohjois-Suomessakin runsaasti. Siitä lähtien on eletty maassamme malminetsintä- ja kaivosbuumia, joka ei ole pie-nehköjä notkahduksia lukuun ottamatta osoittanut hiipumisen merkkejä vielä tähän päivään mennessä. Siitä hyvänä esimerkkinä on vallitseva runsas valtaus- ja varaustilanne Pohjois-Suomessa (kuva 1). Nykyisin puolet tutkimuslupahakemuksista ja varauksista kohdentuu Lappiin. Meillä onkin merkittävä rooli EU:n metallin tuotannossa, sillä Suomessa tuotetaan kullasta ja nikkelistä huomattava osa ja kromiitin osalta Suomi on ainoa tuottajamaa Euroopan unionissa (EU).

Alan tuoreen katsauksen (http://www.luonnontieteilijalehti.fi/artikkelit/2012/2/Kaivosalan_tulevaisuus) mukaan Suomen kaivosteollisuuden liikevaihto oli vuonna 2010 noin 1,16 miljardia euroa. Tästä metallimalmikaivosten osuus oli 680 miljoonaa euroa. Ala työllisti suoraan noin 2 200 henkilöä. Lisäksi alihankkijat työllistivät rakentajat mukaan lukien noin 1 700 henkilöä. Kaivosalan työllisyysvaikutukset ovat koko ajan kasvussa, ja vuonna 2011 ala työllisti jo 3 600 henkilöä. Työ- ja elinkeinoministeriö arvioi määrän kasvavan 5 000 työntekijään vuoteen 2014 mennessä. Näiden lisäksi esimerkiksi maa-aines- ja maalämpöalat sekä konerakennus työllistävät yhtä paljon henkilöstöä samoin kuin tutkimus ja kehitys.

Vuonna 2009 Suomessa oli 47 toimivaa kaivosta ja suunnitteilla 43 uut-



Kuva 1. Malminetsintä ja malmiesiintymien tutkimus jatkuu vilkkaana Pohjois-Suomessa, mikä näkyy Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ylläpitämän kaivosrekisterin valtaus- ja varaustilanteesta. Kuvassa on esitetty vanhan kaivoslain mukainen tilanne ennen heinäkuun alkua 2011.

Fig. 1. Mineral exploration and research are active in northern Finland, which is seen as numerous claims and reservations in the mining register of TEM. Situation before 1.7.2011 during the old mining law.

ta kaivosta (Hernesniemi ym. 2011). Kokonaislouhintamäärä oli 55,4 miljoonaa tonnia (Mt). Toimivia metallikaivoksia oli vuonna 2010 kahdeksan, joiden kokonaislouhintamäärä oli 45,8 Mt, mikä on yli kaksinkertainen määrä 1970-luvun parhaimpiin vuosiin verrattuna (Kananaja ym. 2012). Vuoden 2011 lopussa kaivoksien kokonaismäärä Suomessa oli jo 52, joista metallikaivoksia oli 12 (Turvallisuus ja kemikaalivirasto 2012). Lapissa metallikaivoksista sijaitsee neljä: Kemin kromikaivos, Kittilän ja Pahtavaaran kultakaivokset sekä Kevitsan nikkeli-PGE-kupari-kultakaivos. Uusia kaivostoimintaan tähtääviä projekteja on käynnissä useita (mm. Kolarin Hannukainen, Savukosken Sokli ja Ranuan Suhanko) ja myös lupaavia esiintymiä on runsaasti. Huomattavaa on, että nykyisin kaivosviranomaisen (Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes) 1.7.2011 lähtien) vuosittain myöntämistä malminetsinnän aluevarauksista puolet sijaitsee Lapissa.

Geologiset luonnonvarat

Geologisilla luonnonvaroilla tarkoitetaan maa- ja kallioperän materiaaleja tai niihin varastoituneita aineksia ja energiaa. Se on laajempi käsite kuin kivennäisvarat, joilla tarkoitetaan pääosin mineraalisia malmi- ja maa-ainesvaroja. Geologisia luonnonvaroja voidaan nimittää myös raaka-aineiksi, jos niitä käytetään rakentamisessa, tuotevalmistuksessa tai muussa valmistuksessa tuotannon tekijänä. Teollistumisen kehittymisen alkua ajoista lähtien ihminen on ollut täysin riippuvainen geologisista luonnonvaroista ja koko yhteiskunnan perustana

oleva infrastruktuuri rakentuu näiden raaka-aineiden ja metallien varaan.

Suomen maankamarassa esiintyy lähes kaikkia geologisia luonnonvaroja, öljyä, kaasua ja kivihiiltä lukuun ottamatta. Metallit ja mineraalit ovat näistä merkittävimpiä ja Suomen kaivosala rakentuu lähes kokonaan niiden varaan. Viime vuosina myös uusien geologisten energiavarojen tutkimus ja hyödyntämisen kehittäminen ovat johtaneet geonergian käytön lisääntymiseen turpeen rinnalle. Geonergian osalta Suomessa hyödynnettävä maa- tai kalliolämpö on pääosin maan sisäistä lämpövuota ja auringosta peräisin olevaa varastoitunutta säteilylämpöä ja siten sen voidaan katsoa olevan täysin puhdasta sekä erittäin alhaisen ympäristövaikutuksen energiaa.

EU:n ja Suomen metalliteollisuus on raaka-aineidensa suhteen voimakkaasti riippuvainen tuonnista. Esimerkiksi kaikki Suomessa jalostettavat rautarikasteet tuodaan ulkomailta (3,1 Mt, arvo 277 miljoonaa euroa vuonna 2008; GTK 2012). Tuontimaita ovat pääasiassa Ruotsi ja Venäjä. Myös kupari-, sinkki- ja nikkelikasteiden osalta tuonin osuus kattaa yli 90 % Suomessa jalostetuista rikasteista. Sen vuoksi uusien malmipotentialisten alueiden ja malmi-esiintymien etsiminen on tärkeää. Lappi ja Pohjois-Suomi ovat malmien ja monien mineraalisten raaka-aineiden suhteen Euroopan aarreaitta. Kallioperästä johutuva korkea malmipotentiali on merkittävä metallien saannin turvaamisessa ja sitä on korostettu uudessa eurooppalaisessa mineraalistrategiassa (EU 2010) ja luonnollisesti myös Suomen mineraalistrategiassa (2010). Teollisuusmineraalien ja kiviaineksen tuotannossa Eu-

rooppa on suurelta osin omavarainen, mutta metallien osalta olemme tuonnin varassa. Euroopan strategisena tavoitteena on lisätä omavaraisuutta erityisesti kriittisten metallien osalta, joihin luetaan esimerkiksi korkean teknologian metallit eli niin sanotut high tech -metallit. Tällaisia metalleja ovat muun muassa matkapuhelin- ja akkuteollisuudessa tarvittavat harvinaiset maametallit (REE-metallit) sekä katalyytteinä käytettävät platinaryhmän metallit (PGE-metallit). Näiden kaikkien osalta Pohjois-Suomessa on hyvät esiintymismahdollisuudet.

Yhteiskunta on laajasti riippuvainen myös laadukkaista rakentamiseen tarvittavista raaka-aineista, kuten hiekasta, sorasta, savesta ja kalliokiviaineksesta. Näiden esiintyminen on kuitenkin geologisten prosessien johdosta epätasaisesti jakaantunut ja kasvukeskuksien kehittymiseen tai suuriin rakennushankkeisiin liittyvän runsaan käytön seurauksena paikoin huomattavasti vähentynyt. Tämä asettaa haasteita geologeille uusien esiintymien löytämiselle tai korvaavien raaka-ainevarojen selvittämiseksi. Malmien entistä vaikeampi saatavuus ja pitkät kuljetusmatkat lisäävät kuitenkin kustannuksia ja toiminnan ympäristövaikutuksia. Ongelmallisia ovat erityisesti laadukkaat hiekka- ja soraesiintymät, jotka ovat samalla merkittäviä juomaveden tuottajia ja pohjavesivarastoja sekä luontoarvoiltaan merkittäviä maisema-alueita. Eri käyttömuotojen kesken joudutaan hakemaan tasapainoa kestävän kehityksen saavuttamiseksi. Ratkaisuna ovat esimerkiksi erilaisten rakentamiseen tarvittavien materiaalien tuottaminen kallioperästä louhitun

kiviaineksen murskaamisella tai aiempaa heikkolaatuisimpien raaka-aine-esiintymien hyödyntäminen ja käyttöönotto. Myös juomavettä joudutaan tuottamaan pintavesistä laadukkaan pohjaveden käytön sijaan.

Suomi on yksi maailman soisimpia valtioita ja erityisesti Pohjois-Suomessa ovat laajat alueet soiden ja turpeen peittämiä. Suomi olikin esimerkiksi vuonna 2010 maailman suurin turpeen tuottaja vastaten neljänneksestä maailman tuotannosta (Apodaca 2010). Merkittävin osa tuotannosta menee polttoturpeeksi. Turpeen käyttöön vaikuttavat suuresti vallitsevat energiapolitiittiset ratkaisut ja keskustelu sen luokittelusta joko uusiutuvaksi tai uusiutumattomaksi luonnonvaraksi.

Raaka-ainevarantojen lisäksi geologia luo myös perustan luonnon monimuotoisuudelle (esim. Uusitalo ym. 2006 ja 2007). Lapin kallio- ja maaperän erityispiirteet ja vaihtelevuus sekä luonnollisuus korostuvat pohjoisen olosuhteissa ja ilmastossa. Monipuolinen geologia on jo sinänsä merkittävä luonnonvara ja tuon geodiversiteetin ylläpitäminen on niin ihmisen kuin muunkin eliöstön kannalta tärkeää. Sitä voidaan myös hyödyntää entistä enemmän elinkeinotoiminnassa, kuten esimerkiksi luonnontuotealalla, jossa pohjoinen puhtaus on merkittävä kilpailutekijä (vrt. Peltola & Sarala 2012). Myös matkailu- ja virkistypalvelujen kehittäminen ja tarjonta luovat uusia mahdollisuuksia. Geomat-kailu on kansainvälisesti lisääntyvä matkailumuoto ja Lapissa sille on erinomaiset puitteet olemassa.

Kirjallisuus

Apodaca, L.E. 2010. 2010 Minerals Yearbook – Peat (Advance release). USGS, 7 p. Elektroninen julkaisu, saatavana: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/peat/myb1-2010-peat-pfd>. Viitattu 30.11.2012.

EU 2010. Eurooppa 2020. Älykkään, kestävän ja osallistavan kasvun strategia. Komission tiedonanto. Bryssel 3.3.2010, KOM(2010) 2020 lopullinen. Elektroninen julkaisu, saatavana: http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_FI_ACT_part1_v1.pdf (Viitattu 1.12.2012)

GTK 2012. Geologian tutkimuskeskuksen verkkosivut. <http://www.gtk.fi>

Hernesniemi, H., Berg-Andersson, B., Rantala, O. & Suni, P. 2011. Kalliosta kullaksi, kummusta klusteriksi - Suomen mineraaliklusterin vaikuttavuusselvitys. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA B252, 241 s.

Kananoja, T., Ahtola, T., Hyvärinen, J., Kallio, J., Kinnunen, K., Luodes, H., Makkonen, H., Sarapää, O., Tuusjärvi, M. & Virtanen, K. 2012. Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2010. Summary: Geological resources in Finland, production data and annual report 2010. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 197, 32 s.

Kauranne, K. 2011. Ikuisesti nuori – Geologian tutkimuskeskus 125-vuotta. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Peltola, R. & Sarala, P. (toim.), 2012. Pohjoinen puhtaus. Acta Lapponica Fenniae 24, Lapin tutkimusseura, Rovaniemi, 104 p.

Silvennoinen, A. (toim.) 1984. Geologinen Pohjois-Suomi. Lapin tutkimusseura, Acta Lapponica Fenniae 12, 100 s.

Stigzelius, H. & Ervamaa, P. 1962. Lapin kivennäisvarat. Lapin tutkimusseura, Acta Lapponica Fenniae 1, 58 s.

Suomen mineraalistrategia 2010. Saatavana elektronisesti: <http://mineraalistrategia.fi> (Viitattu 1.12.2012)

Turvallisuus ja kemikaalivirasto 2012. Vuoriteollisuustilasto 2011. Elektroninen julkaisu, saatavana: http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/tilastot/Vuoriteollisuustilasto_2011.pdf (Viitattu 31.12.2012)

Uusitalo, M., Sarala, P. & Tuulentie, S. (toim.) 2006. Elävä matkailumaisema: Ounasselän tunturiseudun sekä Ylläksen ja Levin maisemaselvitys. Metlan työraportteja 33. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki, 196 s.

Uusitalo, M., Sarala, P. & Jokimäki, J. (toim.), 2007. Maisemälähtöinen maankäytönsuunnittelu luontomatkailekeskuksissa. Arktisen keskuksen tiedotteita 49. Painatuskeskus Finland, Rovaniemi, 88 s.

Virkkala, K. 1986. Geologian tutkimuskeskuksen 100-vuotishistoriikki. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 93 s.

Pohjois-Suomen geologinen kartoitus

Kallioperäkartoitus

Vesa Perttunen

Pohjois-Suomen kallioperää on tutkittu 1800-luvun alkupuolelta lähtien. Ensimmäiset julkaistut kartat liittyivät erillisiin väitöskirjatoihin sekä malminetsintään liittyviin kenttätöraportteihin. Tutkimukset samoin kuin niiden yhteydessä kertynyt kartta-aineisto keskittyivät useimmiten pienelle alueelle itse malmi-aiheisiin ja niiden lähiympäristöön. Tutkimukset saivat lisävauhtia 1800-luvun loppupuolella Lapin kultaesiintymien löytymisen jälkeen. Näiden erillistutkimusten perusteella syntyi vähitellen koko Suomen geologinen karttakuva, jossa jo erottuvat monet pohjoisen Suomen kallioperän suuret geologiset yksiköt.

Lapin kultaryntäys antoi sysäyksen Suomen systemaattiselle geologiselle kartoitukselle. 1800-luvun loppuun mennessä olikin jo julkaistu 1:200 000-mittakaavaiset geologiset kartat eteläisimmästä Suomesta. Näissä kartoissa oli kuvattu sekä kallioperä että kallioperää peittävät maaperän muodostumat. Yhdistetyllä kartalla kallioperän kuvaaminen osoittautui hankalaksi, koska Suomen pinta-alasta vain 3 prosenttia on paljastuneena. Niinpä karttasarja jaettiin kahtia, ja kivilaji- ja maalajikarttoja alettiin julkaista erillisinä tuotteina. Samalla karttojen mittakaavaksi valikoi-

tui 1:400 000. Näihin karttoihin liittyvät laajat ja perusteelliset selityskirjat. Näiden kartoitusten ja tutkimusten perusteella hahmottui vähitellen geologinen karttakuva, jossa jo erottuvat monet pohjoisen Suomen kallioperän suuret geologiset yksiköt (esim. Sederholm 1899).

Geologisen peruskartoituksen painopisteenä olivat Tampereen ja Mikkelin seudut Keski-Suomessa. Tutkimukset etenivät nopeasti pohjoista kohti. Esimerkiksi Tornion-Ylitornion-Rovaniemen kallioperäkarttalehdet painettiin jo vuonna 1910. Näihin karttoihin liittyvät kenttätö oli tehty sen ajan vaativissa oloissa. Valmistuihan rautatiekin Rovaniemelle vasta juuri painatusvuonna. Hankalista oloista huolimatta yli sata vuotta sitten tehdyt yksityiskohtaiset ja tarkat geologiset maastohavainnot kestävät nykypäivän tarkastelun, ja useat kallioperägeologiset yksiköt ovat kartoilla selvästi erotettavissa (esim. Sederholm 1932). Karttoihin liittyvissä selityskirjoissa on kuvattu tarkemmin kukin kartalla esiintyvä kivilajiyksikkö (esim. Hackman & Wilkman 1925 ja 1929). Mukana on myös kivilajien kemiallisia analyysejä, joiden avulla voidaan arvioida kallioperän ja sen kemiallisen koostumuksen vaikutusta esimerkiksi kasvilisuuteen. Kivien luokittelu, ikäjärjestys

ja stratigrafia ovat toki muuttuneet ja tarkentuneet noista ajoista.

Geologisten yleiskarttojen laadinta eteni nopeasti. 1930-luvulla valmistuivat Keski-Lapin lehdet Muoniosta itärajalle (Mikkola 1935, 1936a, 1936b, 1941). Sota ja varsinkin Keski-Lapin karttojen laatijan Erkki Mikkolan kaatuminen talvisodassa keskeyttivät kartoitustyöt pitkäksi aikaa. Kartoitus jatkui kuitenkin sotien jälkeen (Enkovaara ym. 1952, 1953, Matisto 1959, 1969) ja viimeinenkin näistä Pohjois-Suomen 1:400 000-mittakaavaisista kallioperäkartoista – Inari-Utsjoki – ilmestyi vuonna 1965 (Meriläinen 1965).

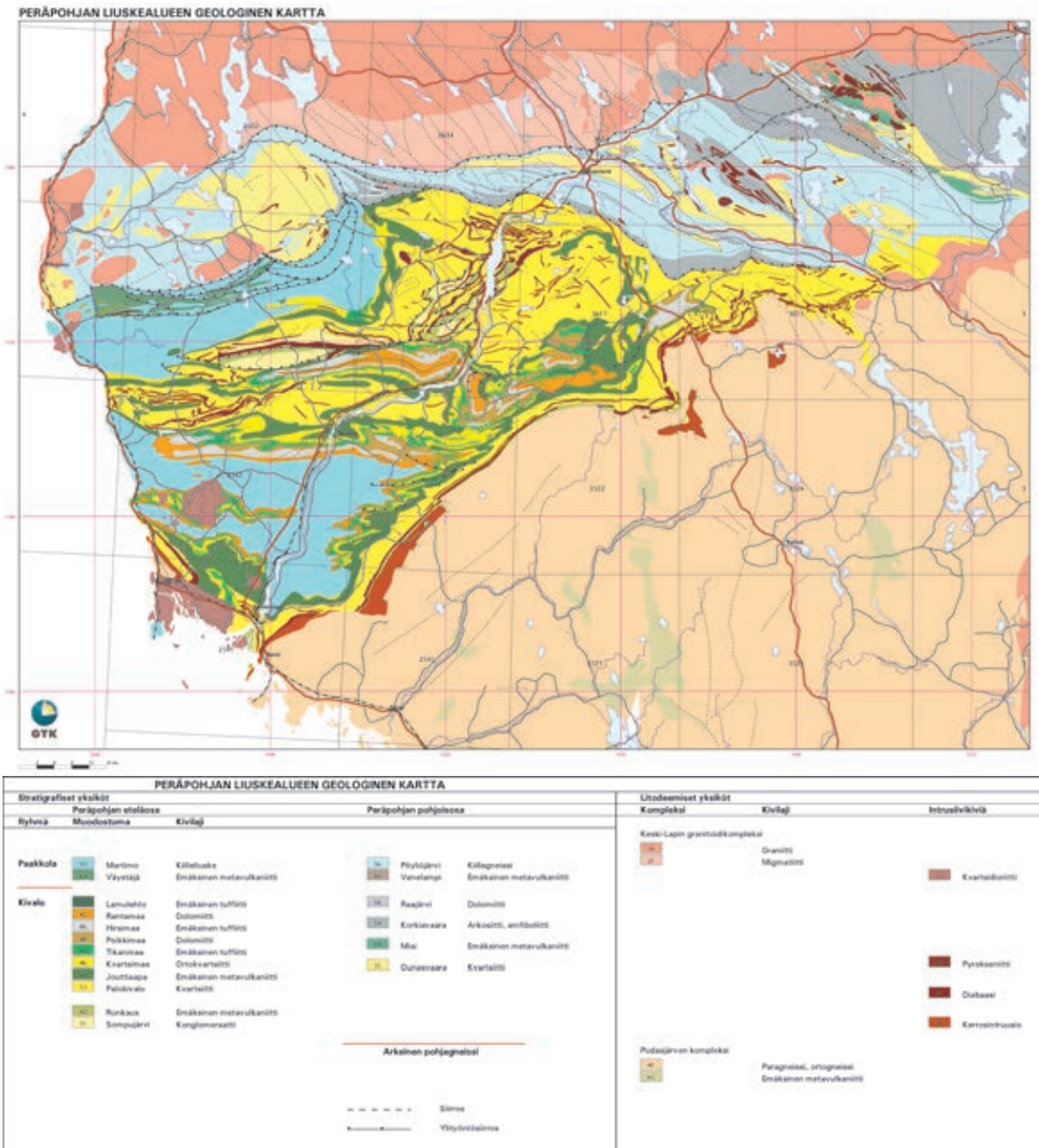
Yksityiskohtaisemman geologisen tiedon tarpeen lisääntyessä Geologinen tutkimuslaitos aloitti suurempimittakaavaisten kallioperäkarttojen tuotannon. Karttojen mittakaavana on 1:100 000. Kuten aiemmissakin karttaversioissa, geologiset muodostumat ja kerrostumat on kuvattu kartoilla eri värisävyin ja karttamerkein. Näihinkin karttoihin liittyy seikkaperäinen selityskirja. Näitä karttoja on tuotettu Pohjois-Suomen alueelta 36 kappaletta. Viimeisimmät kartat ja selitykset on julkaistu digitaalisina tulosteina ja verkkoversioina. Tämän karttasarjan päivittäminen on päättynyt.

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) karttasarjojen lisäksi Pohjois-Suomen alue sisältyy moneen, kansainvälisenä yhteistyönä syntyneeseen karttaan. Pohjoismaiden ministerineuvoston aloitteesta toteutettiin Suomen, Norjan, Ruotsin ja Grönlannin geologisten tutkimuslaitosten yhteistyönä Pohjoiskalottiprojekti, jonka tehtävänä oli yhdistellä Fennoskandian manneralueen pohjoisosan (66. leveysasteen pohjoispuolisen alueen)

geologiset, geofysikaaliset ja geokemialliset kartta-aineistot yhtenäisiksi kartoiksi. Yhtenäisten karttojen tuottaminen geologisista ja geofysikaalisista aineistoista oli vaativa tehtävä, koska aineistojen keruu- ja käsittelytavoissa oli kansallisia erityispiirteitä. Pohjoiskalottiprojekti toimi 1980-luvun alkupuolella ja sen tuloksena syntyneessä 1:1 000 000-mittakaavaisessa geologisessa karttasarjassa on kuvattu Norjan, Ruotsin ja Suomen alue (Nordkalott Project 1987). Geologisella kartalla stratigrafiset yksiköt on luokiteltu superryhmiin ja ryhmiin, ja kartan selityskaistassa on kuvattu pääasiallinen kivilaji.

GTK tutki vuosina 1984-1989 Kauppa- ja teollisuusministeriön erillishoituksella Pohjois-Suomen vulkaanisia muodostumia. Rahoituksen avulla voitiin tehostaa kairausta ja muuta näytteenottoa sekä analysoida kemiallisesti näin saatua näytemateriaalia. Lapin vulkaniittiprojekti julkaisi kaksi 1:200 000-mittakaavaista raporttia ja kallioperäkarttaa Pohjois-Suomen alueelta (Lehtonen ym. 1984, 1985b, 1989, Lehtonen 1989). Lisäksi projekti julkaisi tutkimusraportteja, joissa käsiteltiin vulkaanisten muodostumien stratigrafiaa ja kemiallista koostumusta (Honkamo 1989, Kesola 1991, Perttunen 1989). Vulkaniittiprojektin aineiston pohjalta uusilla maastohavainnoilla täydennettynä on myös laadittu tarkempia karttoja esimerkiksi Keski-Lapista ja Peräpohjan liuskejaksolta (kuva 2).

GTK:n lisäksi Pohjois-Suomen kallioperää kartoittivat muun muassa malminetsintäyhtiöt, varsinkin Outokumpu Oy ja Rautaruukki Oy sekä niiden yhdessä muodostama tutki-



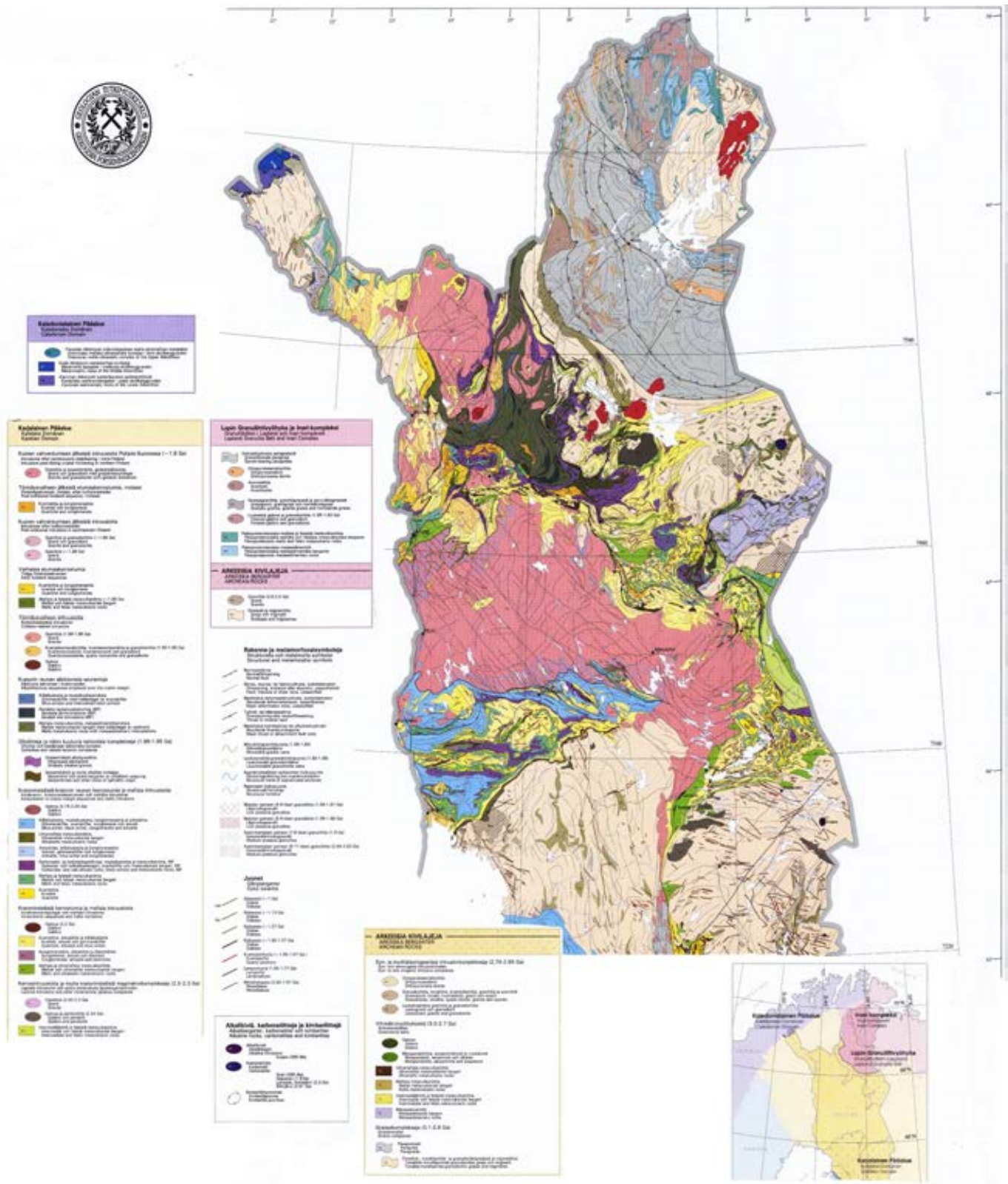
Kuva 2. Lapin vulkaniittiprojektin kartta-aineistosta tulostettu kivilajikartta Peräpohjan liuskejak-solta. Kallioperäkartta © GTK, maastotiedot © Maanmittauslaitos.

Fig.2. Geological map of the Peräpohja Schist Belt based on the Lapland Volcanite Project data. Geological map © GTK, basemap © National Land Survey of Finland.

musyksikkö Lapin Malmi. GTK laati yhdessä Lapin Malmin kanssa Keski-Lapin alueen kallioperägeologisen assosiaatiokartan (Lehtonen ym. 1985a). Assosiaatiot nimettiin pääkivilajin mukaan, ja kartassa siis kuvattiin samalla kerralla yleistettynä alueen litologia ja stratigrafia. Myöhemmin 1990-luvun lopulla

GTK julkaisi koostekartan 1:1 000 000 -mittakaavassa, jossa oli hyödynnetty laajasti aiemmin tuotettua kartoitusaineistoa (Korsman ym. 1997). Kuvaan 3 on rajattu kyseiseltä kartalta Pohjois-Suomen osa.

Pohjois-Suomessa toimi 1980-luvulla kauppa- ja teollisuusministeriön



Kuva 3. Pohjois-Suomen 1:1 000 000 -mittakaavainen kallioperäkartta vuodelta 1997 (lähteenä Korsman ym. 1997)
 Fig. 3. Geological map of northern Finland in the scale 1:1,000 000 from 1997 (after Korsman et al. 1997).

rahoittamana kotimaisten yliopistojen geologisia projekteja kuten Lapin nikkeliprojekti (Turun yliopisto) ja Lapin rautamalmiprojekti (Åbo Akademi). Alueella työskenteli myös jokunen hollantilaisen, ranskalaisen ja skotlantilaisen yliopiston tutkimusryhmä. Julkaisujen ja raporttien geologista tietoa on käsitelty ja koottu yhteen useassa vaiheessa. Rautaruukki Oy:n RAETSU-projektissa laadittiin 1980-luvulla koko Suomea koskeva rautamalmien etsintäkohdekartta ja laaja selityskirja.

Kaikkien eri organisaatioiden kokoamaa geologista tietoa on jatkuvasti kerätty ja tallennettu GTK:n ylläpitämiin tietovarastoihin. Tietovarastojen käyttökelpoisuutta on lisännyt ATK-laitteistojen, tietokoneohjelmistojen ja tallennuskapasiteetin nopea kehitys. Tietovarastoihin kootuista kallioperähavainnoista ja -analyysitiedoista voidaan tulostaa eri mittakaavoissa geologisia karttoja.

Menetelmät

Kallioperäkartat ovat perinteisesti perustuneet maastotutkimuksiin. Kallio-paljastumista on maastossa havainnoitu kivilajin lisäksi kartoitukselle ja kallioperän geologiselle kehitykselle tärkeitä piirteitä kuten kerrosten, liuskeisuuden ja poimujen suuntia. Pääosa kivilajinäytteistä on irrotettu näkyvissä olevista kalliosta. Tieto paljastumien ulkopuolelta on saatu poistamalla kallioperän päällä olevia irtomaakerroksia sekä kaivamalla kallion pintaan asti ulottuvia tutkimus-
ojia. Paljastumattomilta alueilta kalliönäytteitä on otettu myös kairaamalla

maakerrosten läpi.

Maastossa havaintopisteet on paikannettu pitkälti 1990-luvulle maastokarttojen avulla, jolloin tarkkuus oli sidoksissa topografisen kartoituksen laatuun. Havaintopisteiden tarkkuus parani olennaisesti GPS-laitteistojen tullessa käyttöön 1990-luvun lopulla. Havaintopisteiden sijainti saadaan määritetyksi jo muutaman metrin tarkkuudella. Viime aikoina havainnot on tallennettu suoraan kentällä maastotallentimiin ja siirretty niistä tietokantoihin. Maastotalentimet ovat huomattavasti tehostaneet maastossa tehtävää työtä. Varsinaisen havainnon tukena olevat tausta-aineistot – maastokartta, geofysiikka, geokemia, ilmakuvat – ovat jo havaintopaikalla käytettävissä.

Kallioperästä irrotetuista kivilajinäytteistä on perinteisesti selvitetty mikroskooppitutkimuksin mineraalikoostumus sekä määritetty kivilaji. Kivilajinmäärittämisessä on käytetty myös kemiallisia analyysejä. Tarkkoja kemiallisia analyysejä tarvitaan kivilajien luokitteluun ja geologisen synthyistorian selvittämiseen. Samaten analyyssien avulla voidaan arvioida kivilajin ja alueen malmikriittisyyttä. Myös kemialliset analyysimenetelmät ovat kehittyneet suunnattomasti. Analysoitavien alkuaineiden luettelo on kasvanut, ja varsinkin hivenaineiden analyyssien tarkkuus parantunut. Automaattisten analysointimenetelmien avulla analysoitujen näytteiden määrää on voitu kasvattaa. Kun 1960- ja vielä 1970-luvullakin GTK:n kemian osasto analysoi muutamasta kymmenestä kivilajinäytteestä käsityönä perinteisillä liuotus-saostus-punnitusmenetelmällä kymmenen pääalkuainetta, on esimerkiksi edellä mainitun Lapin

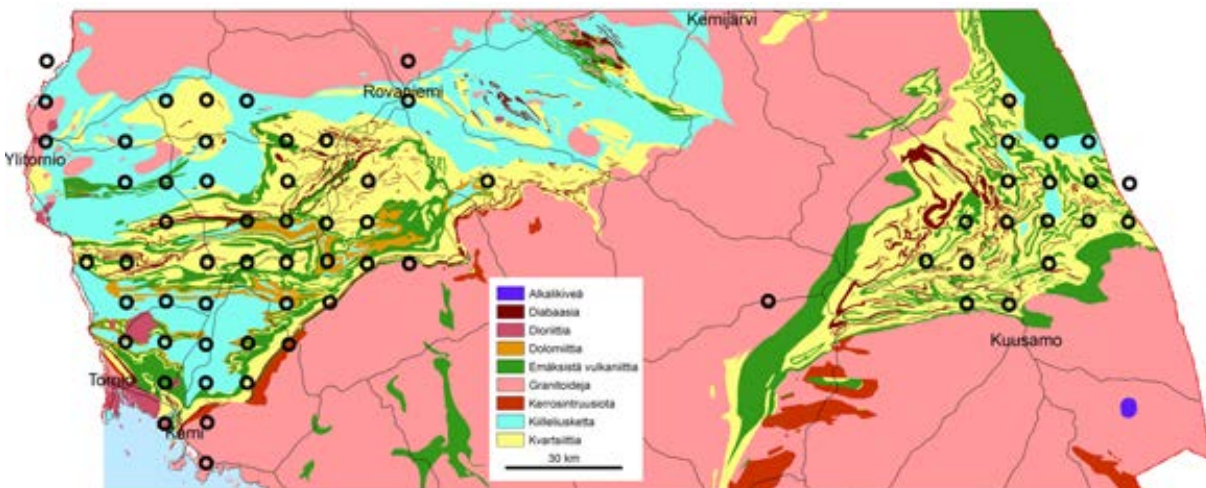
Vulkaniittiprojektin analysoitujen näytteiden lukumäärä lähes 10 000. Kaikista näistä näytteistä analysoitiin INAA- ja XRF-menetelmillä pääalkuaineiden lisäksi yli 20 hivenalkuainetta sekä osasta näytteistä myös lantanidien pitoisuudet.

Uusilla menetelmillä myös alkuaineiden isotooppien tarkempi analysointi on tullut mahdolliseksi. Radiometrisissä ajoituksissa on esimerkiksi uraani-lyijymenetelmässä analysoitujen zirkoni-näytteiden kokoa voitu pienentää sadoista milligrammoista milligrammoihin, jopa yhteen ainoaan, lähes mikroskooppiseen rakeeseen. Tällaisen pienen rakeen eri osista voidaan määrittää tarvittavat alkuaineet ja isotoopit ja sitä kautta mineraalirakeen ja kivilajinkin syntyikä ja geologinen historia.

Laajempien alueiden kallioperägeologisen karttakuvan ja kehityksen selvittämiseksi ovat osoittautuneet tärkeiksi lentokoneista suoritettut, 1950-luvulla alkaneet geofysikaaliset mittaukset. Vuonna 1997 saatiin valmiiksi koko Suomen

kattava aerogeofysikaalinen aineisto, josta saadaan nykyajan laitteistoilla ja ohjelmistoilla monipuolisia, havainnollisia tulosteita. Kaikesta geologisesta, geokemiallisesta ja geofysikaalisesta materiaalista voidaan yhdistämällä laatia karttoja ja malleja, joissa selviää kallioperän synty ja geologinen kehitys. Kallioperätietoa voidaan soveltaa laajasti myös muille tieteen aloille. Kuvassa 2 on Peräpohjan liuskejaksolta kivilajikartta, jota voidaan verrata esimerkiksi kuvaan 4, jossa on kuvattu peruskarttalehdittäin vaateliaan kämmekkäkasvin neidonkengän (*Calypso bulbosa*) kasvualueet. Kallioperällä ja neidonkengän levinneisyydellä on ilmeinen yhteys.

Kallioperäkartat ovat perinteisesti olleet lähinnä kivilajikarttoja. Niissä siis erottuvat eri kivilajien muodostamat alueet (kuva 2). Kartoilla ja niiden selityksissä voidaan kuvata myös kivilajien ja kivilajiyksiköiden suhteellinen ikä ja stratigrafia (esim. Silvennoinen 1980). Suomen kallioperän geologisten yksiköiden luokittelu on haasta-



Kuva 4. Helsingin yliopiston kasvimuseon Kasviatlastesta (Lampinen & Lahti 2011) muokattu neidonkengän (*Calypso bulbosa*) karttalehtikohtainen levinneisyys kallioperäkartalla esitettynä. Kallioperäkartta © GTK, maastotiedot © Maanmittauslaitos.

Fig. 4. Distribution of *calypso* (*Calypso bulbosa*) in different map sheet after the Kasviatlas (Lampinen & Lahti 2011). Geological map on the background. Geological map © GTK, basemap © National Land Survey of Finland.



Kuva 5. Geologiryhmä tutustumassa Ounasvaaran kallioperään ja siinä havaittuun kvartsijuoneen. Kuva V. Perttunen.

Fig. 5. A group of geologists looking for the quartz vein during a field excursion in the Ounasvaara Hill, in Rovaniemi. Photo. V. Perttunen.

vaa, sillä voimakkaasti deformatuneilla prekambrialueilla esiintyy monimuotoisia metamorfisten ja plutonisten kivien assosiaatioita. Systemaattisesti kartoitetun alueen laajetessa voidaan paremmin verrata ja korreloida eri puolella maata sijaitsevia geologisia muodostumia ja yksiköitä. Laajemman geologisen kuvan ja korreloinnin saamiseksi on perinteisesti järjestetty eri alueille suppeamman tai laajemman ryhmän ekskursionia (kuva 5).

Havaintomateriaalia on tallennettu tietokantoihin ja ajanmukaisimmista saatavilla olevista kartta-aineistoista on laadittu ja päivitetään digitaalista geologista karttaa. GTK:n verkkosivuilla on karttatietokanta Suomen kallioperästä sekä eri yksiköiden keskinäinen hierarkkinen litostratigrafinen tai litodeeminen

luokittelu. Atk-laitteistojen kehityksen mukana on geologisten karttojen asema muuttumassa. Karttoja ei niinkään paineta, vaan käytetään tarvittavia tulosteita. Tarvittava alue ja mittakaava voidaan valita sopivaksi. Kuhunkin karttatulosteeseen voidaan tietokannoista valita kartoille juuri sillä hetkellä kiinnostava geologinen tieto.

Kirjallisuus

Enkovaara, A., Härme, M. & Väyrynen, H. 1952. Oulu-Tornio. Kivilajikartta 1:400 000, B5-C5.

Enkovaara, A., Härme, M. & Väyrynen, H. 1953. Oulu-Tornio. Kivilajikartan selitys 1:400 000, B5-C5.

153 s.

Hackman, V. & Wilkman, W.W. 1925. Kuolajärvi. Kivilajikartta 1:400 000, D6.

Hackman, V. & Wilkman, W.W. 1929. Kuolajärvi. Kivilajikartan selitys 1:400 000, D6. 142 s.

Honkamo, M. 1989. Pohjois-Pohjanmaan vulkaniitit - Volcanic rocks in Ostrobothnia. Geologian tutkimuskeskus - Geological Survey of Finland, Tutkimusraportti 89.

Kesola, R. 1991. Taka-Lapin meta-vulkaniitit ja niiden geologinen ympäristö, Lapin vulkaniittiprojektin raportti 107. Summary: Metavolcanic and associated rocks in the northernmost Lapland area, Finland: A report of the Lapland Volcanite Project.

Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. & Pekkala, Y. 1997. Suomen kallioperäkartta 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Lampinen, R. & Lahti, T. 2010. Kasviatlas 2010. Helsingin yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmusseo, Kasvimuseo, Helsinki.

Lehtonen, M., Manninen, T., Rastas, P., Väänänen, J., Roos, S. I. & Pelkonen, R. 1984. Geological map of central Lapland, northern Finland, 1:200 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Lehtonen, M., Manninen, T., Rastas, P., Väänänen, J., Roos, S.I. & Pelkonen, R. 1985a. Keski-Lapin geologisen kartan selitys. Explanation to the geological map of Central Lapland. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 71, 35 s.

Lehtonen, M., Rastas, P. & Räsänen, J. 1989. Keski-Lapin vulkaniittitutkimukset. Teoksessa: Tulivuorenkivet

Kolarista Kuusamoon: Lapin vulkaniittiprojektin ekskursion ja esitelmäseminaari 5.-10.6.1989. Geologian tutkimuskeskus, Opas 23.

Lehtonen, M., Rastas, P. & Väänänen, J. 1985b. Geological map of western Lapland, northern Finland, 1:200 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Lehtonen, M. I. 1989. The Lapland Volcanite Project - Geological map of Central Lapland, 1:200 000. Geologian tutkimuskeskus, Special Paper 10, 19-21.

Matisto, A. 1959. Enontekiö. Kivilajikartta 1:400 000, B8.

Matisto, A. 1969. Enontekiö. Kivilajikartan selitys 1:400 000, B8. 78 p.

Meriläinen, K. 1965. Inari - Utsjoki. Kivilajikartta 1:400 000, C8-9.

Mikkola, E. 1935. Sodankylä. Kivilajikartta 1:400 000, C7.

Mikkola, E. 1936a. Muonio. Kivilajikartta 1:400 000, B7.

Mikkola, E. 1936b. Tuntsajoki. Kivilajikartta 1:400 000, D7.

Mikkola, E. 1941. Muonio-Sodankylä-Tuntsajoki. Kivilajikartan selitys 1:400 000, B7-C7-D7.

Nordkalott Project 1987. Geological map, pre-Quaternary rocks, northern Fennoscandia 1:1 000 000. Geological Survey of Finland, Geological Survey of Norway, Geological Survey of Sweden.

Perttunen, V. 1989. Perä-Pohjan alueen vulkaniitit: Lapin vulkaniittiprojektin raportti. Geologian tutkimuskeskus - Geological Survey of Finland, Tutkimusraportti 92.

Sederholm, J. J. 1899. Vuoriperä. Suomen Kartasto 1899. Karte N:o 3. S. 1-16.

Sederholm, J.J. 1932. On the geology

of Fennoscandia with special reference to the pre Cambrian. Bull. Comm. géol. Finlande 98, 30 s.

Silvennoinen, A. 1980. Jatulian geology in the Eastern part of the Baltic Shield. Proceedings of a Finnish-So-

Maaperäkartoitus

Peter Johansson

Maaperäksi kutsutaan kallioperää verhoavaa irtomaapeitettä, joka sisältää erilaisten geologisten prosessien tuloksena syntyneitä maalajeja. Maaperäkartoituksella kerätään tietoa maalajeista sekä niiden sisältämistä raaka-ainevaroista. Maaperä ja siitä kasaantuneet maaperägeologiset muodostumat ovat syntyneet maapallon nuorimman kauden eli kvartaarikauden aikana. Se alkoi runsaat kaksi miljoonaa vuotta sitten maapallon ilmaston huomattavana viilene misenä, minkä vuoksi sitä kutsutaan myös jääkausiajaksi. Suomi oli kvartaari kaudella useita kertoja mannerjäätikön peittämä. Maaperä koostuu kallioperästä rapautumisen sekä mannerjäätikön, virtaavan veden ja tuulen aiheuttaman kulutuksen, kuljetuksen ja kerrostavan toiminnan tuloksena syntyneistä kivennäismaalajeista. Moreeni, sora, hiekka ja hieta ovat karkearakeisia kivennäismaalajeja. Hienorakeiset maalajit, kuten hiesu ja savi kerrostuivat vesistöjen pohjiin. Maaperäkartoituksessa kerätään tietoa myös jäätiköitymisen jälkeen eloperäisistä aineksista syntyneistä maalajeista, joita ovat turve ja lieju. Lisäksi kerätään tietoa maaperään olennaisesti liittyvästä pohjavedestä ja sen esiintymisestä.

Maaperäkartoituksen historiaa ja vanhimmat karttasarjat

Maaperäkartoitus alkoi Etelä-Suomessa jo 1800-luvun puolella, jolloin tehtiin 1:200 000-mittakaavaisia maa- ja kallioperäkarttojen yhdistelmiä. Niiden tuotanto jatkui vuosisadan vaihteeseen asti, jolloin Rauma – Lappeenranta linjan eteläpuolinen alue saatiin kartoitetuksi. Vuosisadan vaihteen jälkeen, 1900-luvun alussa, maaperäkartoitusta jatkettiin kohti pohjoista 1:400 000-mittakaavassa tuottaen erillisiä maalajikarttoja. Puolen vuosisadan aikana valmistui yhteensä yhdeksän maalajikarttalehteä Oulun eteläpuoliselta alueelta. Tässä vaiheessa Pohjois-Suomesta ei ollut vielä käytössä minkäänlaisia painettuja maaperäkartoja. Työhön ryhdyttiin 1960-luvun alussa ja siitä vastasi Geologinen tutkimuslaitos. Ensimmäiset 1:400 000-mittakaavaiset kartat valmistuivat Kittilän – Sodankylän alueelta vuosina 1964 ja 1966. Keski-Lappia pidettiin malminetsinnän kannalta tärkeimpänä alueena, josta tarvittiin myös maaperätietoa. Yleiskartoitusta jatkettiin kahden vuosikymmenen ajan. Kun vuonna 1986 Kemin karttalehti valmistui, oli koko Pohjois-Suomen maaperä ja sen muo-

dostumat Oulusta pohjoiseen ensi keran kartoitettu yleiskartan mittakaavassa (Johansson & Kujansuu 2005).

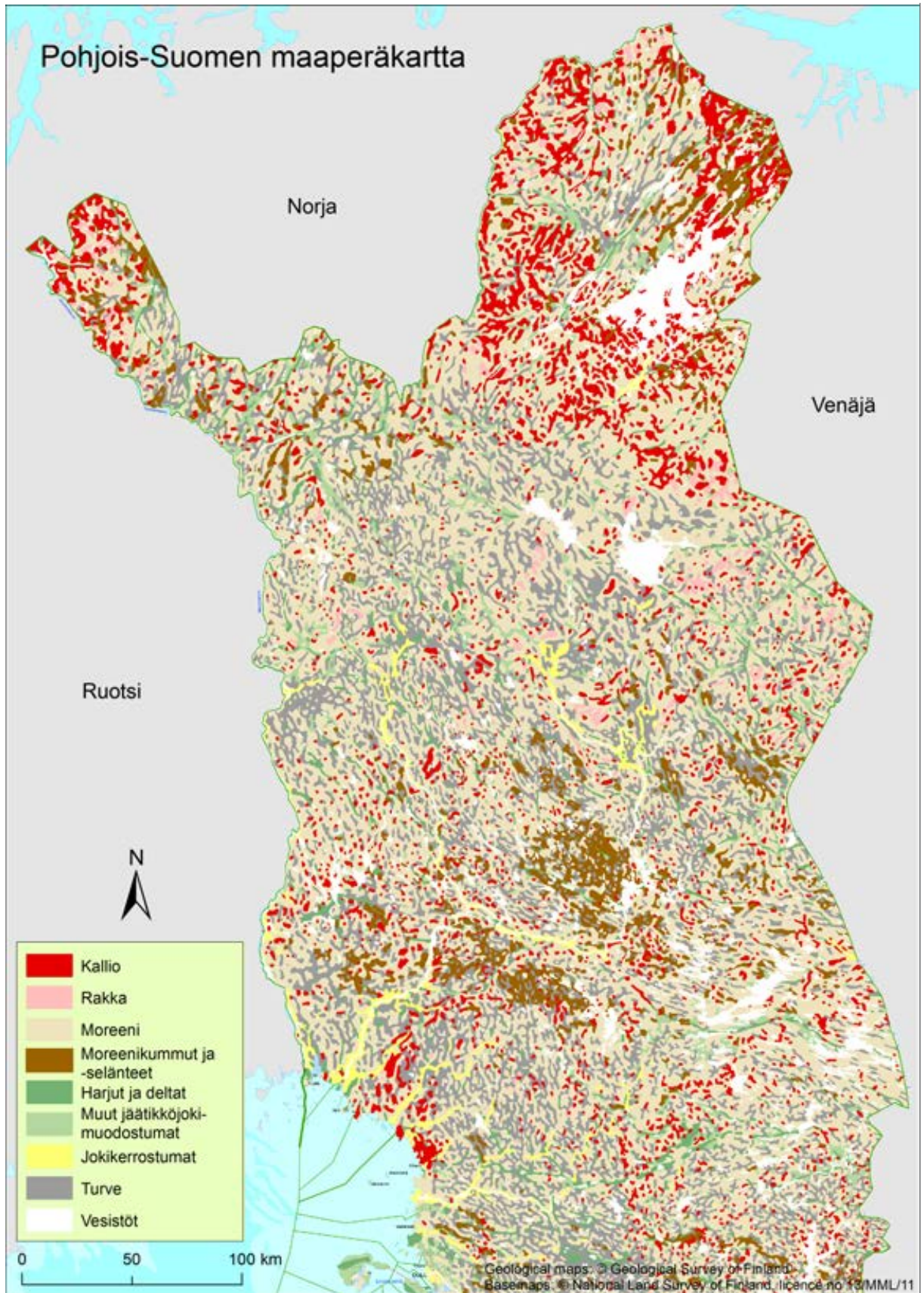
Sotien jälkeen maamme alkoi teollistua nopeasti. Rakennustoiminta vilkastui ja samalla kasvoi tarve yhä yksityiskohtaisemmalle maaperätiedolle. Vuonna 1946 Geologiseen tutkimuslaitokseen perustettu maaperäosasto aloitti 1:100 000-mittakaavaisten maaperäkarttojen ja niiden selityskirjojen tuotannon. Seuraavien vuosikymmenten aikana valmistui 77 painettua karttaa. Työ keskittyi Etelä- ja Keski-Suomeen. Pohjois-Suomesta ilmestyi kaksi 1:100 000-mittakaavaista maaperäkarttalehteä selityskirjoineen: Vuotson karttalehti vuonna 1969 ja Rovaniemen karttalehti vuonna 1975. Geologisten karttasarjojen lisäksi valmistui 1:1 000 000-mittakaavainen Pohjois-Suomen maaperäkartta (Hyypä & Penttilä 1961), kartat Suomen soista sekä sora- ja hiekaesiintymistä. Nämä erikoiskartat sekä painetut maaperäkartat olivat hyvänä pohja-aineistona valmisteltaessa koko maan kattavaa 1:1 000 000-mittakaavaista Suomen maaperäkarttaa, jota myös ”miljoonakartaksi” kutsutaan (Niemelä 1979, Kujansuu & Niemelä 1984). Siinä maaperä ja sen muodostumat kuvataan värein ja symbolein syntyvän mukaan (kuva 6). Kartta liitettiin myöhemmin Suomen Kartaston 5. laitoksen vihkoon 123-126: Geologia (Alalammi 1992). Samaa aineistoa käytettiin myös vuonna 1993 ilmestyneissä, Suomen ja Venäjän Federaation luoteisosan maaperä ja sen raaka-ainevarat 1:1 000 000-kartoissa (Niemelä ym. 1993). Kahdessa karttalehdessä esitetään maaperän muodostumien ja kerrostumien ohella tärkeim-

mät maa-ainesten hyödyntämiskohteet ja käyttökelpoisuus.

Pohjoiskalotti-projektin työn tuloksena 1980-luvun lopussa syntyi Suomen, Ruotsin ja Norjan geologisten tutkimuskeskusten yhteistyönä neljä erityyppistä, 1:1 000 000-mittakaavaista maaperägeologista karttaa (Nordkalott Project 1986 ja 1987). Kartoissa on esitettyinä maaperän maalajien ja jäätikön synnyttämien maanpinnanmuotojen lisäksi myös jäätikön virtaustiedot sekä maaperän kerrosjärjestys. Samat teemat toistuivat myös kolmessa Mid-Norden-projektin maaperäkartassa, jotka julkaistiin Pohjoiskalottiprojektin eteläpuoliselta alueelta 1990-luvun lopussa (Bargel ym. 1999).

Maaperän peruskartoitus osana peruskartan uusimista

Maankäytön suunnittelu ja rakentaminen alkoivat vaatia yhä tarkempia tietoja maaperästä ja sen ominaisuuksista 1960-luvun lopulla. Maanmittaushallituksen aloitteesta käynnistettiin vuonna 1972 neuvottelut Geologisen tutkimuslaitoksen ja Maatalouden tutkimuskeskuksen kanssa maaperän peruskartoituksesta mittakaavassa 1:20 000. Työn toteutus suunniteltiin samaan aikaan tapahtuneen peruskartan uusimisen yhteyteen. Keski- ja Pohjois-Lapin kartoissa mittakaavaksi valittiin 1:50 000. Pohjois-Suomessa yhteistyökumppanina maastotiedon keruussa oli Puolustusvoimien Topografikunta, joka samaan aikaan uudisti maamme pohjoisimpien osien 1:50 000-mittakaavaisia topografikarttoja. Maaperäkartoitus tehtiin pääosin Geologisen tutkimuslai-



Kuva 6. Maaperän 1:1 000 000-mittakaavainen maaperäkartta Pohjois-Suomesta.

Fig. 6. Map of Quaternary deposits of northern Finland, scale 1:1 000,000.

toksen omana työnä. 1:20 000-mittakaavaiset maaperäkartat painettiin kahtena eri tyyppinä: joko A-tyyppinä eli monivärisinä karttoina peruskartta-aineiston päälle, jolloin kutakin maalajia vastasi oma väri tai B-tyyppinä, jossa maalajien rajat painettiin peruskartan päälle yksivärisenä ja maalajitiedot kirjainlyhenteinä. 1:50 000 maaperäkartat tuotettiin kaikki monivärisinä. Maaperäkarttatuotannon puitesuunnitelman alkuperäisenä tavoitteena oli saada koko maa kartoitetuksi vuoteen 2015 mennessä. Hitaimmankin vaihtoehdon mukaan työn suunniteltiin valmistuvan vuoteen 2036 mennessä.

Maaperäkartoituksen hyvin alkanut yhteistyö väheni asteittain 1990-luvun alussa. Maanmittauslaitos supisti maaperäkartoituksen määrärahoja. Yhteistyö päättyi vuoden 1995 lopussa, jolloin Suomesta oli peruskarttamittakaavaan ehditty kartoittaa vasta kolmannes. Työ siirtyi Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) vastuulle. Kartoitukseen osallistunut henkilöstö supistui merkittävästi. Karttatuotannossa tapahtui myös samaan aikaan muutoksia, jotka sitoivat resursseja muihin tehtäviin. Painetuista kartoista siirryttiin karttatie-dostoista työstettyihin digitaalisiin tulosteisiin. Maaperän peruskartoitusta jatkettiin vuoteen 2008 saakka 1:20 000 (1:50 000) -mittakaavaisen karttalehtijaon mukaisesti.

Maamme maaperästä on kartoitettu tällä hetkellä 40 % mittakaavaan 1:20 000 tai 1:50 000. Pohjois-Suomessa vastaava luku on alle 20 %. 1:20 000-mittakaavaisia maaperäkarttoja on valmistunut Oulun pohjoispuoliselta alueelta 98 karttalehteä, pääasiassa suurimmis-

ta taajamista, tiheään asutuista jokilaaksoista sekä Perämeren rannikolta. 1:50 000-mittakaavaisia maaperäkarttoja on julkaistu 17 kappaletta Ivalon ympäristöstä ja Saariselältä sekä Kittilän – Muonion matkailu- ja retkeilyalueilta. Kartoissa on mukana alueen geologisista muodostumista ja kerrostumista kertova karttalehtiselitys. Painetuissa kartoissa se on lehden kääntöpuolella. Karttatie-dostoista tehdyissä tulosteissa selitykset on julkaistu erillisinä vihkosina.

Maaperätiedon keruu ja kartoitustyön kulku

Työ maastotiedon keruusta valmiiksi kartaksi kestää vähintään kaksi vuotta. Se sisältää useita työvaiheita. Kartoitus aloitetaan keräämällä ja analysoimalla olemassa olevat tietoaineistot, kuten kartta-aineistot, ilmakuvat, julkaisut ja tutkimukset. Niiden ja ilmakuvatulkinnan avulla tehdään tulkintakartta, johon merkitään tulevien maastotarkastusten kohteet. Maastotarkastukset tehdään kesällä kävellen. Maalajit tunnistetaan maastossa, ja tarvittavat näytteet otetaan lapiolla tai metrin mittaisella kairalla. Maalajihavaintojen ja maastossa jatkettun tulkinnan perusteella rajataan maalajien ja maaperämuodostumien kuviot.

Vuodesta 2006 maaperätiedon keruussa ja kartan teossa on käytetty maastotietokoneita (kuva 7). Niihin tallennettujen tausta-aineistojen, kuten ilmakuvien, korkeusmallien ja geofysikaalisten aineistojen hyödyntäminen sekä satelliittipaikannusjärjestelmät ovat tuoneet lisää mahdollisuuksia geologisen tiedon keruuseen, varastointiin ja hallintaan.

Maastossa vaikeasti tunnistettavista maalajeista otetaan näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Tiedonkeruussa noudatetaan rakennusteknistä (RT) maalajiluokitusta, mikä vastaa maa- ja metsätaloudessa käytettävää maalajiluokitusta (Aaltonen ym. 1949). Karttojen merkkienselityksessä se on rinnastettu myös GEO-luokitukseen (Korhonen & Gardemeister 1970), joka soveltuu erityisesti maaperän rakennettavuusluokitukseen. Luokituksia on osittain mukautettu kartoituksen tarpeisiin. Suurimmat poikkeamat ovat moreeni-maalajeilla, joissa pääpaino kiinnitettiin

aineksen routivuuteen. Maalajikuvauksen ohella kirjaintunnuksin on eroteltu syntyvaltaan erityyppisiä moreeni- ja jäätikköjokimuodostumia sekä omilla merkeillään muita kulutus- ja kerrostumismuotoja, kuten uurteita, uomia, dyynejä ja muinaisrantoja. Maaperätiedon keruun tueksi sekä maapeitteen paksuuden ja laadun tarkentamiseksi tehdään näytteenottokairauksia sekä maatutkaluotauksia. Pohjavesi- ja turvetutkimukset täydentävät maastotöiden jälkeen viimeisteltävää maaperäkartan tietosisältöä.



Kuva 7. Nykyaikaisessa maaperäkartoituksessa hyödynnetään maastotietokoneita havaintojen ja sijaintitiedon tallentamiseen. Kuvassa sulfaattimaiden kartoitusta Tervolassa käyttäen näytteenottokairaa ja kenttämittareita. Kuva P. Johansson.

Fig. 7. Field computers are widely used in present day mapping for storing observation and its location. Mapping of acid sulfate soils is done with a sampler and a field analyzer shown in the photo. Photo P. Johansson.

Maaperän yleiskartta 1:200 000 kattaa koko maan

Maaperän yleiskarttahanke tähtää valtakunnallisen digitaalisen maaperäkarttatietokannan ja -aineiston tekemiseen. Hankkeessa tuotetaan numeeriset maalajikuviot ja niihin liittyvää ominaisuus- ja laatutietoa tulkitsemalla, muokkaamalla ja yleistämällä etupäässä olemassa olevia aineistoja käyttäen paikkatieto- eli GIS-ohjelmistoa ja kuvankäsittelytekniikkaa. Aineistoa täydennetään maastotarkastuksilla. Digitaalisesta karttatietokannasta tuotetaan muun muassa 1:200 000 / 1:250 000-mittakaavainen valtakunnallinen maaperäkartta. Tiedonkeruussa huomioidaan kartan käyttäjien ja sidosryhmien tarpeet siten, että tietokannasta voidaan tuottaa erilaisia teemakarttoja. Ensimmäinen tuotantovaihe maalajikuvauksineen valmistui vuonna 2010. Toinen vaihe alkoi vuonna 2012 ja siinä kerätään tietoa muun muassa maaperämuodostumista.

Maa-ainesten kartoituksissa ja tutkimuksissa selvitetään käyttökelpoisten maalajien laatua ja riittävyttä käyttäjien tarpeiden sekä kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti. Maa-ainestietokanta sisältää tiedot yli 20 000 sora- ja hiekkaesiintymästä. Eteläisen Lapin taajamien ohella kaivokset ja matkailukeskukset ovat merkittäviä maa- ja kiviainesten kulutusalueita. Perusinventoinnin tietoja on täydennetty Oulun ympäristössä ja Lounais-Lapissa alueellisten pohjaveden suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamisprojektien (POSKI-projektit) yhteydessä. Pohjavesitutkimuksissa kaivoista, porakaivoista ja lähteistä kerätyt vesinäyt-

teet analysoidaan osaksi maastossa ja osaksi laboratorioissa. Tulokset tallennetaan pohjavesitietokantaan. Siinä on tällä hetkellä tiedot yli 20 000 kemiallisesta analyysistä. Turvealueiden kartoituksessa ja inventoinnissa osoitetaan turvetuotantoon soveltuvat alueet. Turvetietojärjestelmä sisältää tietoja soiden turvemääristä, laadusta sekä fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Tiedostossa on tiedot yli 12 000 suosta, joista huomattava osa sijaitsee Pohjois-Suomessa. Lisääntyvä energian tarve, sen saatavuuden turvaaminen ja fossiilisten polttoaineiden hinnan heilahtelut ovat kasvattaneet kotimaisen energian, turpeen kysyntää. Sen käyttö on keskitynyt taajamien kaukolämmön ja suurten teollisuuslaitosten prosessienergian tuottamiseen.

Kartoitustyö muuttuu tilauspohjaiseksi

Maaperäkartoituksesta ja kartoitetuista alueista saa ajankohtaista tietoa GTK:n verkkosivuilta (GTK 2012). Maaperätiedonkeruun ja -kartoituksen tuotteita ovat digitaalinen tietokanta, kartat mittakaavoissa 1:20 000 / 1:50 000, 1:100 000 ja 1:200 000 ja niiden selityskirjat. Omalta tietokoneeltaan voi katsella maaperäkarttoja GTK:n karttapalvelussa. Tämä digitaalinen paikkatietoaineisto on rajaton ja laadullisesti yhtenäinen. Se on koottu verkkojakelua varten peruskarttalehdittäin vuosina 1972-2006 kartoitetusta maaperäaineistosta ja kattaa 1257 karttalehteä ja niiden selitysvihkoja. Se soveltuu keskimittakaavaisesta pienimittakaavaiseseen maankäytön suunnitteluun ja eriateisen kaavoituk-

sen pohja-aineistoksi (Haavisto 1983, Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007).

Yhteiskunnan tietotarpeiden muuttuminen on huomioitu suuntaamalla kartoitusta alueille, joissa maaperätiedolle on voimakkain kysyntä. Työmaat suunnitellaan muun muassa rakentamisen, kaavoituksen, tutkimuksen, maa- ja metsätalouden, vesihuollon, kaivannaisteollisuuden ja ympäristönsuojelun tarpeita ajatellen. Pohjois-Suomessa maaperäkartoitus palvelee varsinkin matkailua, kaivannaisteollisuutta sekä pohjaveden ja maa-ainesten käyttötarvetta. GTK:ssa tehdyn maaperätiedon tarveselvityksen pohjalta maaperätiedon tarvetta on erityisesti matkailualueilla. Maamme tärkeimmistä retkeily- ja matkailualueista on julkaistu 11 geologista retkeilykarttaa (kuva 8), joista kahdeksan on Pohjois-Suomesta. Maa- ja kallioperän perustiedon lisäksi niihin on merkitty erilaisia geologisia retkeilykohteita, kuten luonnonkauniita harjuja, jäätikön sulamisvesien kuluttamia kuruja, pulppuavia lähteitä ja reheviä lettosoita. Retkeilyreittien suunnittelua varten retkeilykarttaan on lisätty alueen palveluvarustus, kuten autiotuvat, merkityt polut, leirintäpaikat, maastopyöräily- ja melontareitit sekä muuta retkeilyyn liittyvää erikoistietoa.

Vanhimmissa geologisissa retkeilykartoissa, Koilliskaira (Johansson & Mäkinen 1994) ja Pallas-Ounastunturi (Johansson 1998) karttaselostus on painettu kartan reunaan. Niiden jälkeen valmistuneissa kartoissa, Kultakaira (Johansson ym. 2000), Lemmenjoki (Johansson ym. 2002), Ylläs-Levi (Johansson ym. 2006), Pyhä-Luosto (Johansson ym. 2007), Syöte (Räisänen ym. 2010) ja

Ruka – Oulanka (Räisänen ym. 2012) on erillinen opaskirja. Opaskirjassa kerrotaan tarkemmin kartalla kuvatun alueen geologisista muodostumista, luonnonnähtävyyksistä sekä pohjoisen maiseman synnystä ja kehityksestä. Kartan ja opaskirjan avulla matkailijan ja retkeilijän on helppo tutustua eri retkeilyalueisiin ja nauttia samalla ympärillä olevasta koskemattomasta luonnosta.

Koko maasta valmistuva yleiskarttamittakaavainen maaperäkartta tulee soveltumaan parhaiten maakuntatason alueelliseen suunnitteluun. Tilaustöissä aluerajaukset ja mittakaava voidaan muokata kartta-aineiston käyttäjän tarpeita vastaavaksi. Numeerisesta maaperäaineistosta on myös mahdollista yhdistellä erilaista paikkatietoa ja tuottaa erilaisia teemakarttoja. Esimerkiksi maaperätietoon voidaan yhdistää digitaalinen korkeusmalli viistovalaistuskuvana ilmentämään korkeussuhteita. Maaperän ja kallioperän rakenteet ruhjeineen näyttävät kolmiulotteisilta, mikä antaa tavallista pintakarttaa havainnollisemman kuvan maastosta.

Happamien sulfaattimaiden kartoituksella etsitään riskialueita

Happamat sulfaattimaat ovat maaperässä esiintyviä rikki-pitoisia maakerrostumia, jotka ovat mustia tai tumman harmaita, epämiellyttävästi rikille tuoksuvia liejuisia hiesuja tai savia. Kun maan pintakerros rikkoontuu esimerkiksi maatalousmaan kuivatuksessa sekä metsä- ja suo-ojituksissa, pohjaveden pinta laskee. Maaperän pH laskee alle 4,5, se muuttuu ruskeanharmaaksi ja sen sisältämät rikkiyhdisteet muuttuvat rikkihapoksi.



Kuva 8. Maamme tärkeimmistä retkeilyalueista on julkaistu 11 geologista retkeilykarttaa ja opaskirjaa. Näistä kahdeksan on Pohjois-Suomesta ja niistä viimeisimpinä on julkaistu Ruka-Oulanka -alueen retkeilykartta vuonna 2012 (kuvan oikeassa reunassa).

Fig. 8. Eleven geological outdoor maps have been published from the most important recreation areas in Finland. Eight of them come from northern Finland. The newest map of Ruka-Oulanka was launched in 2012 (on right side).

Ojissa virtaavat pintavedet happamoituvat. Happamuuden ja rikkipitoisuuden noustessa myös monet metallit, kuten alumiini, kadmium, koboltti, kupari, nikkeli, sinkki ja uraani liukenevat vesiin. Talousveden laatu heikkenee ja ääritapauksessa tapahtuu kalakuolemia.

Vesienhoidon toteutusohjelman ja happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisstrategian mukaisesti GTK osallistuu happamien sulfaattimaiden yleiskartoitukseen. Tietoa kerätään kairaamalla maalajikerrostumia kolmen metrin syvyyteen ja ottamalla niistä näytteitä (kuva 7), jotka analysoidaan laboratoriossa. Kartoitusta tehdään pääasiassa Lounais-Lapissa, sillä happamien sulfaattimaiden on todettu esiintyvän Perämeren rannikolla sekä Kemijoen, Tornionjoen ja Simojoen laaksoissa. Tiedot happamien sulfaattimaiden esiintymisestä ovat tärkeitä maa- ja metsätalouden sekä turvetuo-

tannon suunnittelussa. Maankäytön suunnittelussa ja rakentamisessa happamat sulfaattimaat aiheuttavat rakennus- ja geoteknisiä ongelmia lisäämällä rakenteiden syöpymistä.

Teemakarttoja ja tuotekehitystä yhteiskunnan tarpeita varten

Maaperätietokannasta voidaan tuottaa asiakkaalle karttamuotoisia tiedostoja ja tulosteita peruskarttalehtijaon tai EurefFin-karttalehtijaon mukaan tai määrämuotoisia tulosteita asiakkaan toivomalta alueelta. Tuotekehittelyn tuloksena on syntynyt myös erilaisia maaperägeologisia teemakarttoja, joita voidaan hyödyntää muun muassa raaka-ainehuollossa yhdyskuntasuunnittelussa ja ympäristölupien käsittelyssä. Ne perustuvat GTK:n tietokantojen tietoihin, joita on muokattu ja tulkittu uudelleen ja yhdistetty muuhun paikkatietoon.

Teemakarttoja ovat maaperän ympäristövaikutus- ja imeytyvyyskartat, jotka kuvaavat maapohjan haavoittuvuutta saastumisen tai ympäristöönnettomuuden sattuessa. Maapohjan happamoitumisherkkyysskartat perustuvat maaperän geokemialliseen kartoitukseen. Ne antavat tietoa maaperän kyvystä sietää eri ympäristötekijöistä johtuvaa happamoitumista. Rakennettavuusluokitus- ja routivuuskartat soveltuvat erilaisten rakennuspohjien osoittamiseen. Niissä maaperäkerrostumat ja -muodostumat on jaettu kantavuuden ja routivuuden perusteella erilaisiin luokkiin. Metsänsuunnittelukartat palvelevat puuston inventointia, metsien kasvupaikkaluokittelua sekä niiden moninaiskäytön suunnittelua. Vedenhankintakartta sopii puolestaan taajamien ja haja-asutusalueiden vesihuollon yleissuunnitteluun. Se osoittaa pohjaveden löytymiselle soveliaat alueet. Kun koko geologista tiedonkeruukonseptia vielä kehitetään ottamalla käyttöön laserkeilausaineistot, voidaan tuottaa asiakkaiden tarpeiden mukaan esimerkiksi havainnollisia kolmiulotteisia geologisia karttoja sekä suurimittakaavaisia taajama-alueiden yhdistettyjä maa- ja kallioperäkartoja.

Kirjallisuutta

Aaltonen, V.T., Aarnio, B., Hyyppä, E., Kaitera, P., Keso, L., Kivinen, E., Kokkonen, P., Kotilainen, M.J., Sauramo, M., Tuorila, P. & Vuorinen, J. 1949. Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistus v. 1949. Maataloustieteellinen aikakausikirja 21.

Alalammi, P. (toim.) 1992. Suomen kartasto, Vihko 123-126, Geologia. 5.

Laitos. Maanmittaushallitus ja Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki. 58 s., 3 liitekarttaa, 29 liites.

Bargel, T., Huhta, P., Johansson, P., Lagerbäck, R., Mäkinen, K., Nenonen, K., Olsen, L., Rokoengen, K., Svedlund, J.-O., Väänänen, T. & Wahlroos, J.-E. 1999. Maps of Quaternary geology in central Fennoscandia, sheet 1: Quaternary deposits; sheet 2: Glacial geomorphology and palaeohydrography; sheet 3: Ice-flow indicators, scale 1:1 000 000, and Quaternary stratigraphy, scale 1:2 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland, Trondheim: Geological Survey of Norway, Uppsala: Geological Survey of Sweden.

GTK 2012. Geologian tutkimuskeskuksen verkkosivut. <http://www.gtk.fi>.

Haavisto, M. (toim.) 1983. Maaperäkartan käyttöopas 1:20 000, 1:50 000. Geologinen tutkimuslaitos, Opas 10. Espoo. 80 s.

Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Elektroninen julkaisu, saatavana: www.gtk.fi/export/sites/fi/tietopalvelut/kartat/GTK_maaperakartan_kayttoopas.pdf (Viitattu 4.6.2012)

Hyyppä, E. & Penttilä, S. 1961. Pohjois-Suomen maaperä 1:1 000 000. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo.

Johansson, P. (toim.) 1998. Pallas-Ounastunturi: geologinen retkeilykartta 1:50 000. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi.

Johansson, P., Huhta, P., Nenonen, J. & Hirvasniemi, H. 2000. Kultakaira: geologinen retkeilykartta Ivalojoki – Saariselkä 1:50 000 - Kartta ja opaskirja.

Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi. 44 s.

Johansson, P., Kortelainen, V., Kutvonen, H., Nenonen, J., Ojala, A., Perttunen, V., Räisänen, J., Hirvasniemi, H., Molkoselkä, P., Valkama, J. & Bister, T. 2006. Ylläs-Levi: geologinen retkeilykartta 1:50 000 - Kartta ja opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi. 47 s.

Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.). 2005. Pohjois-Suomen maaperä, maaperäkartojen 1:400 000 selitys. Summary: Quaternary deposits of Northern Finland - Explanation to the maps of Quaternary deposits 1 : 400 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 236 s.

Johansson, P. & Mäkinen, K. 1994. Koilliskaira: geologinen retkeilykartta 1:100 000. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi.

Johansson, P., Nenonen, J., Hirvasniemi, H., Valkama, J., Bister, T., Tranberg, J. & Manninen, T. 2002. Lemmenjoki: geologinen retkeilykartta - Kartta ja opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi. 47 s.

Johansson, P., Ojala, A., Räisänen, J., Räsänen, J., Hirvasniemi, H., Molkoselkä, P., Silén, P. & Valkama, J. 2007. Pyhä-Luosto: geologinen retkeilykartta – Kartta ja opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi, 47 s.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 14, 20 s, 2 liitettä.

Kujansuu, R. & Niemelä, J. (toim.) 1984. Suomen maaperä 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Niemelä, J. (toim.) 1979. Suomen

sora- ja hiekkaesiintymät 1:1 000 000. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo.

Niemelä, J., Ekman, I. & Lukasov, A. (toim.) 1993. Suomen ja Venäjän Federaation luoteisosan maaperä ja sen raaka-ainevarat. Mittakaava 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Nordkalott Projekt 1986. Map of Quaternary geology, Sheet 2: Glacial Geomorphology and Paleohydrography, Northern Fennoscandia, Sheet 3: Ice flow indicators, Northern fennoscandia and Sheet 4. Quaternary Stratigraphy, Northern Fennoscandia. 1:1 000 000.

Nordkalott Project 1987. Map of Quaternary Geology, Sheet 1. Quaternary Deposits, Northern Fennoscandia, 1:1 000 000. Geological Survey of Finland, Geological Survey of Norway, Geological Survey of Sweden, Espoo, Trondheim, Uppsala.

Räisänen, J., Hirvasniemi, H., Johansson, P., Karinen, T., Kupila, J., Lauri, L., Molkoselkä, P., Silén, P., Valkama, J. & Väisänen, U. (kartta) ja Räisänen, J., Johansson, P., Karinen, T., Lauri, L., Sarala, P., Valkama, J. & Väisänen, U. (opaskirja) 2010. Syöte: geologinen retkeilykartta 1:50 000 - Kartta ja opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi. 35 s.

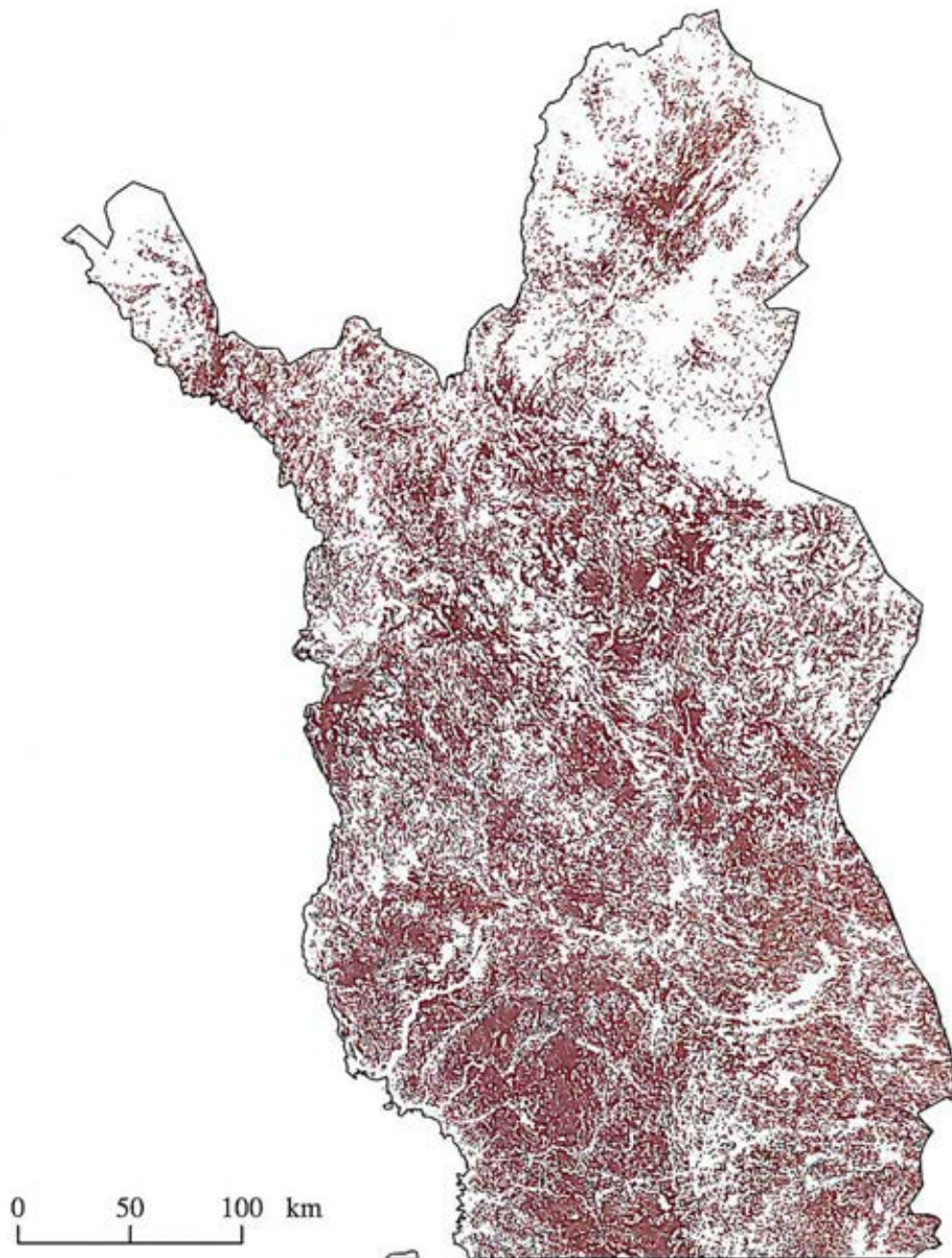
Räisänen, J., Hirvasniemi, H., Johansson, P., Kouri, P., Kejonen, A., Molkoselkä, P., Räsänen, J., Silén, P., Valkama, J. & Väisänen, U. (kartta) ja Räisänen, J., Johansson, P., Kejonen, A., Räsänen, J., Sarala, P., Valkama, J. & Väisänen, U. (opaskirja) 2012. Ruka-Oulanka, geologinen retkeilykartta 1:50 000 - Kartta ja opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi. 51 s.

Soiden kartoitus

Tapio Muurinen

Lapin maakunnan maa-alasta on soiden peitossa yhteensä noin 3,2 milj. hehtaaria eli 35 % (kuva 9). Laskelma perustuu valtakunnan metsien satelliittikuvista tehtyihin arvioihin, jolloin mukana ovat myös ohutturpeiset, niin

sanotut biologiset suot (Sevola 2002). Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) vastaavaan arvioon, joka on tehty mitaamalla suokuviot perus- ja topografikartoilta, kuuluvat niin sanotut geologiset suot (pinta-ala vähintään 20 ha ja



Kuva 9. Pohjois-Suomen turvealueet. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 9. Peatlands in Northern Finland. Source: GTK's database.

Taulukko 1. Lapin geologisten soiden lukumäärä, niiden yhteispinta-ala ja keskikoko kunnittain.

Table 1. Number of geological mires, their total area and mean size of mires by municipality in Lapland.

Kunta	Soita kpl	Koko suoala ha	Soiden keskikoko ha	Suo-% maa-alasta
Enontekiö	542	126965	234	15,6
Inari	842	159375	189	10,5
Kemi	2	65	32	0,8
Kemijärvi	322	62000	193	17
Keminmaa	106	16270	153	26
Kittilä	771	272995	354	33,1
Kolari	234	82680	354	32
Muonio	162	27785	172	16,3
Pelkosenniemi	207	62290	301	33
Pello	308	35235	114	21
Posio	313	62160	199	19
Ranua	494	149680	303	43
Rovaniemi	1122	184115	164	24
Salla	302	91380	303	15,9
Savukoski	478	132260	277	20,9
Simo	210	76560	364	54
Sodankylä	688	335055	488	27,4
Tervola	219	57085	261	36
Tornio	291	38910	132	32
Utsjoki	254	22690	89	4,4
Ylitornio	363	64010	176	31
Yhteensä	8230	2069286		
Keskiarvo			250	22,2

turvepaksuus yli 30 cm). Tällaisia soita on yhteensä 8 230 kpl (taulukko 1). Niiden kokonaispinta-ala on noin 2,1 milj. ha (Lappalainen ym. 1980).

Alueittain soistuneisuus vaihtelee varsin paljon riippuen muun muassa alueen topografiasta, pohjan maalajeista ja sijainnista nykyiseen merenpinnan tasoon. Meri-Lapin rannikkoseudut kuuluvatkin maamme soistuneimpiin alueisiin. Suhteellisesti eniten soita maa-alasta laskettuna on Simossa (54 %), Ranualla (43 %), Tervolassa (36 %), Pelkosenniemellä (33 %) ja Kittilässä (33 %) (Virtanen ym. 2003). Vastaavasti Lapissa on myös vähän soistuneita alueita kuten Tunturi-Lappi. Lapin soiden osuus koko Suomen suoalasta on 40 %.

Soistuneiden alueiden runsaus ei ole suoraan verrannollinen suureen turvemäärään. Pohjanlahden rannikkoseu-

tujen suot ovat niin sanottuja nuoria soita ja siten ohutturpeisia, koska maanpinnan kohoamisen myötä alueet ovat paljastuneet suhteellisen myöhään merestä. Suomen suurimmat suot ovat pinta-alaltaan tuhansien hehtaarien laajuisia ja turvepaksuudeltaan useita metrejä. Niistä valtaosa eli 17 suota 20:sta sijaitsee Lapissa; suurimpana Kolarin Teuravuoma 7 080 ha, ja sijalla 20 Sodankylän Repoaapa 3 550 ha.

Soiden synty

Lapin ja koko pohjoisen havumetsävyöhykkeen soiden syntyä ja kehitystä on säädellyt jääkauden jälkeinen suotuisa, kostea ja viileä ilmasto, jossa sadanta on suurempi kuin haihtuminen. Vanhan ja kuluneen alustan eli penepiaanin loivasti kumpuileva topografia laajoine vaarojen

välisine tasankoineen ja vedenjakaja-alueineen yhdistyneenä vesien hitaaseen liikkeeseen ja pidättäviin maalajeihin on luonut otollisia ympäristöjä suokasvillisuuden kehittymiselle.

Soiden varhaisimmat vaiheet ovat yli 10 500 vuoden takaa, jolloin koko Lapin alue oli vapautunut mannerjäätiköstä. Lapin ilmasto oli aluksi tundramainen, kuiva ja viileä, mutta lämpeni vähitellen boreaalivaiheen aikana muuttuen samalla kosteammaksi. Muinais-Itämeren vaihe, Ancyclusjärvi, peitti suurimman osan Etelä- ja Keski-Lappia, eli alle 220 m nykyisestä merenpinnasta olevat alueet. Maanpinta kohosi kuitenkin ensimmäisen vuosituhaten aikana nopeasti, aluksi jopa 10 cm/v paljastaen uutta maata. Samalla Ancyclusjärvestä kuroutui runsaasti lampia ja järvioltaita.

Itämeren rantaviivan kehitys on säädellyt lähes koko Lapin, kuten muunkin Suomen soiden kehitystä. Vanhimmat suot ja turpeet löytyvät kuitenkin supra-akvaattisilta seuduilta, eli korkeimman rannan yläpuolelta ja entisten jäätikköjärvien pohjilta. Geologisesti nuorimmat suot sijaitsevat Pohjanlahden maankohoamisrannikon tuntumassa. Vanhimpien ja nuorimpien soiden ikäero voi olla yli 10 000 vuotta.

Soistumistapoja voidaan luokitella niiden alkuvaiheiden perusteella. (1) Primäärisellä soistumisella tarkoitetaan prosessia, jossa suokasvillisuus valtaa maan sen paljastuttua joko jäätikön tai veden alta. (2) Metsämaan soistumista tapahtuu metsän tai kivennäismaan muuttuessa vähitellen suoekosysteemiksi vesien liikkeistä johtuen, kuten topografian vaikutuksesta, heikosta imeytymisestä hienojakoiseen maaperään, tai haihdun-

nan alentuessa esimerkiksi metsäpalon jälkeen. Myös kasvavan suon progressiivinen levittäytyminen ympäristönsä metsiin kuuluu tähän ryhmään. (3) Vesistöjen vähittäinen umpeenkasvu on kehityssarja avoimesta vesialtaasta suoksi. Sitä säätelevät niin biologiset kuin mekaaniset tekijät. Turvepaksuuden lisääntyessä rantasoistuma laajenee vähitellen kelluvaksi turvelautaksi, jonka alapinnasta vajoaa kuollutta kasvimassaa, järvi- mutaa, altaan pohjalle. Umpeenkasvua tapahtuu pinnan ja pohjan myötäisesti. Aallokko ja jäätyminen vaikuttavat mekaanisesti. Yleensä soistuminen on ollut eri muotojen yhteistulosta. Myös niiden yleisyydessä suon kehityksen aikana voidaan todeta ajallisia eroavuuksia.

Suotyypit

Nykyinen suotyypijärjestelmä perustuu A. K. Cajanderin 1900-luvun alkupuolella esittämään metsätyyppiteoriaan. Sen mukaan tietylle paikalle syntyy kasvien välisen kilpailun seurauksena kasvivyhdyskuntia, joiden rakenne ja lajisto määräytyvät kasvupaikan primäärinen tekijöiden, kuten maaperän, lämpötilan, kosteusolojen sekä ravinteiden mukaan. Soiden niin sanottu ekohydrologia (ombrotrofia – minerotrofia), eli veden määrällinen, laadullinen ja ajallinen vaihtelu määrittää kasvivyhdyskuntien lajikoostumuksen. Suotyypit ovat siis kasvivyhdyskuntia, jotka rajautuvat toisiinsa välimuotojen kautta. Luokittelu tapahtuu vallitsevien tuntomerkkien mukaan.

Suot ovat käytännön luokituksessa jaettu yleensä kolmeen päätyyppiryhmään, korpiin, rämeisiin ja avosoihin. Avosuot voidaan jakaa edelleen nevoihin ja lettoihin.

1. Korvet ovat ohutturpeisia ja suhteellisen ravinteikkaita soiden reuna-alueita. Mätäskasvillisuus on runsasta. Puusto on yleensä kuusivaltainen. Lehtipuuta kasvaa joukossa, joista koivua on eniten. Sammaliston muodostavat mättäiden seinäsammalet; muualla vaateliaimmat rahka- ja lehtisammalet. Ruohoja on yleisesti, mutta saralajeja on niukasti.

2. Rämeeet ovat karuja ja happamia kasvuympäristöjä. Puusto on usein kituvaa mäntyä. Rahkasammallajisto on niukka, mutta määrällisesti runsas. Muita tyypillisiä lajeja ovat esimerkiksi tupasvilla ja rämevarvut.

3a. Nevat ovat turvepaksuudeltaan ja ravinteisuudeltaan vaihtelevia, yleensä laajoja ja puuttomia avosoita. Märimmät alueet ovat usein rimprien ja jänteiden kuvioimia. Turve on muodostunut sarojen juurihuovastosta ja rahkasammalista. Muita tyypillisiä nevalajeja ovat erilaiset suovillat ja mätäspintojen varvut.

3b. Letot ovat runsasravinteisimpia suotyyppisiä. Ne saavat ravinteensa esimerkiksi pohjaveden lähteisyydestä tai ravinteikkaasta ympäristöstään. Tärkeimmät turpeen muodostajat ovat rusko- l. aitosammalet, vaateliaat rahkasammal- ja saralajit, sekä harvinaiset ruohot.

Suoyhdistelmä on nimensä mukaisesti kuvaus kahden eri suotyyppiryhmän kasvillisuuden esiintymisestä laikuina toistensa lomassa. Tällaisia ovat esimerkiksi nevakorpi, lettoräme, lyhtykorsinevaräme ja koivulettokorpi.

Maamme jaetaan suotyyppien samankaltaisuuden mukaan seitsemään eri suoyhdistymäalueeseen. Saman-

kaltaisuus määräytyy lähinnä suurilmaston ja topografisen sijainnin mukaan. Tällaisia ovat esimerkiksi Etelä-Suomen rahkaiset keidassuot, Peräpohjolan saraiset aapasuot ja Tunturi-Lapin ikiroutaiset palsat.

Aapasuot

Aapasuo on suoyhdistymätyyppi, joka sisältää ravinnetasoltaan vaihtelevia suotyyppisiä reunavyöhykkeen korvista ja rämeistä keskiosien keidassoihin ja laajoihin puuttomiin nevoihin ja lettoihin. Aapasoiden kehittymisen edellytyksiä ovat ilmastollisten tekijöiden lisäksi suhteellisen tasainen maasto. Sadanta on näillä seuduilla suurempaa kuin haihdunta ja keväisten tulvavesien varastoituminen suolle pitää ne riittävän märkinä läpi kesän. Havumetsävyöhykkeen pohjoisosat Luoteis-Venäjällä ja Suomessa ovat aapasoiden keskeistä aluetta. Tähän Lappikin kuuluu pohjoisinta Enontekiön ja Inarin tunturialuetta lukuun ottamatta.

Aapasuot voivat olla tuhansien hehtaarien laajuisia. Lukuisat metsäiset saarekkeet sekä suolammet kuuluvat tähän maisemaan. Suojuottien välityksellä eri suoaltaat liittyvät toisiinsa. Vaikka silmämääräisesti aapasuon pinta näyttää olevan vaakatasossa, se viettää vedenjakaja-alueita lukuun ottamatta aina johonkin suuntaan. Ympäröiviltä mailta pinta- ja pohjavesiin liuenneet ravinteet valuvat suolle ja suokasvien käyttöön. Aapasuot ovat yleensä mineerotrofisia eli ne saavat ravinteensa ympäristön maaperästä.

Luonnontilaisen aapasuon keskiosat ovat usein vaikeakulkuisia rimpinevoja,

joita kuvioivat kapeat varpukasvillisuuden peittämät rahkajänteet. Jänteet ovat kohtisuorassa virtaussuuntaa vastaan hidastamassa vesien kulkua. Rimmet ovat hyllyviä, joko sarojen tai rahkasammalten peittämiä, tai ylipääsemättömiä ruopparimpiä.

Näin leveällä vyöhykkeellä voidaan erottaa niin suokasvillisuudessa kuin morfologiassakin selviä eroja lähinnä ilmastollisista syistä johtuen. Lapin eteläosa kuuluu vielä Pohjanmaan aapasoiden alueeseen. Tällä alueella on runsaasti kalvakkanevoja ja rahkasammaleisia rimpinevoja, joilla on keidassuon piirteitä. Keski-Lapissa ovat Peräpohjolan aapasuot. Kasvusto on saravaltaista ja rimpinevoja on paljon. Ravinteisilla paikoilla on lettoisuutta. Pohjoisimpana ovat Metsä-Lapin aapasuot. Ilmasto on mantereinen, kasvukausi lyhyt ja roudan vaikutus voimallista. Turvekerros muuttuu jälleen rahkavaltaiseksi ja jänteet ovat korkeita. Tästä on enää pieni ero palsasoihin.

Suurin osa Lapin aapasoista on kitukasvuista mäntyä kasvavia rämeitä ja avoimia nevoja. Loput ovat korpia ja pitkälle muuttuneita suotyyppejä, kuten peltoja. Rämeiden osuus Lapin eteläosassa on suurempi; vastaavasti pohjoisempana nevojen osuus kasvaa. Korpia on Länsi-Lapin alueella runsaammin kuin muualla. Itä-Lapissa on vastaavasti enemmän rääuseikköjä (pallosarakorpia) ja rинnesoita. Kalkkipitoisen alustan johdosta runsasravinteisia lettoja tavataan varsinkin Kemin-Tervolan alueella, Kuusamosta Sallaan, sekä Pelkosenniementä Kolariin ulottuvalla vyöhykkeellä.

Vaarojen ja tuntureiden alarinteilla on jyrkkiä rинnesoita, jotka ovat aapasoiden

muunnoksia. Ne viettävät jyrkimillään 10 m/100 m. Purojen varret ovat ravinteikkaita soita. Yleensä niiden suursarakasvusto on runsasta, ja Lapin ihmiset ovat käyttäneet avoimia nevoja talviheinän tekoon.

Soiden ikä ja rakenne

Koska kaikki suot ovat syntyneet vasta jääkauden jälkeen, voivat vanhimmat turvekerrostumat olla vain hieman yli 10 000 vuotta vanhoja. Useimmat näistä vanhoista soista sijaitsevat supra-akvaattisella alueella, eli Muinais-Itämeren korkeimman rannan yläpuolella (Lapissa 220 m). Matalammat alueet jäivät tuhansien vuosien ajaksi Itämeren eri vaiheiden peittoon, ja soistumista tapahtui sitä mukaa kun uusia alueita paljastui maanpinnan kohotessa.

Yli 10 000 vuotta vanhoja pohjaturpeiden iäkiä on Lapissa määritetty (¹⁴C-menetelmällä) usealta suolta. Vanhimpia tunnettuja ovat Itä- ja Keski-Lapin, sekä Koillismaan suot; esimerkiksi Savukosken Käsipuoliaapa 10 600 vuotta, Kittilän Lehdonvuoma 10 590 vuotta ja Kuusamon Raivosuo 10 440 vuotta. Myös Inarinjärven ympäristössä on yli 10 000 vuotta vanhoja soita. Nuorimmat suot sijaitsevat Perämeren rannikolla.

Vuosituhansien aikana tapahtuneet ilmastonmuutokset ovat vaikuttaneet soiden kehitykseen. Soistuminen ja turpeen kasvu on ollut nopeinta lämpimän ja kostean atlanttisen ilmastovaiheen aikana 9000-3000 vuotta sitten, jolloin turvetta kerrostui Lapissakin jopa yli 1 mm/vuosi. Nykyisin se on rannikkoalueita lukuun ottamatta huomattavasti hitaampaa.

Lapin paksuimmat todetut turvekerrostumat ovat Ranuan Polvensuolla 10,1 m ja Sallan Moita-aavalla 8,7 m. Polvensuon pohjaturpeen ikä on 9 500 vuotta, josta kerrostumisnopeudeksi tulee keskimäärin 1,1 mm/v. Moita-aavan pohjaturpeen ikä on 9 450 vuotta, josta kerrostumisnopeudeksi tulee 0,9 mm/v. Turvekerrostuman ikä ja paksuus korreloivat kuitenkin vain jossain määrin. Vaikuttavia tekijöitä on monia, kuten jääkauden jälkeinen ilmasto ja ympäristön happamuus sekä kosteus, jotka säätelevät kasvijäänteiden hajomista ja akkumulaatiota. Keskimääräinen kerrostumisnopeus on voinut olla myös hyvin hidasta, vain 0,15-0,20 mm/v. Esimerkiksi Sodankylässä ja Kuusamossa on soiden pohjaturpeiden iäksi määritetty noin 10 300 vuotta, vaikka turvetta on enintään 1,7 m (Mäkilä & Muurinen 2008). Varsinkin aapasoilla turpeen kerrostumisnopeus on ollut suurinta ensimmäisten tuhansien vuosien aikana. Sen jälkeen se on hidastunut tai voinut lähes pysähtyä pitkiksi ajoiksi. Turvekerrostuman kasvaessa paksuutta ravinteiden kapillaarinen nousu mineraalimaasta heikkenee. Myös pintavesien virtaukset muuttuvat. Vähitellen vaateliaampi lajisto katoaa, kun kasvuympäristö muuttuu niille liian karuksi ja happamaksi.

Ruskosammalturve (*Bryales*) edustaa runsasravinteista eli eutrofista kasvuympäristöä. Usein paikalla on lähteisyyttä tai kalkkipitoisia kivilajeja. Myös liejun päällä, eli umpeenkasvusoilla sitä esiintyy. Saraturve (*Carex*) on kerrostunut keskisavinteiselle eli mesotrofiselle alustalle. Ravinteita tulee sekä mineraalimaasta että pintavesien

mukana. Pohjoisen aapasuot, jotka ovat saraturvevaltaisia, hyötyvät keväisistä tulvavesistä. Karua ääripäätä eli ombrotrofiaa edustaa rahkainen (*Sphagnum*) kohosuo, joka saa ravinteensa sadevedestä. Lapissa niiden osuus on vähäinen verrattuna Keski- tai Etelä-Suomeen.

Lapin turvetutkimukset

Suomen soita ja niiden turvevaroja kartoittaa keskitetysti GTK. Tätä työtä on tehty koko laitoksen olemassaolon ajan. Vanhimmat turvetutkimukset liittyivät soiden luonnonhistoriallisiin selvityksiin ja maaperän geologiseen kartoitukseen. Vuosikymmenien aikana useat tutkijat ovat ”sukeltaneet” Lapin soiden syvyksiin selvitellessään korkeimman rannan vetäytymistä tai jääkauden jälkeistä ilmaston kehitystä.

GTK:n varhaisimpiin turvevaraselvityksiin Lapissa kuuluvat Lokan ja Porttipahdan altaiden soilta tehdyt tutkimukset yhteistyössä Kemijoki Oy:n kanssa vuosilta 1957-1959. Maaperäkartoitukseen liittyvät turvetutkimukset (kuva 10) aloitettiin Kittilässä 1962. Samoihin aikoihin valtioneurologi Martti Salmi alkoi tutkia Lapin soiden kehityshistoriaa, soiden pohjasedimenttejä Kittilässä ja palsoja Enontekiöllä (Lappalainen & Uhlgren 1991).

Noin 1970-luvun puolivälistä alkaen tutkimustiedot on tallennettu GTK:n tietorekistereihin digitaaliseen muotoon. Nykyisin vuosittaiset turvekartoitukset määrittellään Työvoima- ja Elinkeinoministeriön energiaosaston koordinoimassa GTK:n turvevarojen inventointityötä ohjaavan työryhmän kokouksessa. Valtakunnan turvevaroja



Kuva 10. Tutkimusavustaja Timo Hirvasniemi on kairannut turvenäytteen Kittilän Timakkavuoman pohjalta syvyydestä 4,7-5,2 m. Kuva T. Muurinen.

Fig. 10. Timo Hirvasniemi takes peat sample with a Russian sampler in Timakkavuoma, Kittilä. Photo T. Muurinen.

kartoitetaan paitsi energiaturvevarojen, myös muuhun turpeen käyttöön liittyvien raaka-aineiden paikantamiseksi, kuten kasvu-, ympäristö-, viherrakentamis-, kuivike- ja öljynpoistoturve, jne. Myös muu soihin liittyvä tiedon tarve kasvaa jatkuvasti. Tietoja soista käytetään maankäytön suunnittelussa, kaavoituksissa, rakentamisessa, suojeleohjelmissa sekä maa- ja metsätaloudessa.

Vuodesta 1975 vuoteen 2011 on GTK:n turvearkistoon tallennettu Lapissa tutkittujen 1451 suon tiedot. Näiden soiden yhteinen pinta-ala on noin 333 000 ha, eli 16 % Lapin soiden pinta-alasta (taulukko 2). Tutkimukset eivät ole jakautuneet tasaisesti, vaan ne

ovat painottuneet koordinoitiryhmän ohjaamana turpeen käytön ja suunnittelun kannalta keskeisille alueille.

Parhaiten on tutkittu Perämeren rannikkoseutu ja Etelä-Lappi (kuva 11), kuten Ranua (63 % suoalasta), Tervola (61 %), Keminmaa (48 %) ja Tornio (40 %). Suurista suokunnista on eniten tutkimustietoa Ranualta (95 032 ha), Kittilästä (38 917 ha) ja Tervolasta (34 585 ha). Vähän tutkittuja kuntia ovat Sodankylä (6 suota), Enontekiö (5) ja Pelkosenniemi (4) sekä tutkimattomia kuntia Inari, Muonio, Savukoski ja Utsjoki (0 kussakin). Monessa kunnassa on runsaasti suojeleohjelmiin kuuluvia alueita, ja suuriakin soita on tämän takia jätetty tutkimatta.

Taulukko 2. Lapissa tutkittujen soiden lukumäärä ja niiden pinta-alat kunnittain (2011).

Table 2. Number of investigated mires and their total area by municipality in Lapland (2011).

Kunta	Tutkitut suot (kpl)	Soiden keskikoko (ha)	Tutkittuja yhteensä (ha)	Tutkimus- %
Enontekiö	5	326	1629	1,3
Kemijärvi	20	200	3994	6,4
Keminmaa	46	169	7780	48
Kittilä	116	335	38917	14
Kolari	120	258	30938	37
Pelkosenniemi	4	358	1433	2,3
Pello	19	218	4151	27
Posio	56	167	9360	15
Ranua	417	228	95032	63
Rovaniemi	103	229	23600	13
Salla	29	321	9300	10
Simo	127	225	28559	37
Sodankylä	6	702	4210	1,3
Tervola	157	220	34585	61
Tornio	102	152	15470	40
Ylitornio	124	191	23678	37
Yhteensä	1451	269	332636	16

Kirjallisuutta

Lappalainen, E., Häikiö, J. & Heiskanen, P. 1980. Suomen turvevarat. Geologinen tutkimuslaitos, Maaperäosasto, Raportti P 13,4/80/34.

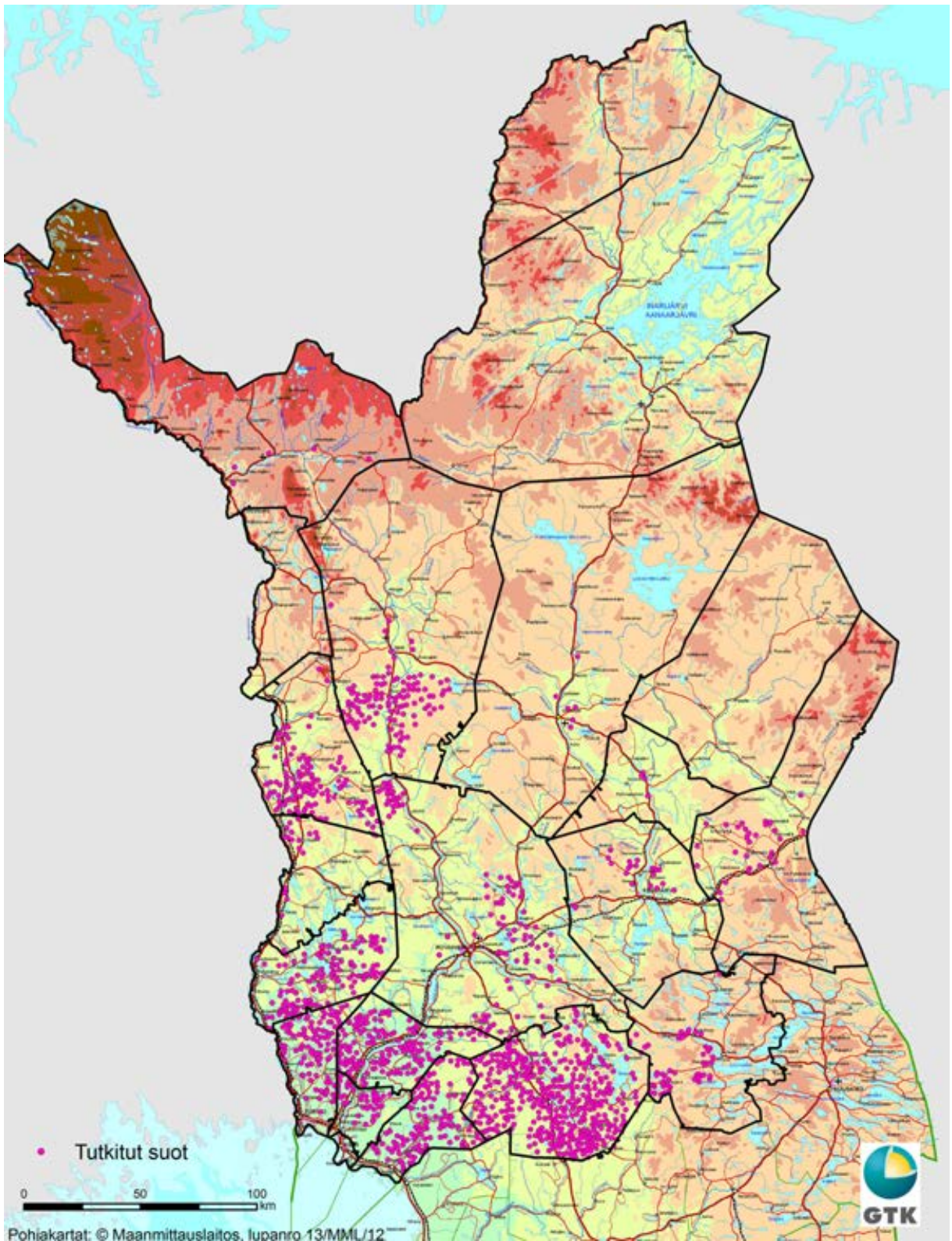
Lappalainen, E. & Uhlgren, S. 1991. Turvetutkimusta 50 vuotta (1941-1991). Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 133 s.

Mäkilä, M. & Muurinen, T. 2008.

Kuinka vanhoja ovat Pohjois-Suomen suot? Suomen Geologinen Seura. Geologi 6, 179-184.

Sevola, Y. 2002. Metsävarat. Julkaisussa: Metsätilastollinen vuosikirja 2002. METLA, 33-76.

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 156, 204 s.



Kuva 11. GTK:n tutkimat suot Lapissa vuosina 1975-2011; yhteensä 1 451 suota, pinta-alaltaan 333 000 ha (Lähde: GTK:n tietokanta).

Fig. 11. Number of mires mapped by the GTK 1975-2011; 1 451 mires, total area 333,000 ha (Source: GTK's database).

Pohjavesien kartoitus

Ulpu Väisänen

Pohjavettä syntyy sade- tai pintavesien imeytyessä maahan. Pohjavesivarastot lisääntyvät eniten keväällä lumien sulamisvesistä ja syysateiden aikaan. Maaperään imeytyvän veden määrään vaikuttavat sateiden määrä ja roudan kesto, kasvillisuus, maanpinnan muodot, pintakerroksen kosteus, maalajien rakenne ja tiiviyys. Osa sadevedestä haihtuu suoraan tai kasvillisuuden kautta ja osa kulkeutuu pintavaluntana vesistöihin etenkin hienorakeisissa maalajeissa (hieno hieta, hiesu ja savi). Pohjavettä varastoituu myös kallioperän ruhjeisiin ja rakoihin. Sadannasta imeytyy pohjavedeksi hiekka- ja sora-alueilla jopa yli 50 % ja moreenialueilla yleensä 10-20 %.

Parhaat pohjavesiesiintymät ovat harjuissa ja muissa paksuissa hiekka- ja sorakerrostumissa. Isoissa harjuissa pohjavesivyöhyke on yleensä vähintään 5-10 metrin ja usein yli 20 metrin vahvuinen. Karkearakeiset hiekkamoreenit ovat vedenantoisuudeltaan kohtalaisen hyviä, mutta hienorakeisten maalajien vedenjohtavuus on huono ja niiden pohjavesimäärät vähäisiä. Turvekerrostumiin imeytyy sadannasta vettä arviolta keskimäärin 80-90 %, mutta turvealueilla haihtuminen on suuri, keskimäärin puolet sadannasta (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Turvekerrostumissa pohjaveden laatu on huono johtuen humus-hapoista. Pohjavedenpinta on yleensä 2-5 metrin syvyydessä maanpinnasta, mutta voi olla suurissa harjumuodostumissa jopa yli 30 metrin syvyydessä. Pohjaveden lämpötila on enimmäkseen

+4 - +6°C.

Kallioperän ruhjevyöhykkeet voivat olla hyviä pohjaveden muodostumisen kannalta. Kallioperässä pohjavesi virtaa ruhjeiden, siirrosten ja rakojen muodostamissa tiloissa. Ruhjeiden pituus vaihtelee muutamasta kymmenestä metrillä jopa satoihin kilometreihin ja leveys senttimetreistä kilometreihin. Kallioperä on tavallisesti rikkonaisinta pintaosisaan. Kallioperän raot ovat avonaisia noin 100 m syvyyteen maanpinnasta, syvemmillä tilavuus nopeasti pienenee (Mälkki 1986). Vedenantoisuuteen vaikuttavat kallion rikkonaisuuden lisäksi kivilajin rakoiluominaisuudet, mistä syystä liuskealueiden porakaivot ovat antoisimpia, keskimäärin 24-48 m³/vrk (Mälkki 1986). Esimerkiksi Kittilässä liuskealueella sijaitsevan Sirkan koulun porakaivon antoisuudeksi on mitattu 1980-luvun lopulla yli 280 m³/vrk (Mäkinen ym. 1987). Tähän on todennäköisesti syynä myös kallioperän ruhjeisuus. Useimmiten kallioporakaivoista saadaan vettä riittävästi vain yksittäistalouksiin. Kallioperän rakosysteemeissä olevan veden määräksi on arvioitu 0,1-0,5 % kokonaistilavuudesta.

Pohjois-Suomessa on kartoitettu noin 2360 pohjavesialuetta. Ne luokitellaan käyttötarpeen ja antoisuuden perusteella luokkiin I, II ja III. Luokkaan I kuuluvat vedenhankinnan kannalta tärkeät pohjavesialueet, joita on 295. Luokkaan II kuuluvat alueet, jotka on tutkimuksin osoitettu vedenhankintaan soveltuviksi, mutta eivät ole vielä käytössä.

Niitä on Pohjois-Suomessa 185. Luokkaan III kuuluvat muut pohjavesialueet (1880 kpl), missä hyödyntämiskelpoisuuden arviointi edellyttää lisätutkimuksia (http://www.vvy.fi/files/1137/ke6_hautala_yhd.pdf). Huomattava osa III-luokan alueista sijaitsee asumattomilla erämaa-alueilla. Vuonna 2009 Lapissa oli tilastoitu 79 vesilaitosta. Pieniä pohjavedenottamoita (vesiosuuskuntia) on huomattavasti enemmän. Lapin vesihuoltoverkostojen laajuus on varsin kattava huomioiden alueen harva asutus. Lapin 183 000 asukkaasta noin 17 000 on vesijohtoverkostojen ulkopuolella (<http://www.ymparisto.fi>).

Pohjois-Suomen suuria, pohjavesivarojen kannalta hyviä muodostumia ovat Pudasjärvi-Taivalkoski-Hossa-saumamuodostuma, Kuusamon ja Posion

välinen harjujakso, joka kulkee katkonaisena Rovaniemen kautta Kolariin, Ylitorion reunamuodostuma ja Enontekiöllä lounas-koillinen -suuntaiset harjut (Kujansuu & Niemelä 1984). Utsjoella Karigasniemen lähellä Hannujärven vierestä koilliseen kulkevassa harjussa on todennäköisesti myös runsaasti pohjavettä. Harjusta purkautuva Sulaojankaltio (*Suddis Laddu*) on antoisuudeltaan Lapin, ja tiettävästi myös koko Suomen suurin pohjavesipurkauma. Sen antoisuudeksi on mitattu 1990-luvulla kevätaikana noin 31 000 m³/vrk (Britschgi & Gustaffson 1996). Pohjavettä purkautuu runsaasti myös muun muassa suuresta Kalmankaltion lähteestä Enontekiön Hietatievoilla (kuva 12). Hietatievat on osa pitkää harjujaksoa, joka jatkuu kohti lounasta Muonioon saakka.



Kuva 12. Kalmankaltion lähde Enontekiön Hietatievoilla. Kuva U. Väisänen.
 Fig. 12. The Kalmankaltio spring at Enontekiö, Hietatievat. Photo U. Väisänen.

Ivalon alueella merkittävimmät pohjavesiesiintymät sijaitsevat Ivalojoen laaksoa myötäilevässä harjujaksossa ja paksuissa laaksontäyhteissä (Väisänen 1995). Saariselän ja Laanilan alueella hyödynnettäviä pohjavesiesiintymiä saattaa olla kahdessa katkonaisessa, lounaasta koilliseen kulkevassa harjujaksossa (Väisänen 1994) ja idempänä Suomuja Luttojoen laaksoa myötäilevässä harjujaksossa. Koilliskairan alueella harjujen alarinteissä on antoisuudeltaan suuria lähteitä, esimerkiksi Tikkasen vieriharjulla (Johansson & Mäkinen 1994). Keski-Lapissa on paikoin paksuja, moreeninalaisia hiekka- ja sorakerrostumia, joiden vedenjohtavuus ja antoisuudet ovat hyviä.

Länsi-Lapissa Palojoensuun alueella on vettä hyvin johtavia hiekka- ja sorakerrostumia Kaltonharjussa ja Äijäjoen harjujaksossa sekä Muonionjokilaakson jokikerrostumissa. Äijäjoen harjujakso kulkee Säynäjärven eteläpuolelta pohjoiseen pitkin kallioperän ruhjevyöhykettä ja saattaa olla pohjaveden muodostumisen kannalta merkittävä (Johansson ym. 1991). Muonion alueella merkittävimmät pohjavesiesiintymät ovat Yli-Muonion ja Kangosjärven hiekka- ja sorakerrostumissa (Johansson ym. 1989). Kittilässä Hormakummun alueella, Kuusajärven-Jeesiöjärven reunamuodostumassa saattaa myös olla hyödynnettäviä pohjavesivarastoja. Pohjavettä purkautuu paikoin runsaasti myös lähteistä. Niiden antoisuudet ovat yleensä muutamia kymmeniä kuutiometrejä vuorokaudessa.

Rovaniemen seudulla pohjavesialueita on muun muassa Kolpeneenharjussa, Jokkavaaran, Kroopinpalon-Palovaaran

ja Mellavaaran harjumuodostumisissa, sekä Mäntyvaaran, Rantaraakan ja Sonkakivalon hiekka- ja sorakerrostumissa.

Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Pohjaveden laatuun vaikuttavat maaperään imeytyvän veden sisältämät suolat, maa- ja kallioperän rakenne ja mineraalikoostumus. Pohjaveteen liuenneiden aineiden määrät ovat pienimmät nopeasti vaihtuvissa lähdevesissä. Hienoainespitoisessa moreenissa tai pitkään saven alla virranneessa pohjavedessä liuenneiden aineiden määrä on yleensä moninkertainen verrattuna vettä hyvin johtavien hiekka- ja sorakerrostumien pohjaveteen. Syvällä kallioperän halkeamissa ja ruhjeissa pohjaveden viipymä on pitkä ja veteen liuenneiden aineiden pitoisuudet suurimmat. Luonnontilainen pohjavesi täyttää yleensä talousvedelle asetetut laatuvaatimukset. Tavallisimmat haitat ovat liian suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet. Suurehkoja pitoisuuksia esiintyy muun muassa Oulu-Kemi-Tornio-alueella ja Kuusamossa.

Lähteissä vedenlaatu on hyvää, ja ne palvelevatkin hyvin esimerkiksi matkailijoita vaellus- ja hiihtoreiteillä Lapin tunturikeskuksissa (kuva 13).

Pohjaveden laatua on tutkittu Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) useissa eri tutkimusprojekteissa, joista on kertynyt tietoa pohjavesien laadusta lähes 3000 eri kohteesta Lapissa. Vuosina 1978-1982 toteutettiin valtakunnallinen pohjavesitutkimus, jossa analysoitiin koko maasta noin 5900



Kuva 13. Kirkasvetinen lähde Pallastunturin rinteessä. Kuva U. Väisänen.

Fig. 13. A clear water spring on the slope of Pallastunturi. Photo U. Väisänen.

vesinäytettä lähteistä, kuilukaivoista ja kallioporakaivoista. Vuosina 1999-2000 toteutettiin valtakunnallinen tutkimus ”1000 kaivoa”, jossa koko maasta analysoitiin pohjaveden laatu 1000 eri kohteesta. Lapista tutkimuskohteita oli noin 200. Näissä projekteissa näytteet pyrittiin ottamaan tasaisin välimatkoin koko maassa. Vuosina 1993-2004 toteutettiin valtakunnallinen pohjaveden seurantatutkimus, jossa pohjaveden laatua tutkittiin neljä kertaa vuodessa. Eri puolilla Lappia seurantakohteita oli noin 20. Lisäksi pohjaveden laatua on tutkittu 1980-luvulta lähtien maaperäkartoituksen yhteydessä sekä useissa erillistutkimuksissa.

Pohjaveden laatu heijastaa kallioperän mineraalikoostumusta, mikä näkyy etenkin porakaivoissa. Sähkönjohtavuus, pH, kokonaiskovuus (kalsium- ja magnesiumsuolat) ja alkaliteetti ovat suurempia emäksisten kivilajien, kuten amfiboliittien, gabrojen ja karbonaattikivien alueilla, kuin happamien kivilajien alueilla, kuten kvartsiitit, graniitit tai kiilleliuskeet (Lahermo ym. 1990). Kalliopohjavesi on yleensä emäksisempää kuin saman alueen maaperän pohjavesi ja pintaosia lukuunottamatta vähähappista tai hapetonta. Taulukossa 3 on esitetty GTK:n tutkimusaineistoihin perustuen pohjavesianalyysien tunnuslukuja Pohjois-Suomen tutkimusaineistoista.

Taulukko 3. Pohjavesien analyysitulosten tunnuslukuja Pohjois-Suomen tutkimusaineistoista. Näytteiden lukumäärä noin 2700.

Table 3. Parameters of analyses of groundwater samples in Northern Finland. Number of samples appr. 2700.

	maksimi	minimi	keskiarvo	mediaani
pH	10,7	4,7	6,3	6,5
Sähkönjohtavuus mS/m, 25°C	988	<1	15,6	9,2
KMnO ₄ mg/l	205	<1	12,4	5,4
HCO ₃ mg/l	814	<1	52,1	26,2
SO ₄ mg/l	650	<1	9,9	5
Cl mg/l	3300	<1	11,7	2,1
Br mg/l	35	<1	<1	<1
F mg/l	1,13	<0,1	<0,1	<0,1
NO ₃ mg/l	109	<0,2	<1	<1
Ca mg/l	380	<1	14,1	6,8
Mg mg/l	180	<1	3,4	1,4
Na mg/l	1480	<1	7,5	2,7
K mg/l	520	<1	4,5	1,2
Al µg/l	1000	<1	27	1,8
As µg/l	13,4	<1	<1	<1
Cd µg/l	8,1	<0,02	<1	<1
Co µg/l	80	<1	<1	<1
Cr µg/l	10,2	<0,2	<1	<1
Cu µg/l	850	<1	12,2	4
Fe mg/l	50	<0,03	0,26	0,05
Mn µg/l	15500	<1	95,1	20
Mo µg/l	31,2	<1	<1	<1
Ni µg/l	890	<1	3,9	2
Pb µg/l	500	<0,03	1,2	1
Sb µg/l	<1	<1	<1	<1
Sr µg/l	474	<1	30,2	11,3
U µg/l	33,7	<1	<1	<1
V µg/l	10,2	<1	<1	<1
Zn µg/l	12800	<1	142,6	20

Ihmistoiminta eri muodoissaan vaikuttaa pohjaveden laatuun. Pohjavedet eivät kuitenkaan pilaannu yleensä laajalla alueella, koska Suomen pohjavesialueet ovat pääosin pieniä. Likaantumisvaara on suurin vettä hyvin läpäisevillä hiekka- ja sora-alueilla. Esimerkiksi teollisuuden, liikenteen ja maatalouden päästöt, teiden suolaus ja kemikaalionnettomuudet vaikuttavat pohjaveden laatuun. Soiden ojitus vaikuttaa valuma-alueiden pohjavedenpinnan tasoon, virtaamien

vuodenaikaisvaihteluihin ja siten veden laatuun. Pitkällä aikavälillä mineraalien rapautuminen ja maaperän happamoituminen vaikuttavat myös vesien laatuun (Lahermo ym. 1996). Pohjavesien happamoituminen tapahtuu pitkällä viiveellä, kunnes happamoittavat aineet ehtivät pohjavesiin saakka.

Pohjavesi on Pohjois-Suomessa, kuten koko maassa, keskimäärin lievästi hapanta, pH-arvot ovat enimmäkseen 6,2-6,8. Emäksisen kallioperän vaikutus

pohjaveden laatuun näkyy muun muassa Kemi-Tornio-Tervola-alueella, missä pH on useimmiten yli 7. Kittilän Sirkassa pohjavesinäytteiden pH-arvoista yli puolet on > 7 , mikä johtuu myös kallioperän emäksisyydestä. Tutkimukset on tehty 1980-luvun lopulla. Suositus talousveden pH-arvoksi on 6,5-9,5 (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000). Myös sähkönjohtavuudet ovat suurimmat Oulun ja Kemin välisellä rannikolla, Kemi-Tornio-Tervola-alueella sekä Kuusamon seudulla ja Kittilässä. Tämä näkyy etenkin porakaivovesien sähkönjohtavuusarvoissa. Kemi-Tornio-Tervola-alue on karbonaattikivien ja mafisten kivilajien ansiosta maamme parhaiten luontaisesti puskuroitunut alue happamoitumista vastaan, eli pohjaveden alkaliteetti on suuri (Lahermo ym. 1996).

Nitraatti ja kloridi ovat pohjavesien likaantumista osoittavia indikaattoreita. Nitraattipitoisuudet ovat GTK:n tutkimusaineistojen mukaan Pohjois-Suomessa hajatapauksia lukuun ottamatta pieniä, vain muutamia milligrammoja litrassa. Luonnontilaisissa lähteissä nitraattipitoisuudet ovat vielä pienempiä kuin kaivoissa, enimmäkseen $< 1,5$ mg/l. Talousvedelle asetettu nitraatin enimmäispitoisuus on 50 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000).

Haitallisista raskasmetalleista arseenia esiintyy paikoin suurina pitoisuuksina pohjavedessä, muun muassa Kittilässä Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä, missä kallioperässä on arseenipitoisia sulfidimineraaleja.

Uraani on radioaktiivinen metalli. Alueilla, joiden kallioperässä on paljon

uraania, voivat vesien radonpitoisuudet olla myös suuria (Lahermo ym. 1996). Pohjaveden uraanipitoisuudet ovat Pohjois-Suomessa yleensä hyvin pieniä, < 1 µg/l. Rovaniemen alueella on analysoitu joitakin suuria uraanipitoisuuksia. Olkkavaarassa sijaitsevasta kallioporakaivosta on analysoitu vuonna 1977 uraanipitoisuudeksi enimmillään 2,5 mg/l (Kujansuu ym. 1982). GTK:n tutkimusten mukaan radonia on useimmiten pohjavesissä enintään muutamia kymmeniä Bq/l. Säteilyturvakeskuksen suositus radonin enimmäismääräksi talousvedessä on 300 Bq/l (vesilaitokset) ja 1000 Bq/l (yksityiskaivot). Tätä suurempia pitoisuuksia esiintyy vain harvoin pohjavesissä. Suurimmat pitoisuudet ovat yleensä kallioporakaivoissa (STUK 2008). Kolarissa on mitattu joitakin suuria radonpitoisuuksia, enimmillään 2500 Bq/l (Korkka-Niemi ym. 1993).

Useille alkuaineille ja epäorgaanisille yhdisteille talousvedessä on asetettu enimmäispitoisuusrajat joko terveydellisten tai teknis-esteettisten haittojen takia. Talousvesien bakteeripitoisuuksille (koliformiset bakteerit ja fekaaliset streptokokit) on myös asetettu tiukat rajat niiden aiheuttamien terveyshaittojen takia. Niitä esiintyy Suomen ympäristökeskuksen valtakunnallisen kaivovesitutkimuksen mukaan Pohjois-Suomessa vähemmän kuin muualla Suomessa. Kaivotyypeittäin arvioituna mikrobiologisesti parasta vettä on kallioporakaivoissa (Korkka-Niemi ym. 1993, Korkka-Niemi 2001).

Kirjallisuus

- Britschgi, R. & Gustafsson, J. (toim.) 1996. Suomen luokitellut pohjavesialueet. Suomen ympäristö. Luonto ja luonnonvarat. Suomen ympäristökeskus, ympäristökuormitusyksikkö. 387 s.
- Johansson, P., Maunu, M., Mäkinen, K., Sutinen, R. & Väisänen, U. 1989. Muonio. Suomen geologinen kartta 1:50 000, maaperäkartta, lehti 2723 2. Geologian tutkimuskeskus.
- Johansson, P., Maunu, M. & Väisänen, U. 1991. Palojoensuu. Suomen geologinen kartta 1:50000, maaperäkartta, lehti 2724 1. Geologian tutkimuskeskus.
- Johansson, P. & Mäkinen, K. (toim.) 1994. Koilliskaira. Maaperägeologinen kartta 1:100 000. Geologian tutkimuskeskus.
- Korkka-Niemi, K. 2001. Cumulative geological, regional and site-specific factors affecting groundwater quality in domestic wells in Finland. Monographs of the boreal environmental research, 20. 98 s.
- Korkka-Niemi, K. & Salonen, V.P. 1996. Maanalaiset vedet - pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A:50, 181 s.
- Korkka-Niemi, K., Sipilä, A., Hatva, T., Hiisvirta, L., Lahti, K. & Alfthan, G. 1993. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Abstract: Nationwide rural well survey. The quality of household water and factors influencing it. Vesi- ja ympäristöhallitus ja Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki, 228 s.
- Kujansuu, R., Hyyppä, J. & Lappalainen, E. 1982. Rovaniemen kartta-alueen maaperä. Summary: Quaternary deposits in the Rovaniemi map sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, maaperäkarttojen selitykset, lehti 3612. Geologian tutkimuskeskus, 48 s.
- Kujansuu, R. & Niemelä, J. (toim.) 1984. Suomen maaperä 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen Geokemian Atlas, osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. The Geochemical Atlas of Finland, Part 1. The hydrogeochemical mapping of Finnish Groundwater. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 66 s.
- Lahermo, P., Väisänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia - purovedet ja sedimentit. Geochemical Atlas of Finland, Part 3: Environmental geochemistry - stream waters and sediments. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 149 s.
- Mäkinen, K., Porola, P., Sutinen, R., Maunu, M. & Väisänen, U. 1987. Sirkka. Suomen geologinen kartta 1:50 000, maaperäkartta, lehti 2741 2. Geologian tutkimuskeskus.
- Mälkki, E. 1986. Pohjavesi. Julkaisussa: Mustonen, S. (toim.). Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y., 101-118.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2000. Päätös talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 19.5.2000. STMp 461/00.
- STUK 2008. Juomaveden radioaktiivisuus. Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia, Säteilyturvakeskus, 7 s. Elektroninen julkaisu, saatavana: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset/_files/88192704355896135/

default/juomaveden_radioaktiivisuus_huhtikuu_2008.pdf (Viitattu 1.10.2012)

Väisänen, U. 1994. Laanila. Suomen geologinen kartta 1:50 000, maaperäkartta, lehti 3831 1. Geologian tutkimus-

keskus.

Väisänen, U. 1995. Ivalo. Suomen geologinen kartta 1:50 000, maaperäkartta, lehti 3832 2. Geologian tutkimuskeskus.

Geokemiallinen kartoitus

Pasi Lehmuspelto ja Pertti Sarala

Geokemiallista kartoitusta, tutkimusta ja näytteenottoa ei ole aiemmin käsitelty Lapin tutkimusseuran Acta Lapponica Fenniae -julkaisuissa. Geokemiallisen kartoituksen ja maaperän alkuainepitoisuuksien hyödyntäminen malminetsinnässä on kuitenkin aloitettu jo 1960-luvulla. Esimerkiksi Outokumpu Oy:n Malminetsintä teki laajan purosediimentinäytteenoton Länsi-Lapissa 1960- ja 1970-luvuilla. Yksi tämän tutkimuksen tuloksista oli Kittilän Pahtavuoman kuparimineralisaation löytyminen. Rautaruukki Oy:n Malminetsintä teki Savukosken Soklin alkuvaiheen malminetsintöihin liittyen vuonna 1967 alueen purosediimenttien raskasmineraalitutkimuksen, mitä menetelmää Suomessa silloin ensimmäisen kerran sovellettiin.

Yleistä

Geokemia on kemian tietoja ja menetelmiä soveltava geologian sektori. Alkuaineiden käyttäytyminen noudattaa geologisissa prosesseissa luonnollisia lainalaisuuksia ja maa- ja kallioperän alkuainepitoisuuksien kartoittamisella on merkittävä rooli geologisessa tutkimustyössä sekä tieteellisessä perustutkimuksessa että soveltavissa tutkimuksissa.

Geologiset prosessit, kuten mineraalien rakenteen ja koostumuksen muuttuminen rapautumisessa, kulkeutumisessa ja kerrostumisessa ovat jatkuvasti käynnissä. Suurimmassa osassa maailmaa tärkein maankamaran pintaosaan vaikuttava tekijä on rapautuminen. Pohjoisilla leveysasteilla rapautuminen on ollut merkittävä tekijä satojen miljoonien vuosien aikana. Viimeisen 2,5 miljoonan vuoden aikana sitä vaikuttavampaa on ollut jääkausien ja lämpökausien vuorottelu ja siihen sisältyvät kulutus-, kuljetus- ja kerrostumistapahtumat. Kallioperän kemiallinen koostumus kuvastuu alueella kaikissa sekä mineraalisissa että eloperäisissä aineksissa.

Periaatteessa kaikkia aineksia voidaan siksi käyttää näyttemateriaalina geokemiallisessa tutkimuksessa. Näyttemateriaalin valinta riippuu tutkimuksen tavoitteesta ja tutkimusalueella edustavasti saatavissa olevista aineksista. Tärkeintä on, että vertaillaan ainoastaan samaa geologista kehityshistoriaa edustavia näytteitä keskenään, koska alkuaineiden paljousuhteet muuttuvat rapautumisen ja kulkeutumisen seurauksena sitä enemmän mitä useampia vaiheita aines käy läpi. Samalla etäisyys lähtökohdasta yleensä kasvaa ja aineksen lähtöpaikan

määrittely käy epätarkemmaksi. Malmista peräisin olevan aineksen kulkeutuminen laajemmalle alueelle on avuksi tutkimusalueiden valinnassa malminetsintätyön alkuvaiheessa, koska aines voidaan havaita harvallakin näyteverkolla. Näyttemateriaaliksi voidaan valita rapautumaton kiviaines, rapautunut kiviaines eli rapakallio, jäätikön sekoittama ja kuljettama moreeni, virtaavan veden huuhtomat ja lajittamat sora tai hiekka, seisovaan veteen kerrostuneet siltti tai savi, eloperäiset kerrostumat kuten turve tai humus ja myös elävät kasvit sekä vesi. Näytteenotto on helpointa ja edullisinta listan loppupään aineksista, joiden haittapuolena kuitenkin on analyysitulosten hankalampi tulkitseminen. Näyttemateriaalia on tutkimusalueella oltava niin yleisesti, että tasalaatuisia näytteitä saadaan kerättyä säännöllisin välein havaintoverkoksi.

Malminetsinnän menetelmänä geokemiaa on käytetty laajasti joka puolella maailmaa ja suomalaiset geokemistit ovat alusta asti olleet kehityksen kärkijoukossa. Kasvava kiinnostus ympäristöasioihin on lisännyt myös geokemiallisen tiedon kysyntää, kun on havaittu, ettei ympäristösäädöksiä voida laatia yleispätevien pitoisuusrajojen varaan. Alkuainepitoisuuksien luonnollinen vaihtelu paikasta ja aineksesta toiseen on hyvin laajaa. Kaivosalalla geokemia on tärkeässä roolissa kaikissa toiminnan vaiheissa. Kaivosalueita luonnehtivat luontaisesti korkeat metallipitoisuudet jo ennen kaivostoiminnan aloittamista, sillä juuri niiden ansiosta malmi löydetään. Alueen luontaiset pitoisuudet kannattaa kartoittaa yksityiskohtaisesti, koska toiminnan aikana ja sen päätyttyä tulee

aina keskustelua alueella tavattavien pitoisuuksien alkuperästä. Malminetsinnän ja ympäristön tilan selvittämisen työtavat poikkeavat jonkin verran toisistaan, koska malminetsinnässä etsitään tuntematonta pistemäistä kohdetta kallioperästä ja ympäristön tilan selvittämisessä kartoitetaan maaperän pintaosaa, vesiä ja kasvillisuutta yleensä etukäteen määrittelyllä alueella tai oletetun lähtökohdan ympäristössä.

Näyteverkon silmäkoon valinta on aina tutkimuksen tarkoituksen, tutkimusalueen olosuhteiden ja käytettävissä olevien resurssien välillä tehtävä kompromissi. Suuralueellisissa kartoituksissa havaintopisteiden etäisyys toisistaan voi olla jopa useita kymmeniä kilometrejä ja yksityiskohtaisissa kartoituksissa vain kymmeniä senttimetrejä, jopa vähemmän. Tiheä havaintoverkko tarjoaa yksityiskohtaisemman lopputuloksen, mutta aiheuttaa myös suurimmat kustannukset kaikissa työvaiheissa. Malminetsinnässä edetään yleensä vaiheittain siten, että aloitetaan laajan alueen harvalla näyteverkolla ja tihennetään näytteenottoa pienempiin kohteisiin tulosten antamien viitteiden mukaan. Samalla siirrytään näyttemateriaaleissa kevyillä ja edullisilla menetelmillä kerättävistä materiaaleista kohti kallionäytteiden ottamista, joka edellyttää sitä tehokkaamman konekaluston käyttämistä, mitä paksun maapeitteen alla kallio on.

Näytteenotto ja näytteiden analysointi

Yleisin mineraalimaalaji meillä ja lähialueillamme on mannerjäätikön kulutus-, sekoitus- ja kuljetustyön sekä

kerrostumisen tuloksena syntynyt moreeni. Yleisyys ja läheinen yhteys kallioperään ovat moreenin tärkeimmät edut geokemiallisen kartoituksen näytemateriaalina. Malminetsinnän kannalta merkittävä etu on myös, että malmista peräisin olevan aineksen kulkeutuminen tuottaa moreeniin varsinaista malmiesiintymää laajemman hajontaviuhkan, jonka löytäminen on helpompaa. Tämänhetkisen moreenikerroksen ainesosina ovat aiempien jäätiköitymisvaiheiden kerrostamat ainekset sekä edellistä jääkautta edeltäneellä lämpökaudella kerrostuneet sedimentit, pääosa kallioperän rapautuneesta kerroksesta ja jonkin verran myös jäätikön mukaansa kuluttama rapautumaton kalliokiviaines.

Kallioaineksen geokemiallisesta tutkimuksesta käytetään yleensä nimitystä litogeokemia. Kallioperänäytteitä on kerätty myös koko Lapin alueelta, mutta näytetiheys on huomattavasti moreenia vähäisempi johtuen laajoista peitteisistä alueista. Muina geokemiallisten kartoitusten näytemateriaaleina on Lapista kerätty orgaanisia ja mineraalisia purosedimenttejä, tulvasedimenttejä, humusta ja turvetta, purosammalia, kerrossammalia ja vettä. Muut työt ovat liittyneet tutkimukseen ja menetelmäkehitykseen tai valtakunnallisiin suuralueellisiin atlas-kartoituksiin (Lahermo ym. 1990, 1996, 2002, Koljonen 1992, Rasilainen ym. 2008, Tenhola & Tarvainen 2008). Myös indikaattori- eli raskasmineraalitutkimukset ovat paljon käytetty menetelmä malminetsinnässä perustuen mineraalimaanäytteiden painovoimaan perustuvaan rikastamiseen. Merkittävimpiä soveltamiskohteita ovat olleet kulta- ja timanttitutkimukset.

Pääosa meillä tehdyistä geokemiallisista kartoituksista on palvellut malminetsintää ja näytemateriaalina on ollut moreeni. Moreenikerroksen paksuus on tavallisesti noin 5-7 metriä, toisin paikoin moreenikerros puuttuu kokonaan ja suurimmat tavatut paksuudet ovat useita kymmeniä metrejä (Johansson & Kujansuu 2005). Vaihtelevien lähtömateriaalien mukaisesti moreenin rae-koostumus on hyvin vaihteleva sekoitus suurista lohkarista hienorakeisimpaan saveen. Tämä tekee näytteiden ottamisen moreenista teknisesti hankalaksi, koska moreeniaineksen karkearakeinen osa haittaa hienorakeisissa aineksissa hyvin toimivien kevyiden näytteenotokalustojen käyttöä. Moreenikerroksen pintaosasta pystytään yleensä ottamaan näytteitä käsikäyttöisilläkin välineillä, mutta näytteiden ottaminen syvemältä edellyttää konevoimaa käyttävien raskaampien laitteistojen käyttöä.

Geologisen tutkimuslaitoksen (nykyisin GTK) alueellisen geokemiallisen kartoituksen moreeninäytteenotto aloitettiin 1970-luvun alussa Lapissakin käsikäyttöisellä kalustolla (Gustavsson ym. 1979). Pian siirryttiin kuitenkin käyttämään polttomootorikäyttöisiä iskuporia, joilla pystyttiin ottamaan näytteet sen verran syvältä, että aineksen voidaan olettaa säilyneen muuttumattomana maannostumiseen liittyvien liukenemisten ja saostumisten ulottumattomissa. Näytteenotto-syvyydeksi tavoiteltiin noin 1,5-2 metriä moreenikerroksen pinnasta lukien, tosin kivisissä moreenityypeissä tavoite ei aina toteutunut. Samaan syvyyteen pyrittiin myös siinä tapauksessa, että ensin jouduttiin läpäisemään moreenia peittäviä eloperäisiä ja/tai lajit-

tuneita kerroksia. Lisää tehoa ja parempaa työmukavuutta on sittemmin saatu ottamalla käyttöön puomiin kiinnitetyt hydrauliset iskuvasarat (kuva 14). Aluksi näytteet otettiin 100 metrin välein noin 1,5 kilometrin etäisyydellä toisistaan olevilta yhdensuuntaisilta linjoilta ja jatkossa ruutuverkolta, jossa näyteverkon tiheydeksi tuli 1 näytepiste/4 km². Alkuperäistä näytteenottotapaa nimitetään linjanäytteenotoksi ja myöhempää harvapistenäytteenotoksi tai alueelliseksi näytteenotoksi. Sekä näytteenotossa että kemiallisessa analysoinnissa käytetyt tekniikat on yksityiskohtaisemmin kuvattu raporteissa Gustavsson ym. (1979) ja Salminen (1995). Alueellisen moreeni-näytteenoton ohella suurin yksittäinen työmaa on ollut Pohjoiskalottiprojektin geokemian osaprojekti, jota selostetaan seuraavassa luvussa.

Moreeninäytteiden kemialliseen analysointiin käytettiin 1970-luvun lopulla optiseen emissiospektrometriaan perustuvaa emissiokvantometriä (OES/EKV), jolla saatiin nopeasti suuren alkuainejoukon pitoisuudet. Malminetsinnän päämielenkiinto kohdistui siihen aikaan kromin, nikkelin, kuparin, koboltin, sinkin ja lyijyn kaltaisten metallien esiintymiseen, ja näiden metallien pitoisuudet saatiin OES/EKV:lla kohtalaisen tarkasti. Monipuolisempaa geologista tulkintaa varten tarvitaan tarkkoja tietoja laajemman alkuainevalikoiman pitoisuuksista, ja siihen ei OES/EKV-analyysien laatu riittänyt. Kehittyneemmällä induktiivisesti kytketyllä plasmaemissiospektrometrillä (ICP-AES) saadaan luotettavat pitoisuustiedot merkittävästi laajemmasta alkuainejoukosta, johon edellä mainittujen metal-



Kuva 14. Geokemiallista moreeninäytteenottoa GTK:n iskuporakalustolla Sodankylän pohjoisosassa. Kuva J. Valkama.

Fig. 14. Till geochemical sampling using percussion drilling in the northern part of Sodankylä. Photo J. Valkama.

lien lisäksi kuuluu muun muassa tärkeitä high-tech-metalleja, kuten lantaani, litium, zirkonium, yttrium ja ytterbium. Grafittiuunilla varustetulla atomiabsorptiospektrofotometrilla (GFAAS) saadaan lisäksi kulta-, palladium- ja telluuripitoisuudet. Uraani on analysoitu vain osasta näytteitä neutroniaktiivointimenetelmällä (NAA); analyysit on hankittu ostopalveluna VTT:lta.

Kartoituksen vaiheita ja tuloksia

Alkuperäinen linjanäytteenotto tehtiin pääasiassa Keski-Lapissa Kittilän, Sodankylän, Pelkosenniemen ja Savukosken alueella. Näytteet analysoitiin OES/EKV:lla. Kun 1980-luvun puolesavälissä siirryttiin ICP-AES-analyysiin ja niin sanottuun harvapistenäytteenottoon (1 näytepiste/4 km²), aiemmista linjanäytteistä valittiin samalla tiheydellä näytepisteryhmiä (n. 5 peräkkäistä pistettä), joilta yhdistelemällä muodostettiin harvapisteverkon näytteitä (vrt. Salminen 1995). Aineistosta saadut tutkimustulokset ovat julkisia ja tilattavissa GTK:sta. Tuloksia ja niiden erilaisia käyttömahdollisuuksia on esitelty karttalehtiselostuksissa (Lehmuspelto 1994, Pulkkinen 1996).

Alueellisen moreeninäytteenoton 1 näytepiste/4 km² käynnissä ollessa 1980-luvun alussa toteutettiin Pohjoiskalottiprojektin kartoitus ja aineistojen keruu. Yhtenäisten geokemiallisten karttojen tuottaminen olemassa olevista aineistoista oli mahdotonta, koska geokemiallinen kartoitus oli kaikissa osallistujamaissa vasta alkuvaiheessaan ja sovelletut työtavat poikkesivat suuresti toisistaan. Projektissa päädyttiin

yhteiseen näytteenotto-ohjelmaan, jossa kukin osallistujamaa toteutti näytteenoton omalla alueellaan tiheydellä 1 näytteenottopaikka/30 km² ja kemiallinen analysointi tehtiin niin, että kunkin näytemateriaalin kaikki näytteet toimitettiin samaan maahan analysoitavaksi samassa laboratorioissa. Ratkaisu koetteli pohjoismaisten avointen rajojen järjestelmää, koska rajojen yli kuljetettavat kuormat näyttivät tullimiesten silmin epäilyttäviltä ja varsinkin Haaparannan tulli joutui joka kuormasta ”diskuteraamaan” Tukholman kanssa. Yhtään kuormaa ei kuitenkaan käännytetty, joten näytteiden analysointi saatiin tehdyksi.

Kultakin näytteenottopaikalta otettiin näyte moreenista, mineraalisesta ja orgaanisesta purosedimentistä, purossammalista, vedestä, humuksesta, sekä Suomen näytteenottoalueen itäosasta myös kerrossammalista (*Hylocomium splendens*). Näytteiden kuljetus maastosta oli suuri työ ja sen onnistumisessa ratkaisevaa oli helikopterin käyttö tietyillä alueilla. Moreenin, purosedimenttien ja purossammalten tulokset koottiin Pohjois-Fennoskandian geokemialliseksi kartastoksi (Bölviken ym. 1986). Kuva 15 on kartastosta otettu moreeninäytteiden hienorakeisimman aineksen (alle 0,06 mm) kromipitoisuuden näyttävä kartta. Määritykset on tehty GTK:n laboratorioissa OES/EKV-menetelmällä. Näytteenottopaikan kohdalle sijoitetun pallosymbolin läpimitta ilmaisee näytteen Cr-pitoisuuden, joka kuvastaa paikan kallioperän sijaintia kivilajien felsinen-mafinen-akselilla. Mafisesta-ultramafisesta kallioperästä kertovat korkeat Cr-pitoisuudet keskit-

tyvät Itä- ja Keski-Lappiin selvärajaiseksi vyöhykkeeksi, joka jatkuu edelleen Pohjois-Norjaan. Vyöhykkeestä tunnetaan kromimalmialueet Savukosken Akanvaarassa ja Sodankylän Koitelaisessa, kultakaivos Sodankylän Pahtavaarassa, nikkeli-kuparikaivos Sodankylän Kevitsassa sekä Sakatti-nimen saanut uusi nikkeli-kuparilöydös Sodankylässä. Todennäköisesti tämä on vasta alkua alueen kaivannaisteollisuuden menestystarinoille.

Pohjoiskalottiprojektissa kerätty laaja näyteainesten valikoima ja siihen sovellettu monipuolinen analytiikka tarjoavat monikäyttöisen tietoa-ineiston geokemialliselle, geologiselle ja ympäristötutkimukselle, koska samanaikaisesti ja samoilta paikoilta kerätyt näyteaineistot edustavat kattavasti useita geologisia muuttumisvaiheita ja erilaisiin mittausmenetelmiin perustuvat alkuaineiden pitoisuusmääritykset antavat laajan alkuainevalikoiman tulkintojen pohjaksi.

Alueellinen moreeninäytteenotto tiheydellä 1 näytepiste/4 km² valmistui koko valtakunnan alueelta 1990-luvun alussa. Näytteet analysoitiin jatkuvasti tarkemmiksi kehittyvillä ICP-AES- ja GFAAS-menetelmillä. Tietojenkäsittely- ja tulostusmenetelmien kehittyessä on nyt päästy tilanteeseen, jossa GTK:n digitaalisista tietovarastoista voidaan kerätä halutut aineistot ja tulostaa niistä kunkin tarvitsijan tarpeiden mukaiset tulosteet. Kuvissa 16, 17 ja 18 nähdään

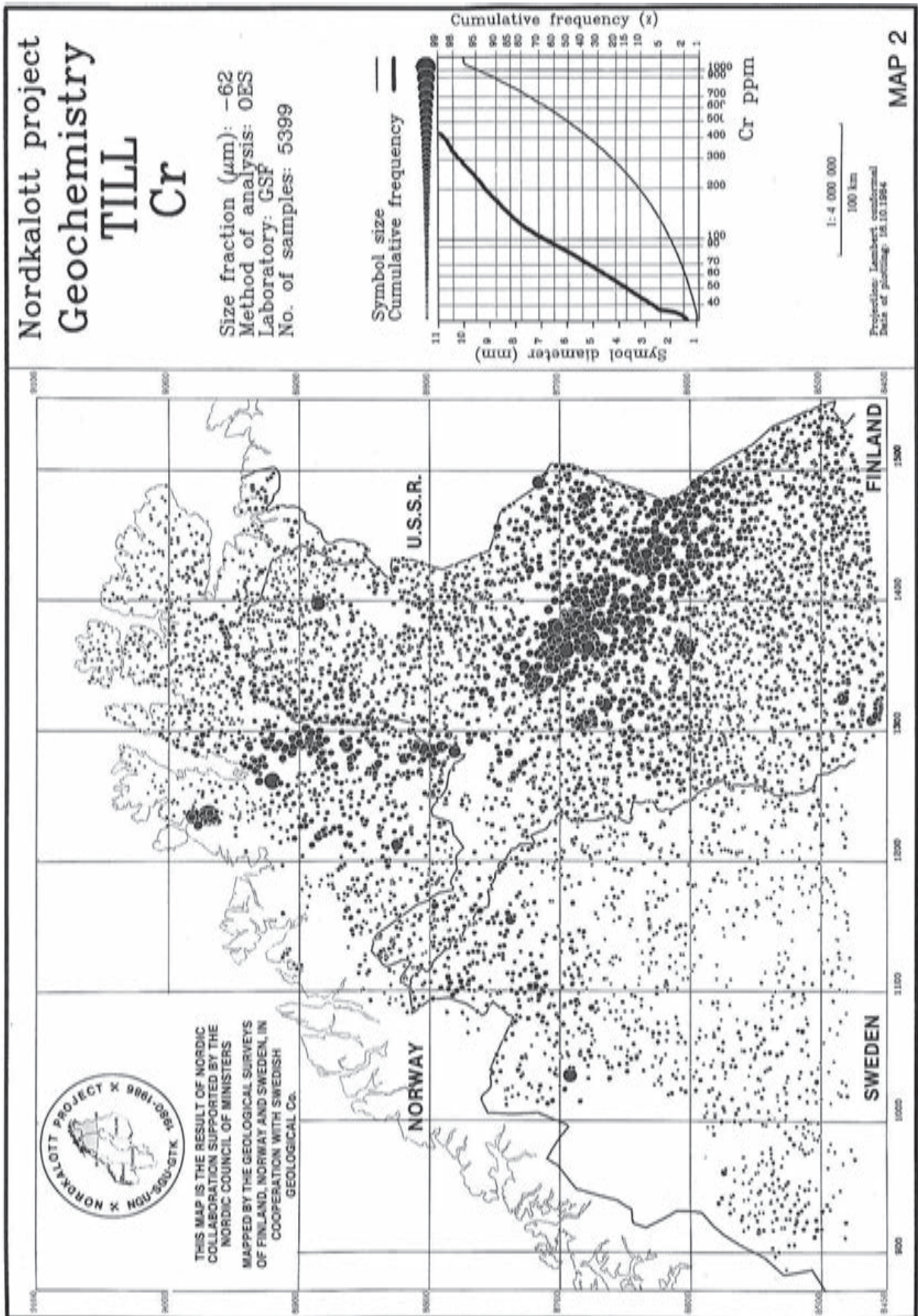
moreenin lantaani- (La), litium- (Li) ja yttriumpitoisuudet (Y) moreenissa symbolikartoilla esitettynä. Vaihtoehtoisesti väripintakartoilla esitetään jokaisen näytteen pitoisuus erikseen niin sanotusti jatkuvana pintana, jossa pitoisuuden vaihtelu näkyy joko värin tai harmaasävyn muuttumisena. Väripintakartan ja symbolikartan yhdistelmällä voidaan kuvata useampia alkuaineita tai muita ominaisuuksia samalla kartalla.

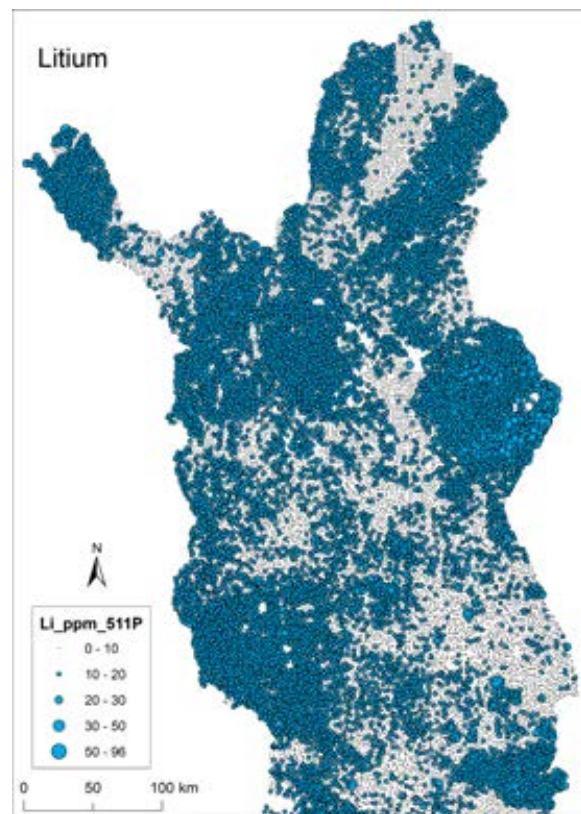
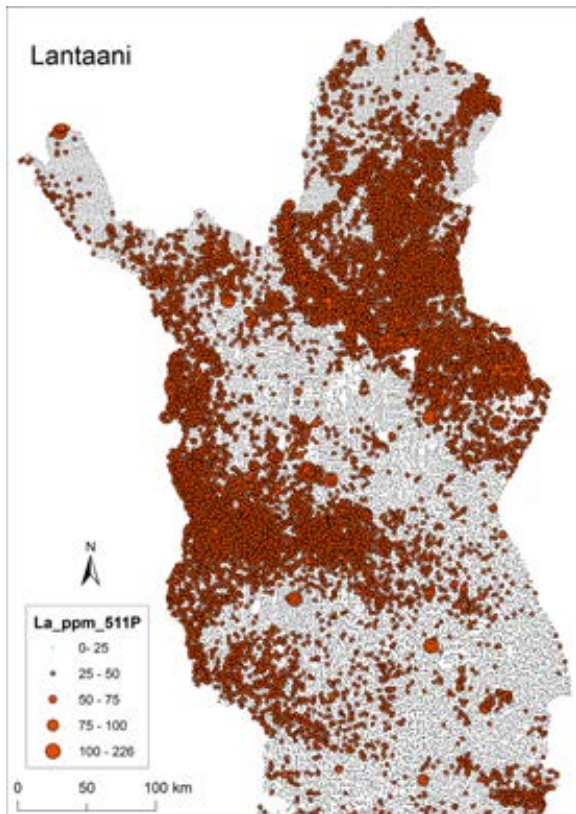
La, Li ja Y ovat esimerkkejä korkean teknologian eli niin sanotuista high tech -metalleista, joiden kysyntä ja hinta ovat maailmanlaajuisesti kasvamassa (Tuusjärvi ym. 2010). Erityisesti monet ajankohtaiset ympäristöteknologian ratkaisut perustuvat high tech -metallien käyttöön. Koska metallien käyttö on tähän asti ollut vähäistä, ei kierrätykselläkään ole pitkään aikaan merkitystä metallien hankinnassa, vaan se perustuu käytännössä kokonaan malmien löytämiseen ja kaivostoimintaan.

Kuvassa 16 nähdään Lapissa olevan kaksi ympäristöään korkeamman La-pitoisuuden aluetta. Korkeimmat pitoisuudet tavataan Soklin seudulla ja sieltä luoteeseen suuntautuvassa vyöhykkeessä sekä Inarinjärven ympäristössä. Toinen korkeiden pitoisuuksien alue on Länsi-Lapissa Pellon ja Rovaniemen välillä. Kuva 17 osoittaa Tuntsan alueen erottuvan ympäristöstään korkeilla Li-pitoisuuksillaan, Soklin fosforimalmiesiintymä sisältyy myös tähän alueeseen. Kuvan 18 näyttämä korkei-

Viereinen sivu; Kuva 15. Moreenin hienoaineksen (<0.06 mm) Cr-pitoisuus Pohjoiskalottiprojektin näytteissä, OES/EKV-analyysi. Lähde: Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia (Bölviken ym. 1986).

Next page; Fig. 15. Cr content in the fine fraction (<0.06 mm) of till samples taken for the Nordkalott Project, OES/EKV-analysis. Source: Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia (Bölviken et al. 1986).





Kuva 16. Moreenin hienoaineksen (<0.06 mm) La-pitoisuus Pohjois-Suomessa GTK:n alueellisen geokemiallisen kartoituksen 1 näyte/4 km² aineistossa, ICP-AES-analyysi. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 16. La content in fine fraction (<0.06 mm) of till in northern Finland according to areal geochemical mapping 1 sample/4 km², ICP-AES analysis. Source: GTK's database.

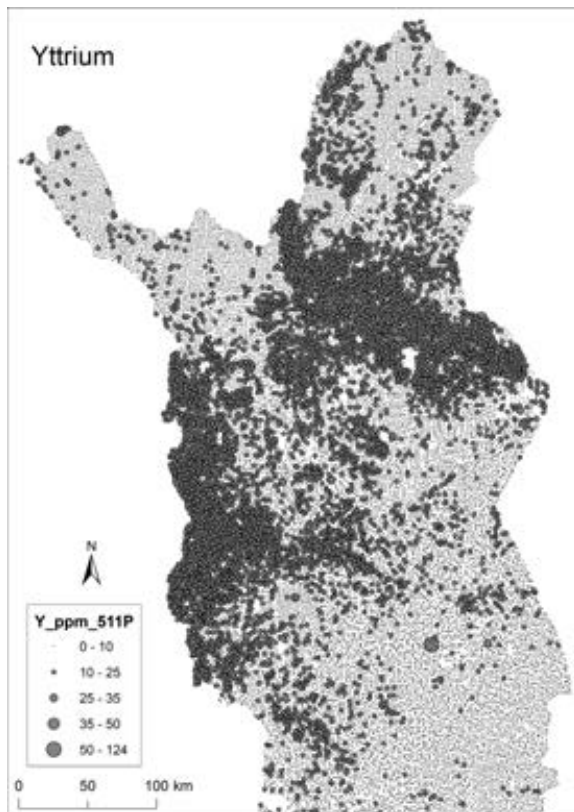
Kuva 17. Moreenin hienoaineksen (<0.06 mm) Li-pitoisuus Pohjois-Suomessa GTK:n alueellisen geokemiallisen kartoituksen 1 näyte/4 km² aineistossa, ICP-AES-analyysi. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 17. Li content in fine fraction (<0.06 mm) of till in northern Finland according to areal geochemical mapping 1 sample/4 km², ICP-AES analysis. Source: GTK's database.

den Y-pitoisuuksien vyöhyke yhtyy suurelta osin korkeiden La-pitoisuuksien vyöhykkeeseen, ja myös Pellon alue erottuu ympäristöstään Y-pitoisuuksillaan, mikä alkuaineiden kemiallinen lähisukulaisuus huomioon ottaen on luonnollista. Korkeiden La- ja Y-pitoisuuksien kaari liittyy geologisesti Pohjois-Lapin granuliittialueen etelä/länsireunaan, josta tunnetaan monenlaisia malmiviitteitä.

Alueellisen geokemiallisen kartoituksen tuloksia malminetsinnän kannalta tarkastellessa pitää muistaa, että näyteverkon harvuuden takia on erittäin epätodennäköistä, että mikään näyte

olisi onnistuttu ottamaan suoraan malmin esiintymän kohdalta. Näytteenottoaikojen välille mahtuu suuriakin esiintymiä. Kartoitustulos hahmottelee alueita, joilla malmin löytymisen todennäköisyys on suurempi kuin ympäristössä, mutta mitään aluetta ei voida määrittellä malmittomaksi sillä perusteella, että alueellisen kartoitusvaiheen näytteissä ei esiinny malmeihin viittaavia pitoisuuksia ja alkuaineyhdistelmiä. Geokemia on indikaatiivinen, ei eliminoiva malminetsintämenetelmä. Näytteenotto- ja analyysimenetelmien kehitys voi aina tuoda uutta tietoa aikaisemmin tutkituiltaakin



Kuva 18. Moreenin hienoaineksen (<0.06 mm) Y-pitoisuus Pohjois-Suomessa GTK:n alueellisen geokemiallisen kartoituksen 1 näyte/4 km² aineistossa, ICP-AES analyysi. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 18. Y content in fine fraction (<0.06 mm) of till in northern Finland according to areal geochemical mapping 1 sample/4 km², ICP-AES analysis. Source: GTK's database.

alueilta. Alueellisen kartoitusvaiheen ilmaisemilla kohdealueilla edetään monia geologisia, geofysikaalisia ja geokemiallisia tekniikoita rinnakkain käyttäen. Geokemiassa eteneminen tarkoittaa näyteverkon tihentämistä vaiheittain ja näytteenottotekniikan tehostamista niin, että näytteenotto voidaan ulottaa rapautumattomaan kallioon asti. Tässä niin sanotussa kohteellisessa tutkimusvaiheessa geokemiallisen tihennetyt näytteenoton lisäksi suoritetaan myös tarkempia maaperätutkimuksia, lohkarokartoituksia ja raskasmineraalitutkimuksia. Geokemiallisessa tutkimuk-

sessä voidaan käyttää myös useita keveitä näytteenotto- ja mittausten menetelmiä, joista mainittakoon heikkouuttotekniikkaan ja biogeokemiaan perustuvat menetelmät ja viime vuosina yleistyneet, röntgenfluoresenssiin perustuvat kannettavat XRF-analysaattorit (Sarala 2011).

Maankäyttöä ja ympäristöä koskevissa asioissa geokemiallisesta kartoituksesta saadaan tietoja muun muassa alueiden luontaisiin tuotantoedellytyksiin vaikuttavista ravinnealkuaineista sekä maa- ja kiviainesten ja luonnontuotteiden mahdollisista haitta-aineista (Sarala 2012). Useat metallit ovat sekä haitta-aineiden että välttämättömien hivenravinteiden luettelossa ja vasta tarkka tieto alkuaineyhdistelmästä ja/tai pitoisuustasoista kertoo, ollaanko puhtaalla vai saastuneella alueella.

Geokemian tulevaisuudennäkymistä

Geokemiallisten tutkimusten mahdollisuudet liittyvät aina käytettävissä oleviin kemiallisiin analysointimenetelmiin. Aikaisemmin käytettiin yksinkertaisia maastossa tai majoitustiloissa käytettäviä alkuaine- tai mineraalikohtaisia määritysmenetelmiä, joita täydennettiin pitkällä aikaviiveellä saatavilla laboratoriomäärittäyksillä. Monialkuaineanalytiikkaan kykenevien analysointilaitteiden kehitys on johtanut nykytilanteeseen, jossa teollisesti toimivat yritykset tarjoavat melkein koko jaksollisen järjestelmän alkuainejoukon pienetkin pitoisuudet nopeasti ja edullisesti; näytteitä lähetetään analysoitavaksi ympäri maapalloa. Analysointitarkkuuden parantuminen on laajentanut käyt-

tökelpoisten näytemateriaalien joukkoa jopa maaperän huokosissa oleviin kaasuihin - muihinkin kuin radoniin. Tämänhetkinen tekninen kehitys vie kohti analyysilaitteiden pienentymistä, joka johtanee siihen, että tulevaisuudessa ei tarvita varsinaista näytteenottoa, tai ainakaan näytettä ei tarvitse kuljettaa pois näytteenottopaikalta, vaan analysointi tehdään heti ja tulos voidaan saman tien lähettää sähköiseen tietovarastoon. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi kannettavat XRF- ja XRD-analysaattorit.

Kirjallisuus

- Bölviken, B., Bergström, J., Björklund, A., Kontio, M., Lehmuspelto, P., Lindholm, T., Magnusson, J., Ottesen, R.T., Steenfelt, A. & Volden, T. 1986. Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia, Scale 1:400 000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden. 19 s. + 155 kartaketta.
- Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H. 1979. Seloste geokemiallisen kartoituksen tutkimusmenetelmistä. Summary: Report on geochemical mapping methods. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 39, 20 s. http://arkisto.gtk.fi/tr/tr_39.pdf
- Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.) 2005. Pohjois-Suomen maaperä, maaperäkartojen 1:400 000 selitys. Summary: Quaternary deposits of Northern Finland - Explanation to the maps of Quaternary deposits 1:400 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 236 s.
- Koljonen, T. (toim.) 1992. Suomen geokemian atlas, osa 2: Moreeni = The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geologian tutkimuskeskus, 218 s., 9 liit. http://arkisto.gtk.fi/ej/ej8/ej_008.pdf
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen geokemian atlas, osa 1: Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus = The Geochemical Atlas of Finland, Part 1: The hydrogeochemical mapping of Finnish groundwater. Geologian tutkimuskeskus, 66 s., 1 liit. http://arkisto.gtk.fi/ej/ej_005.pdf
- Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, Osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit = Geochemical Atlas of Finland, Part 3: Environmental geochemistry – stream waters and sediments. Geologian tutkimuskeskus, 149 s. http://arkisto.gtk.fi/ej/ej_020.pdf
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivo-vesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155, 92 s. <http://arkisto.gsf.fi/tr/tr155.pdf>
- Lehmuspelto, P. 1994. Sodankylän ja Talkkunapään kartta-alueiden geokemia. Geokemiallisten karttojen selitykset, lehdet 37 ja 47. Geologian tutkimuskeskus, 24 s. http://arkisto.gtk.fi/gks/gks37_47.pdf
- Pulkkinen, E. 1996. Sallan kartta-alueen geokemia. Geokemiallisten karttojen selitykset, lehti 46. Geologian tutkimuskeskus, 43 s.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R. & Bornhorst, T.J. 2008. Chemical characteristics of Finnish bedrock – 1:1 000 000 scale bedrock map units (Electronic resource). Geologian tutkimuskeskus,

Tutkimusraportti 171, 94 s. <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr171.pdf>

Salminen, R. (toim.) 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994. Summary: Regional Geochemical Mapping in Finland in 1982-1994. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 130, 47 s. + 24 liit. http://arkisto.gtk.fi/tr/tr_130.pdf

Sarala, P. 2011. Moreenimuodostumat ja -geokemia 2000-luvun malminetsinnässä. Etsivä löytää 2, 2-4.

Sarala, P. 2012. Lapin maaperän luonnollinen puhtaus ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Natural geochemical characteristics of soil in Finnish Lapland. In: Rainer, P. & Sarala, P. (eds.), Pohjoinen puhtaus. Acta Lapponica Fenniae 24, 26-43.

Tenhola, M. & Tarvainen T. 2008. Purovesien ja orgaanisten purosedimenttien alkuainepitoisuudet Suomessa vuosina 1990, 1995, 2000 ja 2006. Summary: Element concentrations in stream water and organic stream sediment in Finland in 1990, 1995, 2000 and 2006. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 172, 60 s. <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr172.pdf>

Tuusjärvi, M., Sarapää, O., Tontti, M., Ahtola, T., Kinnunen, K., Luodes, H., Hyvärinen, J., Virtanen, K., Kallio, J. & Vuori, S. 2010. Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2009. Summary: Geological resources in Finland, production data and annual report 2009. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 188, 55 s.

Geofysikaalinen kartoitus

Pertti Turunen ja Heikki Salmirinne

Johdanto

Geofysikaaliset mittaukset ovat yksi menetelmäryhmä, kun halutaan tutkia maa- ja kallioperän koostumusta ja rakenteita. Herkillä mittausslaitteilla rekisteröidään poikkeamia eli anomalioita, joita kivien ja irtomaiden fysikaalisten ominaisuuksien vaihtelut synnyttävät fysikaalisiin kenttiin. Fysikaalisten ominaisuuksien taustalla on kiven mineraloginen koostumus ja ne ovat verrattavissa kemiallisiin analyyseihin, joita ilman kivien tutkiminen olisi vain kvalitatiivista kuvailua. Geofysikaalisia kenttiä voidaan usein mitata suhteellisen helposti, nopeasti ja edullisesti, ja havaintotuloksista on paljastet-

tavissa tietoa suurista maankamaran rakenteista ja anomalian aiheuttajan piirteistä jopa kilometrien syvyyteen saakka.

Malminetsintä on erityisen otollinen kohde geofysikaalisille mittauksille, koska malmiesiintymien magneettiset ja sähköiset ominaisuudet samoin kuin tiheys ja radioaktiivisuus poikkeavat usein selvästi isäntäkiven ominaisuuksista. Maakerrosten peittämällä alueella geofysikaalisella kartoituksella voidaan havaita tuntemattomia mineralisaatioita kallioperästä, mutta niiden todellisen koon, laadun ja ulottuvuuksien selvittäminen vaatii lisäselvityksiä. Geofysikaaliset mittaukset auttavat laatimaan arvioita esiintymän merkittävydestä ja

antamaan ohjeita näytteenoton kohdistamiseksi optimaaliseen paikkaan.

Geofysiikka soveltuu myös muuhun geologiseen tutkimukseen, kuten geologiseen kartoitukseen ja rakenne- ja ympäristötutkimukseen. Malmittomienkin kivien fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat vaikka anomaliat saattavat olla vaatimattomia malmien rinnalla, mutta suuret, jopa satojen tai tuhansien kilometrien pituiset rakenteet näkyvät esimerkiksi magneettisella kartalla eivätkä irtomaiden laadun tai paksuuden vaihtelut taikka vesialueet merkittävästi samenna anomalioita. Jos kartoitettava rakenne on varmistettu maastohavainnoilla muutamassa paikassa, voidaan geofysikaalisten karttojen avulla suhteellisen luotettavasti tulkita rakenteen jatkumista ja siinä tapahtuvia muutoksia.

Merkittävin nykyajan vaatimukset täyttävä geofysikaalisen tiedon hankkimismenetelmä on ilma-aluksesta tehtävä kartoitus. Suomi on ollut yksi edelläkävijämaita tekniikan alullepanossa ja suunniteltujen kartoitusohjelmien loppuun saattamisessa. Lapinkin alue on kartoitettu magneettisin, sähkömagneettisin ja radioaktiivisin menetelmin, vieläpä kahdelta eri korkeudelta. Tärkeä raskaan sarjan geofysikaalinen menetelmä on painovoimamenetelmä, mutta sen toteuttaminen on mitausteknisten vaatimusten vuoksi muita mainittuja menetelmiä työläämpää ja alueellisissa tutkimuksissa joudutaan toistaiseksi turvautumaan harvaan maanpinnalta tehtyyn mittausverkkoon. Alueellisten mittausten lisäksi on malminetsintäkohteissa vuosien aikana tehty merkittävä määrä kohteellisia geofysikaalisia kartoituksia eri menetelmillä.

Seuraavassa esitellään Suomen geofysikaalisten mittausten korkea- ja matalalento-ohjelmaa Lapin alueelta, tarkastellaan lyhyesti alueellista painovoimakartoitusta ja esitetään esimerkki malminetsinnän tueksi tehdystä maanpintamagnetometrauksesta.

Aerogeofysikaaliset lento- kartoitukset

Geologinen tutkimuslaitos (nykyisin GTK) aloitti aeromagneettiset mittaukset vuonna 1951 yhtenä ensimmäisistä organisaatioista maailmassa (Peltoniemi 1988, 1998, Airo 2005). Tätä ennen oli ilma-aluksesta toteutettavia mittauksia ja mittausyrityksiä tehty Ruotsissa, Neuvostoliitossa ja Kanadassa, ensin magneettisella ja kymmentä vuotta myöhemmin sähkömagneettisella menetelmällä. Ydinteknologian lisääntyneen käytön myötä uraanin etsintään ryhdyttiin käyttämään myös lentomittauksena tehtäviä gammasäteilymittauksia. Viime vuosikymmeninä lentogravimetraus on kehittynyt kypsäksi menetelmäksi ja nykyään maailmalla taajuusalueen sähkömagneettiset kartoitukset ovat korvautuneet suurena määrinä aika-alueessa tapahtuvilla transienttimittauksilla. Geofysikaalisiin lentomittauksiin on myös luettava tässä maininnalla sivuutettavat kaukokartoitusmenetelmät, joita tehdään erilaisilla aallonpituusalueilla monia eri tarkoituksia varten.

Ilma-aluksesta toteutettavien mittausten alkuperäisenä tarkoituksena on ollut malmimineraalien etsintä. Ensimmäisissä kokeiluissa tutkittiin tunnettujen rautamalmiesiintymien kuten Kiirunan magneettikenttiä. Magneet-

tiset mittaukset ovat kertaluokkaa helpompia tehdä kuin sähkömagneettiset, joiden aloitus tapahtui vuosikymmen myöhemmin. Suuret rautamalmiesiintymät ja massiiviset kiisuesiintymät aiheuttavat näihin mittausmenetelmiin voimakkaan taustasta erottuvan anomalian. Laitteiston ja tulosten käsittelyn kehittyessä havaittiin mittauksilla olevan käyttöä myös geologisessa kartoituksessa. Tätä varten kartoitusalueet laajenivat kohteellisista ”täsmämittauksista” koko valtakunnan kattavaksi kartoitukseksi, minkä tuloksena löydettiin myös aikaisemmin tuntemattomia ja pintaan puhkeamattomia malmiesiintymiä.

Lentomittauksilla on useita etuja verrattuna muihin vastaavan tiedon hankintatapoihin. Mittaukset etenevät joutuisammin kuin maanpinnalta ja vaikeat maasto-olosuhteet, kuten vesistöt, ovat lentomittauksilla helpommin saavutettavissa, mistä etuna ovat alemmat yksikkökustannukset. Heikkoutena lentomittauksilla on maastomittauksia suurempi korkeus ja harvempi linjaväli, mistä aiheutuu yksityiskohtien vähene mistä ja tuloksen muuttumista yleisluontoisemmaksi. Lentokorkeudessa on aina jonkin verran vaihtelua johtuen maanpinnan korkeusvaihteluista ja nämä vaihtelut aiheuttavat mittauksiin oman virhelähteen. Mittauskalusto on kallis ja monimutkainen, ja mittauksen toteutus kokonaisuutena on vaativampaa ja raskasliikkeisempää kuin maanpinnalta.

Korkealento-ohjelma 1951 - 1972

Suomessa tehtiin 1950 päätös koko maan kattavasta systemaattisesta aerogeofysikaalisesta kartoituksesta (Pel-

toniemi 1998, Kurimo 2011). Kartoitus aloitettiin 1951 aeromagneettisin mittauksin, vuonna 1954 aloitettiin aerosähkömagneettiset mittaukset hinauskelajärjestelmällä ja vuonna 1956 kalustoon lisättiin gammasädeskintillometri. Näissä niin sanotuissa korkealentomittauksissa käytettiin 150 metrin lentokorkeutta ja 400 metrin linjaväliä. Korkealentomittaukset päättyivät kenttätöiden osalta vuonna 1972, jolloin aeromagneettinen yleiskartoitus käsitti koko valtakunnan alueen ja noin 800 000 linjakilometriä. Lentokoneena oli Lockheed Lodestar (”Kultakuokka”).

Korkealento-ohjelman tärkein tulos oli magneetikentän totaali-intensiteetti ja siitä piirretyt anomaliakartat ovatkin olleet käyttökelpoisia malminetsinnässä ja geologisessa kartoituksessa. Piirturi-rekisteröinneistä laadittiin käsivaraisesti magneetikentän sama-arvoesitykset. Yksityiskohtaiseen tulkintaan kartat eivät sovi, mutta suurista rakenteista ja kivilajivaihteluista ne antavat arvokasta informaatiota erityisesti kallioperäkartoitusta varten. Sähkömagneettisina mittauksina rekisteröitiin sähkömagneettisen kentän anomalian intensiteettiä ja vaihe-eroa, mutta näillä mittauksilla oli vain vähän käytännön merkitystä. Paikannustarkkuus ei ollut nykyajan vaatimusten kannalta hyvä - paikannusvirhettä saattoi olla jopa 100-300 m.

Matalalento-ohjelma 1972-2007

Vuonna 1972 aloitettiin korkealentoa yksityiskohtaisemmat matalalentomittaukset (Peltoniemi 1988, 1998, Airo 2005, Kurimo 2011). Niissä käytettiin 30 metrin nimelliskorkeutta ja 125-200



Kuva 19. Matalalentoihin käytetty Twin-Otter vuoden 2004 asussa. Siipien kärjissä sähkömagneettisen järjestelmän lähetin ja vastaanotin. Magnetometri on nokkapuomissa ja säteilymittausanturit rungon sisällä. Kuva GTK.

Fig. 19. Twin-Otter used in low altitude airborne mapping as it was in 2004. Transmitter and receiver of the electromagnetic system at wing-tips. Magnetometer in nose boom and radiometric crystals inside the fuselage. Photo GTK.

(yleensä 200) metrin linjaväliä sekä 175–200 km/h (= ~50 m/s) lentolinjanopeutta. Lentosuunta sovittiin suurten geologisten rakenteiden kulkua vastaan kohtisuoraan, mutta vain pohjois-eteläisiä tai itä-läntisiä suuntia käytettiin. Lentokoneena matalalentoissa oli ensin Douglas DC-3, myöhemmin DHC-6 Twin Otter (kuva 19) sekä Cessna Caravan. Ohjelman aikana lennettiin noin 1,94 miljoonaa linjakilometriä, mistä Lapin osuuden voidaan arvioida olevan kolmannes.

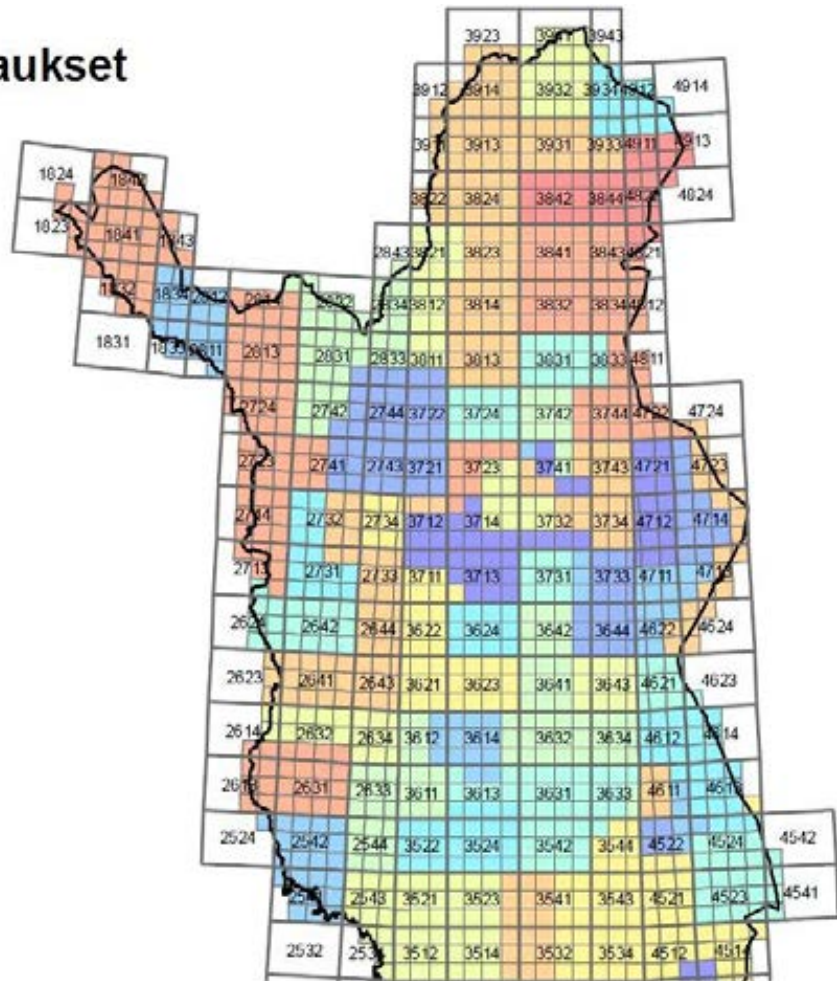
Matalalento kohteet valittiin malmikriittisiksi tiedetyiltä tai oletetuilta alueilta. Mittausalueet toteutettiin 1:100 000-karttalehdittain tai niiden osina ja ne valittiin tasaisesti koko Suomesta siten, että lennettyjen alueiden kartta muistutti tilkkutäkkiä, jossa oli tiheitä ja harvoja vyöhykkeitä. Myös Lappi täydentyi sopusoinnussa muun Suomen kanssa, ja

vähitellen kartoitetut alueet kasvoivat yhteen niin että ohjelma muuttui kokonaan systemaattiseksi kartoitukseksi. Kuvassa 20 esitetään Lapin lentoalueet eri vuosina.

Ajan mukana mittauskalustoa kehitettiin ja monipuolistettiin niin, että datan laatu parani koko ajan. Magnetometri määrä lisääntyi, mittauspiste tiheys kasvoi, sähkömagneettiseen kalustoon tehtiin laadullisia ja laiteteknisiä parannuksia ja gammasäteilymittauksen kidekoko ja kanavamäärä kasvoivat. Merkittäviä parannuksia oli myös paikannustekniikan kehittäminen, jolloin kymmenien metrien epätarkkuudesta päästiin metrien luokkaan tarkkuussatelliittipaikannuksen (DGPS:n) käyttöönoton myötä. Suurimmat parannukset mittausohjelman kestäessä tapahtuivat tietotekniikan kehityksen myötä. Kaikkien näiden tekijöiden takia uusimmat mittaukset ovat

Matalalentomittaukset 1972 - 2007

Mittausvuosi



Kuva 20. GTK:n matalalentomittaukset Lapin alueella vuosina 1974-2007. Lähde GTK:n tietokanta.
Fig. 20. GTK's low altitude airborne mapping areas in 1974-2007. Source: GTK's database

laadultaan parhaita, vaikka ne sijaitsevat ainakin osittain vähiten mielenkiintoisilla ja malmikriittisillä alueilla. Joiltakin alueilta, erityisesti lupaavien kaivospaikkojen ympäriltä, jotka malmikriittisinä mitattiin ohjelman varhaisina vuosina, on tehty 2000-luvulla uusintamittaukset nykyaikaisella kalustolla (kuva 21). GTK:n lisäksi malminetsintä- ja kaivosyhtiöt ovat tehneet omia kartoituksiaan.

Lentomittausten toteutuksesta

Lentomittausten käytännön toteuttamista ovat selostaneet Peltoniemi (1989 ja 1998), Airo (2005), Airo ym. (2011) sekä Kurimo (2011). Rutiiniluonteisia

lentomittauksia tehdään vain lumettomana aikana muun muassa siksi, että gammasäteilyn intensiteetti vaimenee nopeasti vesi-, lumi- tai jääpitoisuuden kasvaessa. Sateiset, tuuliset, ukkosmyrskyiset ja magneettisesti rauhattomat olosuhteet estävät mittaukset turvallisuussyistä sekä sen tähden, että mitaustuloksissa on tuolloin liian paljon korjattavaksi mahdotonta kohinaa.

Lentokenttä, jolta lennot operoidaan, valitaan mahdollisimman läheltä kartoitusalueelta. Lentoalueelle sijoitetaan maan kentän vaihteluita rekisteröivä maa-asema, jonka rekisteröintien perusteella mitaustuloksista poistetaan auringon aktiivisuuden aiheuttama maan



Kuva 21. Matalalentomittausta Keski-Lapissa. Valokuva GTK/Kai Nyman.

Fig. 21. Low altitude airborne mapping in Lapland. Photo GTK/Kai Nyman.

magneettikentän vaihtelu. Ilman tätä korjausta magneettiseen mittaukseen tulisi vaihtelevan kokoinen tulosten tulkintaa haittaava virhekomponentti. Maa-aseman avulla seurataan myös magneettikentän rauhallisuutta. Jos maa-asemahavaintojen perusteella maan magneettikenttä on riittävän rauhallinen, kone lähtee aamulla liikkeelle ja tekee päivän aikana muutaman tunnin pituisia lentoja, jonka aikana tehdään sekä magneettiset, sähkömagneettiset että radioaktiivisuusmittaukset. Mittauslennot tehdään samansuuntaisilla linjoilla, joiden pituus on muutamia kymmeniä kilometrejä. Tukikohdassa seurataan mittaustulosten laatua mutta lopullinen käsittely erilaisine korjauksineen sekä karttatuotanto tehdään toimistolla. Ennen nykyajan tietotekniikkaa näiden vaiheiden valmistuminen kesti kuukausia niin että edellisen kauden tulokset valmistuivat vasta vähän ennen seuraavan kauden alkua. Lentoalueen valmistuttua yleensä kahden-kolmen viikon kuluttua kone siirtyy toiselle alueelle.

Mitatuista fysikaalisista parametreista käytetään arkipuheessa termejä ”magneettikentän voimakkuus”, ”reaali- ja imaginaarikomponentti”, ”totaalisäteily” sekä ”kalium-, uraani- ja toriumpitoisuus”. Täsmällisesti sanottuna magneettikentän voimakkuudella tarkoitetaan magneettivuon tiheyttä ja sen yksikkönä käytetään nanoteslaa, merkitään nT. Vuontiheys Lapissa on noin 53000 nT, johon geologisten rakenteiden synnyttämät anomaliat summautuvat. Anomalioiden intensiteetit vaihtelevat ja ne ovat tyypillisesti muutamia satoja tai tuhansia nanotesloja. Tulokset voidaan esittää joko tausta- ja anomaliakentän summana tai pelkkänä anomaliana. Sähkömagneettisessa mittauksessa havainnoidaan indusoituneen sähkömagneettisen sekundaarikentän intensiteetin suhdetta primäärikentän intensiteettiin. Primäärikentän kanssa samassa vaiheessa olevaa komponenttia sanotaan reaalikomponentiksi ja 90 asteen vaihesiirrossa olevaa komponenttia imaginaarikomponentiksi. Nämä ovat paljaita lukuja ja tyypilli-

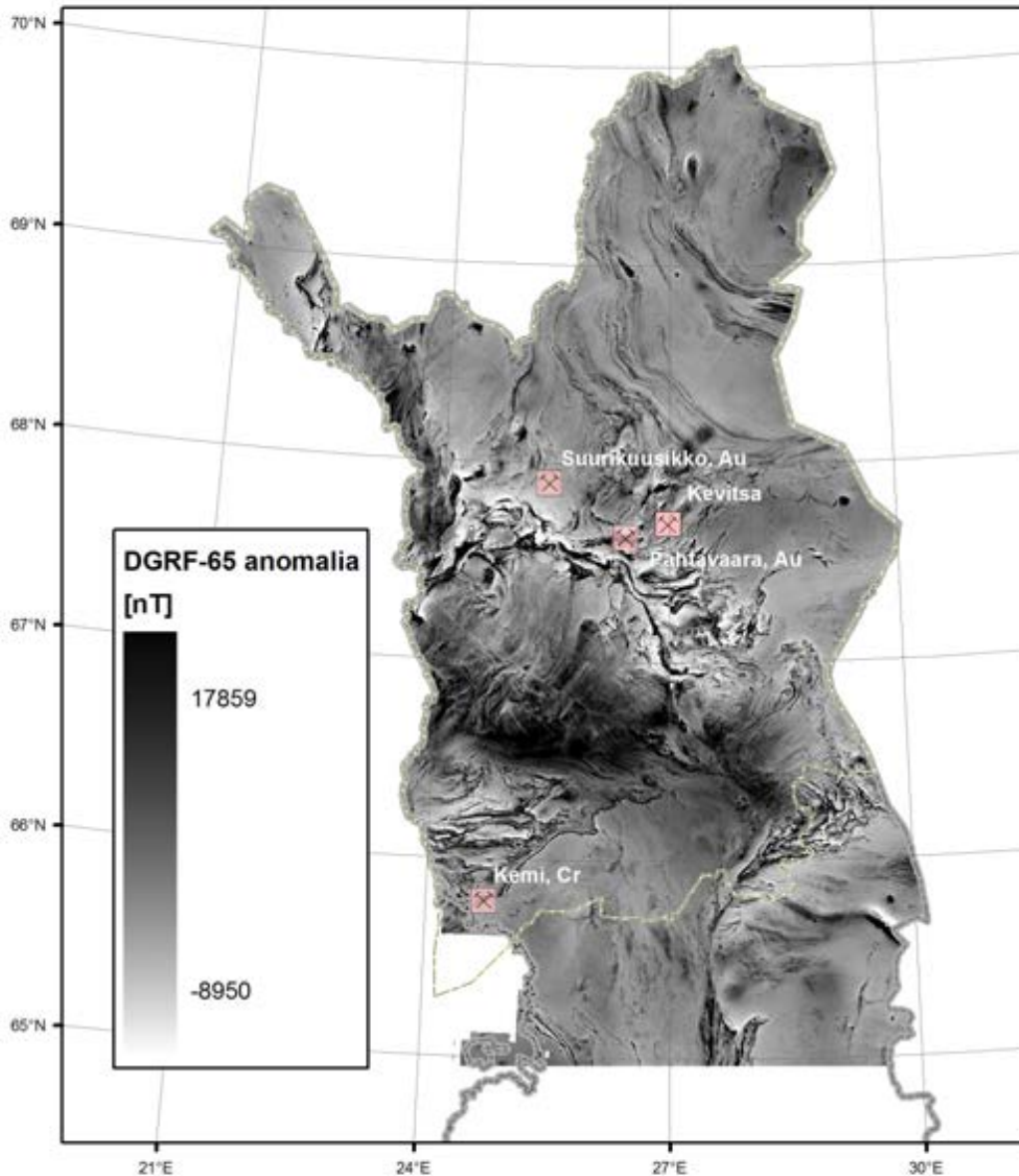
set voimakkuudet ovat muutamia satoja miljoonasosia (ppm). Johtavuuden kasvaminen näkyy ensin imaginäärikomponentissa ja magnetiitti kääntää reaali-komponentin anomalian negatiiviseksi. Säteilyllä tarkoitetaan gammasäteilyä ja sen totaalikomponentilla energiavälillä 0,41-2,81 MeV rekisteröityjen pulssien määrää. Tämän ikkunan ulkopuolella oleva säteily on joko mielenkiinnottomia kohinaa tai avaruudesta peräisin olevaa. Kaliumpitoisuus mitataan energiaikkunassa 1,37-1,57 MeV havaittujen pulssien määränä ja kalibroidaan K-pitoisuudeksi. Vastaavasti uraanin energiaikkuna on 1,66-1,86 MeV ja toriumin 2,41-2,81 MeV. Kahta viimeksi mainittua ei pystytä mittaamaan suoraan vaan joudutaan turvautumaan oletukseen, että uraanin ja toriumin hajoamissarjojen tytärnuklidit ovat sekulaarisessa tasapainossa. Kaliumpitoisuus on tavallisesti alle viisi prosenttia ja uraanin sekä toriumin pitoisuudet kymmenen miljoonasosan tienoilla.

Lapin ja muun Suomen geofysikaalisessa lentokartoituksessa magneettikenttää mitattiin yleensä kahdella siivenkärkiin sijoitetulla protonimagnetometrillä. Joinakin vuosina oli vielä kolmas magnetometri koneen takapuomissa. Usean magnetometrin rekisteröinneistä voidaan arvioida kentän käyttäytymistä lentolinjojen välissä. Vuodesta 1992 lähtien protonimagnetometrit korvattiin cesium-magnetometreilla, joiden mittaustarkkuus on 0,001 nT protonimagnetometrin tarkkuuden 0,1 nT sijasta. Kaikki magneettiset kartat on sidottu vuoden 1965 tasoon, jotta maan kentän muutosten vaikutus karttakuvaan saadaan eliminoiduksi. Kentän voimak-

kuus mitattiin aluksi kaksi kertaa sekunnissa, mutta ajan mukana tiheys kasvoi asteittain kymmeneen havaintoon sekunnissa. Laitteiston parantaminen näkyi karttojen laadun paranemisena, mutta esimerkiksi kuvan 22 Lapin magneettikenttäkartasta ei voi päätellä eri alueiden mittausaikaa.

Maankamaran sähköisiä ominaisuuksia voidaan kartoittaa joko taajuus- tai aika-alueen menetelmillä. Suomessa on perinteisesti käytetty GTK:ssa suunniteltua ja rakennettua taajuusalueen mittauskalustoa, jonka parametrit kuten 3 kHz:n taajuus on sovitettu antamaan optimaalinen vaste kiisujen etsinnässä maamme kallioperän olosuhteissa. Mittauksessa tarvitaan kaksi kelaa, lähetin ja vastaanotin, jotka on saatava kauas toisistaan syvyysulottuvuuden kasvattamiseksi. Eri konemalleissa kelat ovat sijainneet koneen nokassa ja perässä tai siipien kärjissä, mistä seuraa erilaisten johderakenteiden synnyttämiin mitaustuloksiin jonkin verran eroja. Rekisteröintiväli on lähes koko mittausohjelman ajan ollut neljä kertaa sekunnissa. Taajuuksien määrä kasvoi alkuaikojen yhdestä ensin kahteen ja myöhemmin neljään. Jokainen taajuus antaa omalla tavallaan informaatiota maankamaran sähköjohtavuudesta ja sen syvyyssuunnaisesta jakaumasta. Kaluston, erityisesti kelajärjestelmien vaihtelut, näkyvät epäjatkuvuuksina karttakuvioissa eri aikoina lennettyjen alueiden rajoilla, samoin soisten alueiden kartat saattavat olla raitaisia. Ongelmia voidaan jälkikäteen vähentää matemaattisilla operaatioilla.

Kolmas matalalentokartoituksessa lentokoneesta mitattu geofysikaalinen parametri on gammasäteilyn intensiteet-



Kuva 22. Magneettinen matalalentokartta Pohjois-Suomesta. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 22. Magnetic low altitude airborne map from northern Finland. Source: GTK's database.

ti. Suomelle tyypillisen kostean irtomaan ja runsaiden vesistöjen takia säteilyn intensiteetti on yleensä matala. Heikon säteilykentän mittaustarkkuutta voidaan parantaa joko mittauskiteen tilavuutta kasvattamalla tai mittausaikaa lisäämällä. Näihin liittyy ongelmia siten, että pitkä mittausaika heikentää spatiaalista resoluutiota ja kiteiden koon lisääminen kasvattaa niiden painoa. Säteilykentän intensiteetti rekisteröidään kerran sekunnissa, jona aikana lentokone etenee noin

50 m. Kiteiden tilavuus on vuosien kuluessa kasvanut 27 litrasta 42 litraan samalla, kun kanavien määrä on kasvanut 36:sta 256:een. Gammasäteilystä mitataan koko spektri mutta lähemmin tarkastellaan vain kolme ikkunaa merkittävimpien pitkäikäisten radioaktiivisten nuklidien eli kaliumin, uraanin ja toriumin pitoisuuksien määrittämiseksi. Eri tilavuisten kiteiden antamat tulokset voidaan korjata vastaamaan toisiaan.

Geofysikaalisten mittausparametrien

kanssa yhtä tärkeää on havaintopisteiden paikan tietäminen. Paikanmääritys on perustunut kiintopisteisiin, dopplermenetelmään ja vuodesta 1993 lähtien DGPS-menetelmään. Määrityksen tarkkuus on ajan mukana parantunut niin että alkuaikojen jopa muutaman sadan metrin epätarkkuus on pienentynyt muutamaan metriin. Lentokorkeutta mitataan radiokorkeusmittarilla, jonka toiminta perustuu sähkömagneettisen pulssin kulkuajan mittaamiseen. Antennista lähetetty pulssi heijastuu maastoes-teestä ja alkuperäisen sekä heijastuneen aallon aikaero mitataan. Nykyaikaisella radiokorkeusmittarilla saavutetaan parhaimmillaan ± 2 % tarkkuus matalalentoissa käytetyille korkeuksille.

GTK on huolehtinut maamme arogeofysikaalisesta kartoituksesta. Omia kartoituksiaan ovat tehneet kotimaiset ja ulkomaiset kaivosyhtiöt, sekä pienialaisia kohteellisia kartoituksia että laajoja alueita. Näistä mittauksista vain osa on julkisia ja julkisessa käytössä olevat kartat perustuvatkin GTK:n kartoituksiin.

Mittaustulosten tulkinnasta

Geofysikaalinen lentokartoitus useine parametreineen sisältää paljon monipuolista informaatiota, jota voidaan käyttää yleiseen kohdealueen luonnehdintaan, geologiseen kartoitukseen sekä mineraalien etsintään. Jos kartoitus tehdään samalla alueella kahdesti tai useammin eri aikoina, eri kertojen mittaustulokset antavat mahdollisuuden ympäristön muutosten seuraamiseen. Magneettisten, sähköisten ja radioaktiivisten ominaisuuksien perusteella voidaan luokitella kallioperän kivilajiyksiköitä ja

erilaisia maapeitealueita sekä määrittellä tarkempaa tutkimusta vaativia kohteita. Geologista informaatiota voidaan jatkaa sellaisille kartoitetuille alueille, joista paljastumatieto puuttuu (Airo 2005, Airo ym. 2011).

Geofysiikan käyttö malminetsinnässä perustuu siihen, että useimpien malmineraalien fysikaaliset ominaisuudet ovat anomaalisia eli ne poikkeavat tavallisten ”isäntäkivimineraalien” ominaisuuksista. Siten tärkeimmän rautamalmineraalin, magnetiitin, magneettiset ominaisuudet ovat monta kertaluokkaa voimakkaammat kuin isäntäkivellä, ja vastaavasti sähköjohtavuus kiisuilla on kertaluokkaa parempi kuin sivukivellä. Magneettikenttäkartassa (kuva 22) magnetiittiesiintymän lähellä on anomalia, jonka lähiympäristöön tarkemmat tutkimukset voidaan kohdistaa, samoin sähkömagneettisessa vasteessa on anomalia kiisuesiintymän päällä.

Korkea- ja matalalentomittauksen tuottamilla magneettisilla kartoilla on yhteisiä piirteitä ja eroja. Suurempi lentokorkeus vaimentaa maankamaran pintaosien aiheuttamia anomalioita, mutta syvistä rakenteista ei synny eroja. Matalalentodata antaa yksityiskohtaista tietoa erityisesti malminetsintää varten. Korkealentokartoituksessa pintaefektien suhteellinen osuus on pienempi ja syvälle ulottuvat tai siellä sijaitsevat sekä suuret rakenteet korostuvat. Matalalentomittaus voidaan matemaattisella operaatiolla jatkaa ylöspäin vastaamaan korkealentomittauksia ja teoriassa myös päinvastoin, mutta käytännössä jälkimmäinen operaatio korostaa mittausvirheitä. Matalalentomittaukset ovat perusteltuja korkealentomittauksen jälkeen,

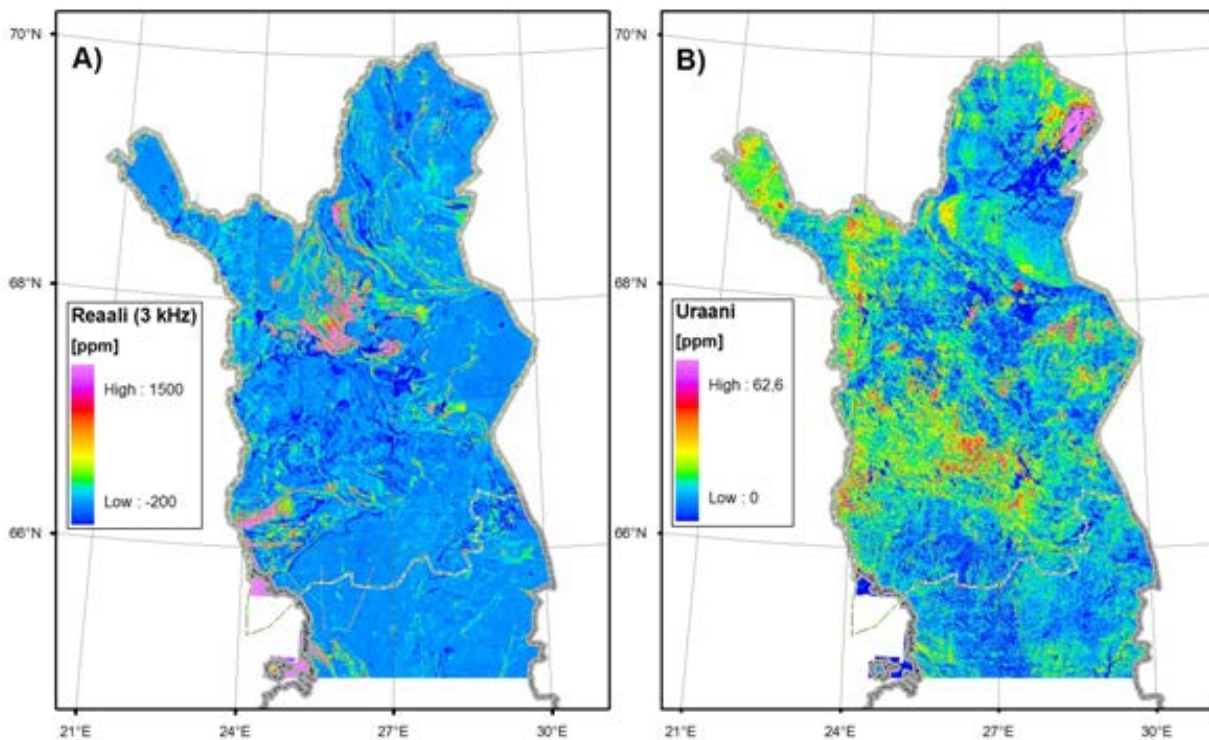
vastakkainen suunta vain erikoistapauksissa.

Magneettisten mittausten syvyysulottuvuus eli se syvyys, jolle saakka ulottuvat rakenteet antavat käyttökelpoista informaatiota, on useita kilometrejä, jopa kymmenen kilometrin luokkaa. Sähkömagneettisten mittausten kohdalla syvyysulottuvuus jää sataan metriin. Pinnassa olevat johtavat rakenteet vaimentavat mittauskenttää ja samalla tutkittavan geologisen kohteen antamaa signaalia. Kosteat maat kuten suot vaimentavat sähkömagneettisia anomaliaita voimakkaasti. Kolmannen mittausparametrin eli gammasäteilyn kohdalla informaatiota tulee vain muutaman kymmenen sentin syvyydeltä ja vesi on käytännössä merkittävin säteilyn vaimentaja. Monesti säteilevät yksiköt

sijaitsevat vaarojen ja tunturien laella, koska siellä ei ole vettä eivätkä irtomaat vaimenna säteilyä (kuva 23). Jos kosteus ja irtomaat eivät vaimentaisi säteilykenttää, radioaktiivisesti anomaalisten alueiden laajuus olisi paljon kartoissa nyt näkyvää suurempi.

Alueelliset painovoimamittaukset

Painovoimamittauksilla, joissa tutkitaan maan vetovoimakentän vaihtelua, saadaan epäsuorasti tietoa maa- ja kallioperän tiheysvaihteluista. Painovoimamenetelmää nimitetään myös gravimetrisiksi menetelmäksi ja mittauksia gravimetrisiksi mittauksiksi. Laitetta, joka erittäin tarkan jousivoiman mittauksen avulla rekisteröi painovoimaa, kutsutaan gravimetriksi. Mittaukset



Kuva 23. Aeroelektromagneettinen reaalikomponentti (vasemmalla) ja gammasäteilyn ekvivalenttiuraanipitoisuus (oikealla) Lapissa. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 23. Aeroelectromagnetic real (or in-phase) component (left) and gamma radiation equivalent uranium content (right) in Lapland. Source: GTK's database.

tehdään yleensä maanpintamittauksina, mutta viime aikoina tekniikan kehityksen myötä myös lentomittaukset sekä reikämittaukset ovat tulleet varteenotettaviksi vaihtoehdoiksi.

Geodeettinen laitos on mitannut vuosina 1945-1978 koko valtakunnan kattavan painovoimapisteverkon, jossa mittauspisteiden keskimääräinen väli on noin 5 km (Kääriäinen & Mäkinen 1997). Aineisto soveltuu kallioperän suurrakenteiden tutkimiseen, mutta on liian harvaa kallioperäkartoituksen ja malminetsinnän tarpeisiin. Kallioperäkartoituksen sekä mineraalisten raaka-ainevarojen kartoituksen tueksi on GTK tehnyt 1970-luvulta lähtien tarkempia alueellisia painovoimamittauksia pistetiheydellä 1-6 pistettä/km² (Elo 1992a, 1992b). Myös lentomittausta on testattu Savukosken ja Pelkosenniemen alueelle vuonna 2011 tehdyllä noin 1000 km² suuruisella aerogravimetrisellä mittauksella. Vuonna 2012 alueelliset harvapistemittaukset kattoivat Lapista noin 20 000 km², mikä on noin 20 % koko maakunnan pinta-alasta.

Painovoimamittausten tulokset muunnetaan yleensä erilaisiksi suhteelliseksi painovoima-anomalioksi, joilla pyritään kuvaamaan tutkimuksen kohteena olevien kallio- ja maaperämuodostumien sijaintia, muotoa, asentoa ja massaa. Tiheysvaihteluiden kuvaamiseen yleisimmin käytetty esitysmuoto on Bouguer-anomalia. Painovoiman, kuten myös Bouguer-anomalian yksikkönä, käytetään yleisesti yksikköä milligal eli mgal (1 mgal = 10⁻⁵ m/s²). Ympäristöään tiheämpi muodostuma aiheuttaa positiivisen Bouguer-anomalian ja vastaavasti tiheydeltään pienempi kohde negatiivi-

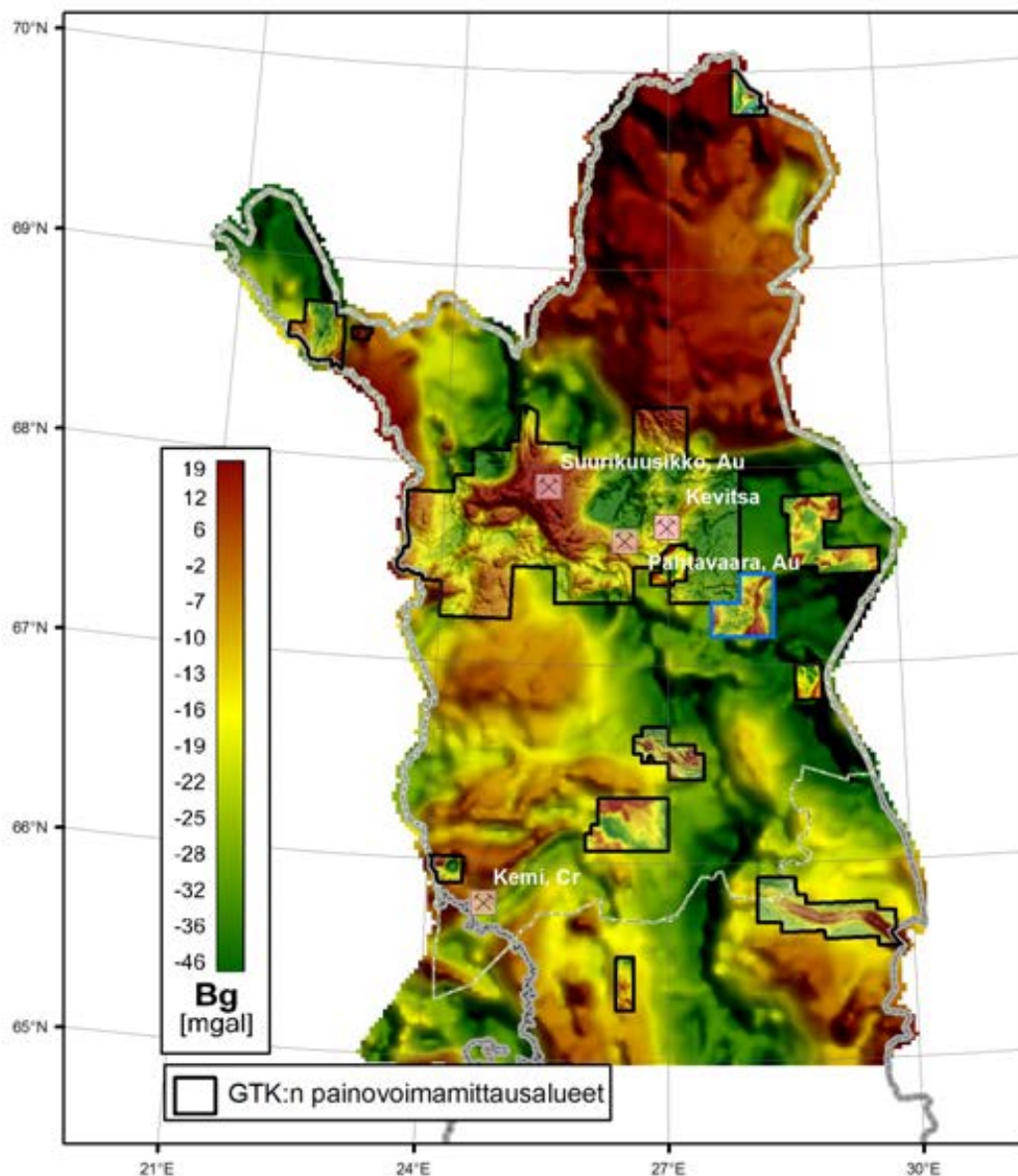
sen Bouguer-anomalian. Kuvassa 24 on esitetty Pohjois-Suomen alueelta Geodeettisen laitoksen mittauksiin pohjautuva Bouguer-anomalia, jonka päälle on merkitty GTK:n mittausalueiden sijainti ja Bouguer-anomaliat.

Kohteelliset maanpintamittaukset

Ennen lentomittauksia kaikki malminetsintään ja muihin tarkoituksiin tehdyt geofysikaaliset mittaukset tehtiin maanpinnalta. Muuhun ei olisi ollut edellytyksiä, koska mittausarvojen rekisteröinti tapahtui kynällä päiväkirjaan. Mittauslaitteet saattoivat edellyttää käsin säädettävän vastavoiman syöttämistä ja mittaamista, jolla mitattava kenttä kompensoitiin ja mitattiin. Laitteet vaativat usein asettelua vesivaakaan mistä syystä mittaus oli hidasta, eikä niitä olisi voitu tehdä lentokoneesta näistäkään syistä.

Ilma-aluksesta tehdyt kartoitukset ovat viime vuosina kehittyneet laadultaan vastaamaan maanpinnalta tehtyjä mittauksia. Paikannukseen käytetään molemmilla mittaustavoilla GPS-järjestelmää, jonka suhteen menetelmillä ei ole laadullista eroa. Silti on tarpeen tarkistaa anomaliaita lentomittausten lisäksi myös maanpinnalta. Näin päästään hyvin tiheisiin mittaustavoihin ja lähemmäksi anomalian aiheuttajaa.

Kuvassa 25 on esimerkki magneettisesta mittauksesta, joka on tehty lentokoneesta noin 35 m korkeudelta (sininen) sekä maanpinnalta (punainen). Tasoero aiheutuu siitä, että lentokoneessa ollaan kauempana kentän aiheuttajasta kuin maanpinnalla. Lentokoneesta mitattuna anomaliat ovat loivapiirteisiä ja matalia eikä niissä ole juuri detaljeja.

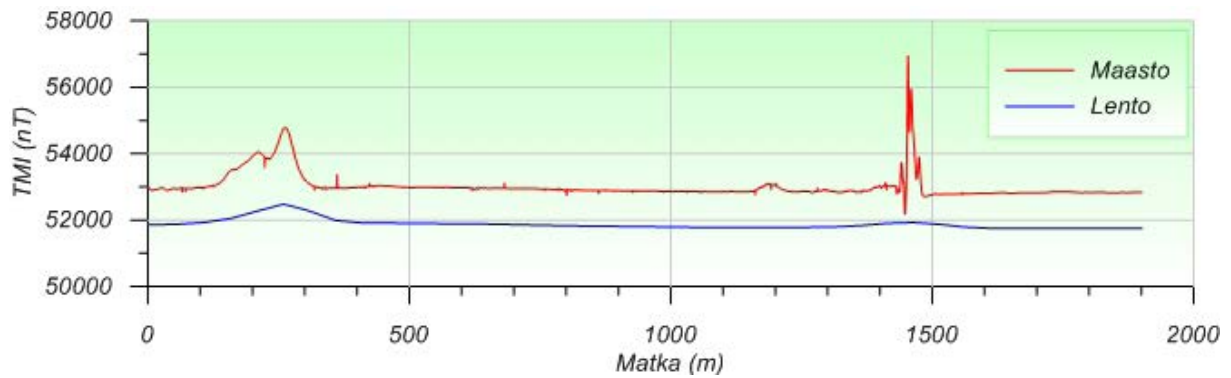


Kuva 24. Geodeettisen laitoksen aineistosta (pisteväli 5 km) laadittu painovoiman Bouguer-anomalia koko Lapin alueelta sekä GTK:n tiheämpään mitatut alueet (pisteväli 400-1000 m). Savukoski-Pelkosenniemi alueen painovoiman lentomittaus on rajattu kuvassa sinisellä. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 24. Bouguer anomaly map calculated from the data of Finnish Geodetic Institute (station interval 5 km) together with GTK's denser (station interval 400-1000 m) data in Lapland. Airborne gravity survey area at Savukoski-Pelkosenniemi area is surrounded by blue polygon. Source: GTK's database.

Maanpinnalta anomaliaissa on karakteristisia piirteitä, joita hyödyntämällä voidaan päätellä anomalian aiheuttajan rakenne lentomittausta paljon tarkemmin. Matkakoordinaatin 1500 m kohdalla on maanpintamittauksessa jyrkkäpiirteinen anomalia, jota 35 m korkeudesta lentokoneesta ei juuri havaitse. Tästä voi-

daan päätellä, että anomalian aiheuttaja on lähellä maanpintaa eikä sen koko ole suuri. Toinen anomalia profiilin alkupäässä eroaa vähän kahdessa mitauksessa eli sen aiheuttaja sijaitsee syvemmällä ja se on kooltaan suurempi. Lentomittaus ei kuitenkaan anna vihjettä siitä, että anomalian aiheuttaja koostuu



Kuva 25. Magneettinen mittaus lentokoneesta ja maanpinnalta Käsivarren alueelta.

Fig. 20. Magnetic airborne (blue) and ground (red) survey from Käsivarsi area.

kahdesta osasta.

Maanpinnalta voidaan tehdä samoja mittauksia kuin lentokoneestakin kuten gravimetrisia, magneettisia, sähkömagneettisia taajuus- ja aika-alueen mittauksia sekä gammaspektrometrausta. Maanpinnalta voidaan tehdä lisäksi sähköisiä ja indusoidun polarisaation mittauksia sekä seismisiä refraktio- ja reflektioluotauksia. Myöskään omapotentiaalin ja latauspotentiaalin mittausta ja maatutkausta ei voida tehdä muualta kuin maanpinnalta. Näitä rutiinimittauksia tarvitaan malminetsintä ja muilla työmailla säännöllisesti. Maanpinnalla mitattavat alueet ovat lentomittauksiin verrattuna pieniä, tutkittavan kohteen koosta riippuen muutaman neliökilometrin laajuisia tai muutaman kilometrin pituisia profiilimittauksia.

Kirjallisuutta

Airo, M.-L. (toim.) 2005. Aerogeophysics in Finland 1972-2004: Methods, System Characteristics and Applications. Geologian tutkimuskeskus, Special Paper 39, 197 s.

Airo, M.-L., Hautaniemi, H., Korhonen, J. V., Kurimo, M. & Leväniemi, H. 2011. Airborne geophysical data man-

agement and interpretation. Geologian tutkimuskeskus, Special Paper 49, 349-358.

Elo, S. 1992a. Painovoimakartat ja kallioperän tiheysominaisuudet. Teoksessa: Suomen kartasto, vihko 123-126, Geologia. Maanmittaushallitus, Suomen Maantieteellinen Seura. 33.

Elo, S. 1992b. Painovoima-anomaliakartat - Gravity anomaly maps. Teoksessa: Suomen geokemian atlas. Osa 2: Moreeni = The Geochemical Atlas of Finland. Part 2: Till. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 70-75.

Kurimo, M. 2011. Lentogeofysiikka Geologian tutkimuskeskuksessa. Esielmä Ilmailumuseossa 31.8.2011.

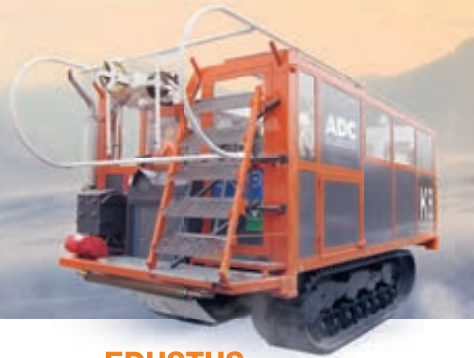
Kääriäinen, J. & Mäkinen, J. 1997. The 1979-1996 gravity survey and results of the gravity survey of Finland 1945-1996. Suomen geodeettisen laitoksen julkaisuja 125. Kirkkonummi. 24 s.

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

Peltoniemi, M. 1998. Aerogeofysikaaliset menetelmät. Teknillinen korkeakoulu. Materiaali- ja kallioteknikan osasto. Insinööri- ja geofysiikan laboratorio. Opetusjulkaisu TKK-IGE-C 20. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 269 s.

KAIRAUKSESI ONNISTUU

PAIKASTA JA KELISTÄ HUOLIMATTA



» KAIRAUSLAITTEET

Ostamasi ADC-kairauslaitteiston jokainen yksityiskohta on kehitetty ja testattu omassa työssämme. Laitteita on helppo käyttää ja ne ovat ympäristöystävällisiä sekä suorituskykyisiä myös ääriolosuhteissa.

» KAIRAUSPALVELUT

Tarjoamme kokonaisvaltaisen, tehokkaan paketin – maan pinnalla tai alla. Saat meiltä laadukkaat kairausydän- näytteet timanttikairausmenetelmällä, reiän taipumamittaukset, suunnatun näytteenoton sekä edustavat näytteet RC-porausmenetelmällä.

» EDUSTUS

Arctic Drilling Company Oy Ltd tuo maahan, myy ja markkinoi työkaluja, koneita ja laitteita kaivos-, louhinta- ja tarkeviteollisuudelle sekä malminetsintään ja maanporaukseen. Olemme valtuutettu Boart Longyear tuotteiden maahantuoja.



Kairauspalvelut

Teollisuustie 26B, 96320 Rovaniemi
puh. 040 680 5809

Tuotemyynti

Moreenikatu 4, 53810 Lappeenranta
puh. 040 168 4244

www.adcltd.fi



Gold is where you find it.

MAWSON



Maan alla ja päällä



Mineraalien hyödyntäminen kestävän kehityksen mukaisesti?

Pöyry on maailmanlaajuinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö. Työtämme ohjaa ajatus tasapainoisen kestävän kehityksen edistämisestä jokaisella alallamme: vesi- ja ympäristösektorilla, infran parissa, teollisuudessa ja energiassa.

Kaivoshankkeisiin tarjoamme laajat palvelut koko elinkaaren ajan: ympäristö- ja sosiaalisten vaikutusten arvioinneista kairauksiin, maastomalleihin ja kaivosinfraan, itse rikastamon suunnitteluun ja projektinjohtoon. Toiminnan aikana seuraamme ympäristön ja prosessin puhtautta ympäristövaikutusten minimoimiseksi. Lopuksi autamme kaivoksen sulkemisessa ja maisemoinnissa.

Malmi- ja mineraalivarat

Lappi - malmien ja mineraalien maa

Pertti Sarala

Kallio- tai maaperässä esiintyvää luonnollista metallien rikastumaa kutsutaan mineralisaatioksi. Rikastumista on voinut tapahtua yhden tai useamman metallin tai laajemmin ajateltuna alkuaineen osalta. Metallit ja alkuaineet esiintyvät yleensä kemiallisina yhdisteinä eli mineraaleina. Niitä ovat esimerkiksi erilaiset silikaatit, kiisut ja oksidit, joilla on tietty koostumus tai koostumusalue. Jotta metallit ja muut hyötyalkuaineet saadaan irrotetuksi mineraaleista, mineraalirakkeet täytyy hajottaa erilaisilla prosesseilla. Osassa mineralisaatioita alkuaineita esiintyy myös metallisessa muodossa (esimerkiksi kulta ja kupari). Jos rikastuma on taloudellisesti kannattavasti hyödynnettävissä, siitä voidaan käyttää termiä malmi.

”Metallien valmistus perustuu maankamarasta löydettyjen metallipitoisten kivilajien hyödyntämiseen. Metallien rikastumaa kallioperässä kutsutaan malmiutumaksi tai malmaiheeksi. Jos rikastuma on taloudellisesti kannattavasti hyödynnettävissä, siitä voidaan käyttää termiä malmiesiintymä. Metalliesiintymien kannattavaan hyödyntämiseen vaikuttavat erilaiset seikat, kuten malmin määrä ja metallisisältö, metallin irrottamisen kustannukset, energian hinta, esiintymän sijainti, lupa-asiat sekä tärkeimpänä

metallien maailmanmarkkinahinta. Metallien hintojen muutosten vuoksi kallioperässä havaittu metallien rikastuma voi myös muuttua takaisin malmiesiintymästä malmaiheeksi.” (Kananoja ym. 2012.)

Suomen kallioperässä on mahdollisuuksia useiden metallien ja mineraalien taloudelliselle hyödyntämiselle. Kaivos- ja rikastamistoimintaa on ollut jo hyvin monien metallien tuottamiseksi (hopea-, koboltti-, kromi-, kulta-, kupari-, lyijy-, molybdeeni-, nikkeli-, rauta-, sinkki-, titaani-, vanadiini- ja wolframimalmit sekä harvinaisia maametalleja (lantaani ym.) sisältävät malmit). Koelouhinnan kohteena ovat lisäksi olleet uraani, platina ja palladium. Mahdollisuuksia on myös uusien esiintymätyyppien löytämiselle, kuten esimerkiksi korkean teknologian metalleille, jotka ovat välttämättömiä useimmissa jatkuvasti yleistyvissä uuden teknologian laitteissa (kännykät, sähkömoottorit, litteät näytöt, aurinkokennot jne.). Tällaisia metalleja ovat muun muassa niobi, tantaali, indium, gallium, germanium, skandium ja harvinaiset maametallit.

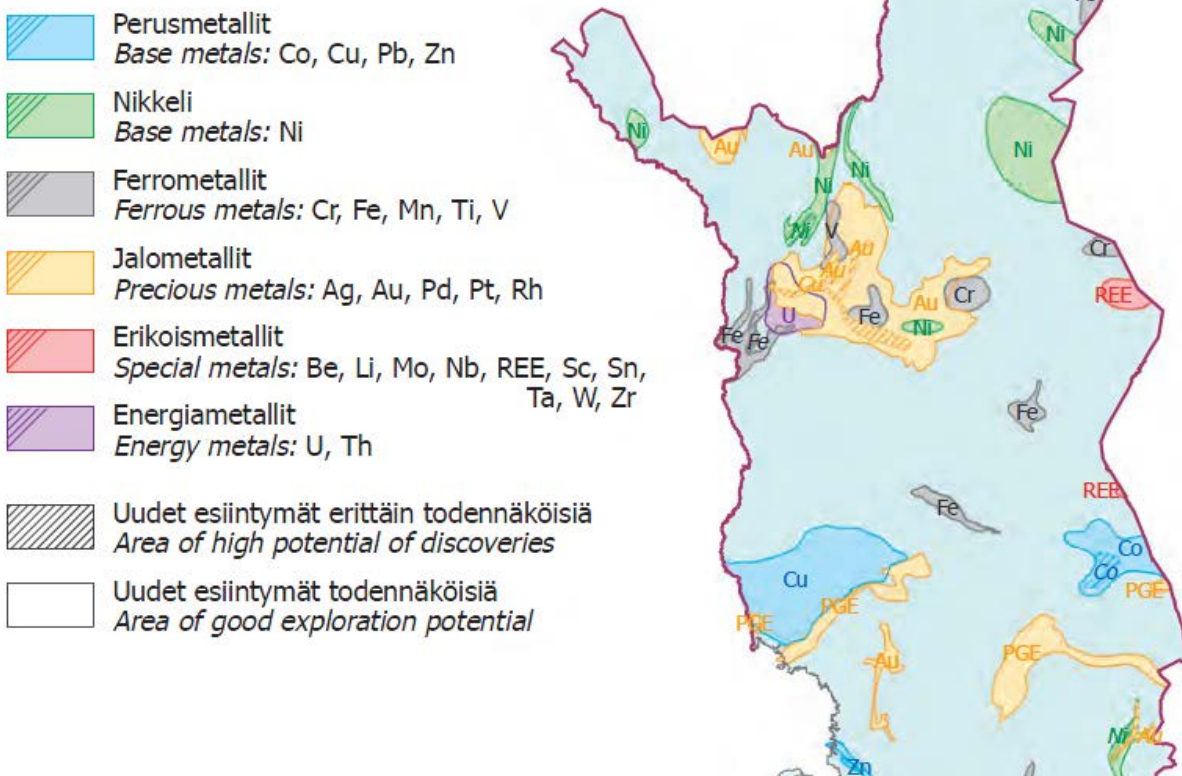
Tuoreen selvityksen (Eilu 2012) mukaan nikkeli, sinkki, kupari, kromi ja kulta muodostavat maamme merkittävimmät metallimalmivarannot ja niiden otollisimmat esiintymisaluet sijaitsevat Pohjois-

Suomessa ja Itä-Suomessa esimerkiksi Raahe-Laatokka-vyöhykkeeseen liittyen. Pohjois-Suomessa on edellisten lisäksi hyvät mahdollisuudet myös platinaryhmän metallien (PGE) ja harvinaisten maametallien (REE) esiintymiselle (kuva 26). Samoilla alueilla on myös suotuisat olosuhteet kaivostoiminnan harjoittamiselle hyvän infrastruktuurin ja harvan asutuksen tai muun elinkeinotoiminnan vuoksi. Kaivostoimintaan asti riittävää esiintymäpotentiaalia on myös teollisuusmineraalipuolella, josta hyvänä esimerkkinä ovat fosfaattiesiintymät Siilinjärvellä ja Soklissa sekä talkkiesiintymät Itä-Suomessa.

Varsinaisen kaivostoiminnan lisäksi Lapissa on myös paljon muuta mineraalien etsintä- ja hyödyntämistoimintaa. Näistä upakullan huuhdonta ja etsintä ovat ehkä aktiivisinta ja näkyvintä toimintaa. Pienimuotoisella käsin tai koneellisesti suoritettulla toiminnalla on pitkät perinteet erityisesti Ivalo- ja Lemmenjoen alueilla sekä Saariselän ympäristössä. Korukivien kerääminen on pitkälti ollut kytköksissä kullan huuhdontaan. Luonnonkiviesiintymiä tunnetaan Lapissa paljon, mutta niiden hyödyntäminen on keskittynyt muutamaan esiintymään. Parin viime vuosikymmenen aikana on näidenkin esiintymien hyödyntämistä

SUOMEN METALLOGEENISET VYÖHYKKEET

The main metallogenic zones of Finland



Kuva 26. Pohjois-Suomen metallogeeniset vyöhykkeet Eilu (2012) mukaan.

Fig. 26. Main metallogenic zones of northern Finland after Eilu (2012).

pyrityt aktivoimaan lisäämällä tutkimustoimintaa ja edistämällä elinkeinotoimintaa. Kalliokivi- ja maa-aineksia Lapista löytyy runsaasti, mutta niiden käyttö keskittyy kasvu- ja laskettelukeskuksiin ja taajamiin. Maa-aineksia otetaan erityisesti harjuista ja muista jäätikön sulamisvesien kerrostamista lajittuneista muodostumista, jotka ovat samalla merkittävimpiä pohjavesivarastoja. Turvevarojen inventointi ja hyödyntäminen ovat yleistyneet 1990-luvulta lähtien turpeen energiakäytön vuoksi. Erityisesti Etelä-Lapissa ja Pohjois-Pohjanmaalla turvetuotanto on aktiivista.

Seuraavissa lyhyissä yhteenvedoissa tarkastellaan kaikkia edellä mainittuja

malmi- ja mineraalipotentialin osa-alueita Pohjois-Suomen näkökulmasta.

Kirjallisuus

Eilu, P. (toim.) 2012. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 s.

Kananoja, T., Ahtola, T., Hyvärinen, J., Kallio, J., Kinnunen, K., Luodes, H., Makkonen, H., Sarapää, O., Tuusjärvi, M. ja Virtanen, K. 2012. Geologisten luonnonvarojen hyödyntäminen Suomessa vuonna 2010. Summary: Geological resources in Finland, production data and annual report 2010. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 197, 32 s.

Kulta

Veikko Keinänen, Pertti Sarala ja Jorma Valkama

Pohjois-Suomen paleoproterotsooisella alueella on tutkittu synnyltään kolmenlaisia kultamineralisaatioita: orogeenisiä, *placer*- (huuhdontakulta) ja rautaoksidikupari-kulta (IOCG) -tyyppisiä mineralisaatioita. Näistä kahta ensimmäistä käsitellään tässä luvussa ja IOCG-tyypin esiintymiä omassa luvussaan.

Eilu ym. (2007) mukaan orogeenisyntyiset kultaesiintymät liittyvät Keski-Lapin ja Kuusamon alueilla prekambriin kallioperään, jossa pääkivilajeja ovat sedimenttiset, vulkanosedimenttiset sekä mafiset ja ultramafiset vulkaaniset kivet. Isäntäkivilajeja on useimmiten enemmän kuin yksi, mutta vain yksi niistä on vallitseva. Keski-Lapin alueella isäntäkivet ovat tyypillisesti mafisia

ja ultramafisia vulkaniitteja kun taas Kuusamossa ne ovat vulkanogeenisiä sedimenttejä. Tyypillistä on myös lähes täydellinen rautamuodostumien puuttuminen. Keski-Lapissa Petäjäselän alue on poikkeuksellinen, koska siellä osassa kultamineralisaatioiden isäntäkivinä esiintyy silikaatti- ja/tai sulfidifasiuksen rautamuodostumia (Hulkki ym. 2011).

Orogeenisissä kultaesiintymissä esiintyy kullan lisäksi monia niin sanottuja seuralaisalkuaineita (Ag, As, Bi, Cu, K, Rb, S, Sb, Te, W), mutta useimmiten vain kullalla on taloudellista merkitystä. Esimerkiksi Keski-Lapin alueella kulta on pääasiallisesti tuotettava metalli ja vain joissain esiintymissä (esim. Saatopora) on hyödynnettäväksi asti ku-

paria. Laajemmin tarkasteltuna Pohjois-Suomen kultaesiintymissä on usein selvästi havaittavina kohonneina pitoisuuksina kobolttia, kuparia ja nikkeliä sekä Kuusamon alueella lisäksi rautaa, molybdeeniä ja/tai keveitä harvinaisia maametalleja (LREE-alkuaineita). Myös uraania voi esiintyä kultamalmeissa (esim. Juomasuo Kuusamossa ja Romppaanvuoma Ylitorniolla).

Pohjois-Suomen orogeenisten kultaesiintymien isäntäkivet ovat metamorfoituneet lämpötila- ja paineolosuhteissa, jotka vaihtelevat vihreäliuskefasieksista alempaan amfiboliittifasiekseseen (Eilu ym. 2007). Deformaatioasteet vaihtelevat hauraista plastisiin. Nämä deformaatiopiirteet ovat joka puolella maapalloa hyvin yleisiä prekambriille vihreäkiville, joista kultaesiintymiä on löydetty.

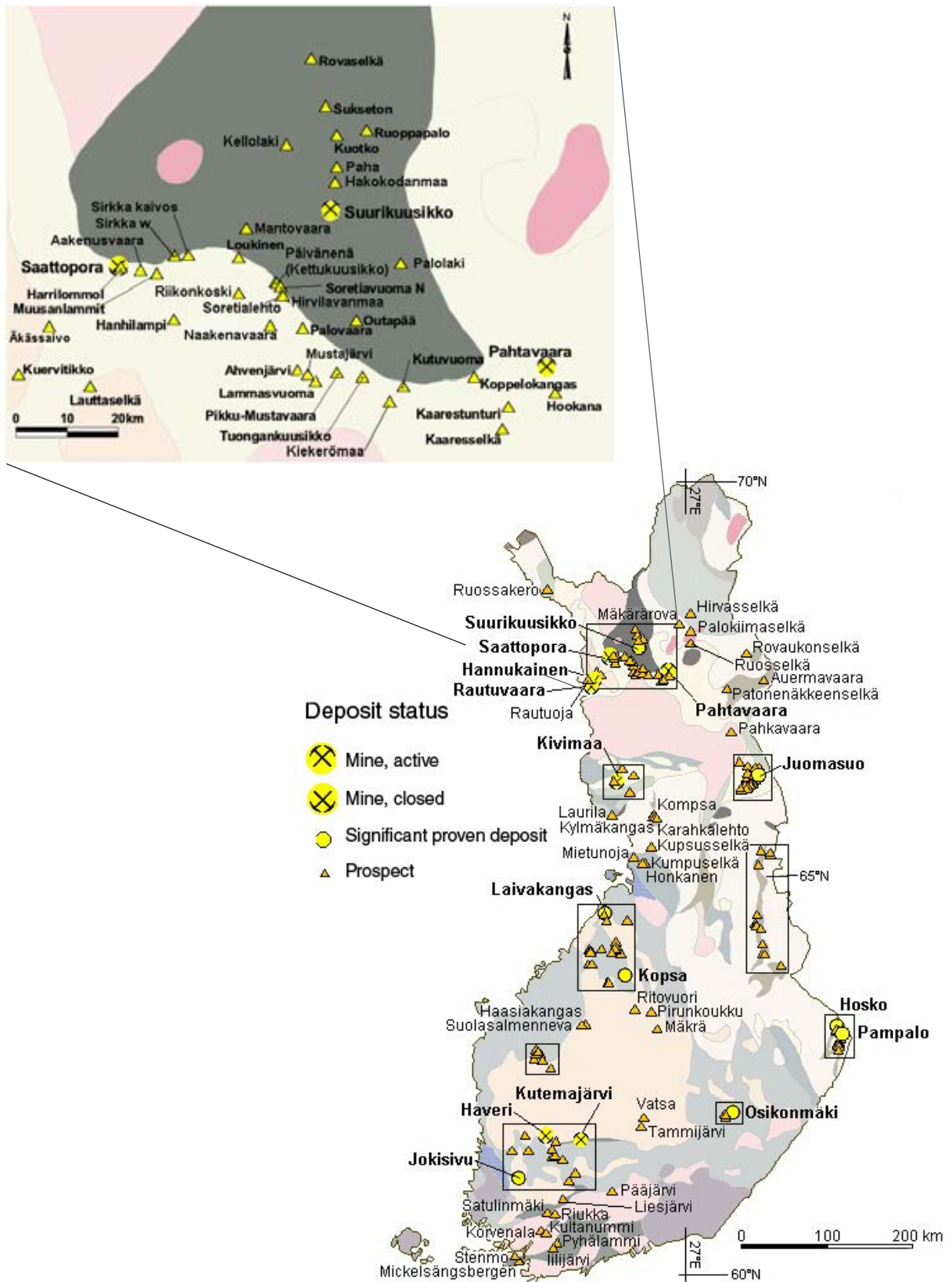
Fennoskandian kilven pohjoisosan vihreäkivissä havaitaan useita hydrotermisiä muuttumisvaiheita, joka näkyy malmiesiintymien ja niiden sivukivien mineralogiassa. Yleismaailmallisen kultaesiintymiin liittyvän muuttumisen aiheuttavat H_2O-CO_2 -valtaiset, mineralisoivat fluidit, Eilu ym. (2007). Serisiittyminen ja karbonatisoituminen tapahtuvat alhaisessa-keskiasteisessa vihreäliuskefasieksessa, kun sitä vastoin biotiittumista ja karbonatisoitumista tapahtuu ylemmässä vihreäliuskefasieksessa ja alemmassa amfiboliittifasieksessa. Vähäinen kiisuuntuminen (1-5 % sulfideja) on luonteenomaista. Poikkeuksellisia ovat jälleen Kuusamon alueen mineralisaatiot, joissa rautapitoisuudet ovat selvästi korkeampia. Tästä kertovat magnetiitin ja Fe-rikkaiden biotiitin ja kloriitin esiintyminen niissä.

Kalliokullan etsinnästä Lapissa

Kalliokullan etsinnän voidaan todeta alkaneen Laanilan alueen kultakaivosprojekteista 1900-luvun alusta. Ne kuitenkin päättyivät varsin nopeasti kannattamattomina. Geologisen tietämyksen lisääntyttä ja muiden metallien etsinnän siirtyttyä Keski-Lapin vulkaniittien alueelle, myös kullan etsintä sai uutta vauhtia.

Paleoplacer-tyyppisen kullan löytyminen kerrosjärjestyksessä ylimmistä (alle 1,9 miljardin vuoden ikäisistä) konglomeraateista Keski-Lapin vihreäkivi-vyöhykkeeltä yhdessä kulta-analytiikan kehittymisen kanssa olivat merkittävä askel nykyaikaisen kullanetsinnän käynnistymiselle alueella (Härkönen 1984). 1980-luvun loppupuolella tutkimuskohteet vaihtuivat *paleoplacer*-tyyppisistä orogeenistyyppisiin mineralisaatioihin. Tutkimusten tuloksena löydettiin vuosina 1985-2004 yli 60 kultaesiintymää, joissa on metrin matkalla kairasydämessä yli 1 ppm (1 g/t) kultaa (FINGOLD-tietokanta http://en.gtk.fi/informationsservices/commodities/Gold/gtk_gold_map.html; kuva 27).

Eilu ym. (2007) ovat todenneet kullanetsinnän saaneen vauhtia 1980-luvulla kullan hinnan reilusta kohoamisesta ja maailmanlaajuisesta kultaesiintymien tutkimisesta, joka aiheutti kultaesiintymien geneettisten luokittelumallien luonnin. Erittäin merkittävä vaikutus oli myös geokemiallisen analytiikan kehittymisellä, mistä aiheutui voimakas kullanetsintäbuumi niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa.



Kuva 27. Tunnetut kultaesiintymät Suomessa ja tarkennettu kartta Keski-Lapin alueelta. Lähde: GTK:n FINGOLD-tietokanta.

Fig. 27. Known gold deposits and occurrences in Finland and detail map from the central Lapland. Source: FIN-GOLD database.

Sirkka-ruhjeen esiintymiä

Sirkan vanha kaivos, Kittilä

Sirkan ”vanha kaivos” on Atri Oy:n vuonna 1939 aloittamissa ja vuoteen 1953 jatkuneissa malmitutkimuksissa löytämä monimetalliesiintymä (kulta-hopea-kupari-nikkeli-kobolttimineralisaatio). Vuoksenniska Oy teki Sirkan kylän Kuukerinmaahan koekaivoksen (Kuva 28) tutkimusperineen. Louhinta oli hyvin ongelmallista kallioperän voimakkaan ruhjeisuuden vuoksi ja kaivos oli toiminnassa vain vuosina 1955-56. Esiintymän oletetut varannot ovat 200 kg kultaa, 250 t kobolttia, 950 t kuparia ja 800 t nikkeliä.

Turun yliopiston geologian laitoksella toimineen Lapin vulkaniittien malmitutkimusprojektin yhtenä kohteena oli Sirkan malmi. Projektin loppuraportissa vuodelta 1987 (Lehtinen 1987) kerrotaan malmissa esiintyvän 21 malmimineraaliparageneesia. Kiteytymisjärjestys on seuraava (Vesanto 1978): arsenidit ja pyriitti; kuparikiisu ja magneetikiisu. Vyöhykkeellisen gersdorffiitin keskus

on kiteytynyt alle 300 asteessa ja reunaosa yli 500 asteessa. Todetut kultaraakeet ovat arseenikiisun ja gersdorffiitin sulkeumina.

Vanha kaivosalue oli kanadalaisen Northern Lion -yhtiön valtauksessa vuoteen 2005. Sen jälkeen se on ollut Lapland Goldminers -yhtiöllä.

Saattoporan kulta-kuparikaivos, Kittilä

Saattopora on Outokumpu Oy:n löytämä kupari-kultaesiintymä. Kaivos oli toiminnassa vuosina 1988-1995, jona aikana siitä louhittiin 2,14 miljoonaa tonnia (Mt) malmia. Malmin pitoisuudet olivat 3,25 g/t kultaa ja 0,26 % kuparia. Malmista hyödynnettiin 6279 kg kultaa ja 5177 t kuparia.

Malmin isäntäkivet ovat albiittiutuneita mafisia tuffeja ja tuffiitteja sekä fylliittejä. Malmiot ovat itä-länsisuuntaisia koostuen pohjois-eteläsuuntaisista kvartsi-karbonaattijuonista, joissa kulta esiintyy vapaana. Kultaa esiintyy myös sulfidipitoisissa kvartsi-karbonaatti-täyteisissä breksioissa. Saattoporan malmi-esiintymä sijaitsee niin kutsutussa Sirkan ruhjevyyhykkeessä.



Kuva 28. Vanhan Sirkan kaivoksen kaivosrakennukset Kittilässä. Lähde: Räsänen 1999.

Fig. 28. Buildings of the old Sirkka Mine in Kittilä. Source: Räsänen 1999.

Hirvilavanmaa, Kittilä

Jo ATRI Oy tutki aluetta 1940-luvun loppupuolella kartoittamalla kallioperää ja tekemällä sähköisiä ja magneettisia mittauksia. Hirvilavanmaan kultaesiintymä löydettiin GTK:n Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen kultaprojektin aikana 1986-1989 geokemian ja geofysikan (magneettinen ja IP) anomalioiden avulla.

Kallioperä on ultramafiittista vulkaniittia ja sijaitsee Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen eteläreunassa. Esiintymä on paleoproterotsooinen orogeeninen kultaesiintymä, joka esiintyy NW-suuntaisessa Sirkan ruhjeessa muuttuneessa ultramafitissa lähellä grafittiliuskeiden kontaktia. Kulta esiintyy sulkeumina rikkikiisussa ja erilaisissa telluriideissa. Malmiarvio on 0,11 Mt kultapitoisuudella 2,9 g/t malmia.

Kutuvuoma, Kittilä

Kutuvuoma on Outokumpu Oy:n löytämä malmiesiintymä (Anttonen 1995), jota Lapin malmi tutki ja koelouhi vuosina 1998-2000. Pieni avolouhos tuotti 70 kg kulta. Esiintymä luetaan paleoproterosoosiin orogeenisiin kultaesiintymiin, joka sijoittuu komatiitin ja fylliitin itä-länsi-suuntaiseen kontaktivyöhykkeeseen. Hippuina esiintyvä kulta esiintyy magneettikiisun ja rikkikiisun yhteydessä. Malmiesiintymään liittyy myös pienempiä kuparin ja nikkelin rikastumia. Kivet ovat voimakkaasti hydrotermisesti muuttuneita ja sisältävät kvartsi-karbonaattijuonia. Esiintymän tunnetut varannot ovat 430 kg kulta.

Muita Keski-Lapin kultaesiintymiä*Pahtavaaran kaivos, Sodankylä*

Geologian tutkimuskeskus (GTK) löysi esiintymän 1985 (Korkiakoski ym. 1989). Malmin tunnetut kultavarannot ovat noin 15 t (vuonna 2006). Terra Mining Oy aloitti kaivostoiminnan vuonna 1996 ja jatkoi sitä vuoteen 2000. Sen jälkeen Scan Mining Oy louhi ja rikasti malmia vuosina 2003-2007. Viimeisimmän kaivostoimintavaiheen aloitti Lapland Goldminers Oy vuonna 2008 ja toiminta jatkuu edelleen.

Pahtavaaran malmi sijaitsee Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen itäosassa ja sen isäntäkivi on muuttunutta komatiittista vulkaniittia. Malmiot ovat lähes yhdensuuntaisia ja lähes kaikki kulta esiintyy vapaana kultana silikaattien ja baryytin yhteydessä (ei sulfideissa).

Kittilän kaivos

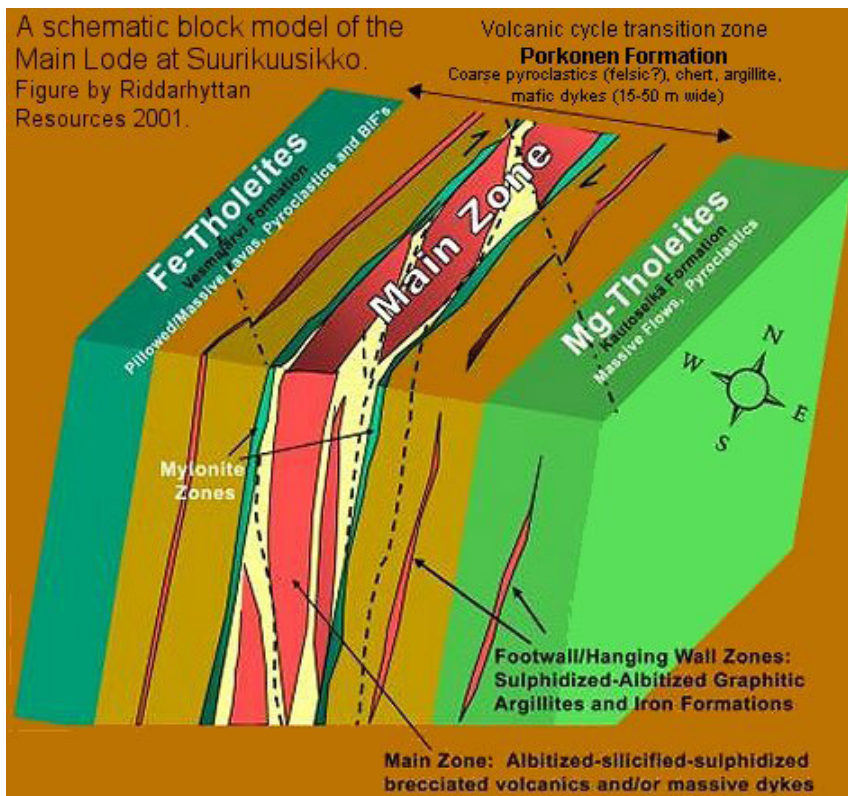
GTK löysi Kittilän kaivokseen johtaneen esiintymän vuonna 1986 ja siitä käytettiin pitkään nimeä Suurikuusikon kultaesiintymä. Vuosina 1987-1989 alueelta rajattiin potentiaalisin tutkimusalue moreeninäytteiden ja kallioperätutkimusten perusteella. Syväkairauksia tehtiin noin 133 km vuosina 1987-1989 ja 1995-1997. Tarkemmat kultapotentiaalinen arviointitutkimukset johtivat myöhemmin kultakaivoksen perustamiseen.

Päämalmi sijaitsee läntisen Fe-tholeiittisen vulkaniitin ja itäisen Mg-tholeiittisen vulkaniitin välissä sijaitsevassa Porkosen muodostumassa, jonka keski-osassa sijaitsee albiittiutunut, kvartsiutunut ja kiisuutunut (rikkikiisu ja arseenikiisu) vyöhyke. Samassa vyöhykkeessä

sijaitsevat myös kultarikkaat malmit (kuva 29).

Huhtikuussa 1998 Riddarhyttan Resources AB osti Suurikuusikon esiintymän kauppa- ja teollisuusministeriöltä. Vuosina 1999-2005 kairattiin yli 136 000 metriä esiintymän kartoittamiseksi ja rajaamiseksi. Vuonna 2002 kaivoshanke

sai ympäristöluvan ja vuonna 2003 kaivoskirjan. Vuonna 2004 Agnico-Eagle osti osuuden Riddarhyttanista ja seuraavana vuonna osake-enemmistön. Kaivoksen rakentamispäätös tehtiin 2.6.2006 ja tuotanto alkoi vuonna 2009 (noin 5000 kg kultaa vuodessa). Malminvaranto on 31.12.2011 tilanteen mukaan 35 Mt keskipitoisuudella 4,7 g/t.



Kuva 29. Yksinkertaistettu kuva Suurikuusikon päämalmita. Lähde: Riddarhyttan Resources 2001.

Fig. 29. Generalized cross-section of the main ore in Suurikuusikko. Source: Riddarhyttan Resources 2001.

Etelä-Lappi ja Koillismaa

Keski-Lapin lisäksi kultaesiintymiä tunnetaan myös Etelä-Lapissa Peräpohjan liuskejaksolla, jossa on toiminut vuonna 1969 pieni kulta-kuparikaivos Kivimaassa, Tervolassa (Rouhunkoski & Isokangas 1974). Lisäksi tunnetaan useita mineralisaatioita, kuten Petäjävaaran, Siivakkajoen ja Vinsan kupari-kulta-malmi-aiheet (FINGOLD-tietokanta; Sarala & Rossi 2006) sekä uusimpana Romp-

paanvuoman ja Rajapalojen kultaminalisaatioit Rovaniemen ja Ylitornion rajalla (Lehdistötiedote 5.9.2012, www.minefocus.com). Myös Penikoiden ja Suhangon kerrosintrusioiden PGE-esiintymiin liittyy kultapotentialia. Kultapotentialia ja -esiintymiä tunnetaan myös Koillismaalla, Kuusamon liuskejaksolla. Tunnettuja esiintymiä ovat esimerkiksi Juomasuo, Kouvervaara ja Siivakkaharju (FINGOLD-tietokanta).

Placer- eli huuhdontakulta- esiintymistä

Kullanhuuhdonnalla tarkoitetaan kullan erottamista veden avulla muista maala-jeista. Lapissa harjoitetaan kultanhuuhdonta konekaivuna ja käsin kaivamalla eli lapiomenetelmällä. Suurin osa kultanhuuhtojista toimii harrastepohjalla ja enemmänkin virkistysmielessä, mutta osa työskentelee valtauksillaan koko kesän. Lapissa toimii vain muutamia konekaivajia, joille kultanhuuhdonta on joko sivutoimi tai pääasiallinen elinkeino.

Lapin kullankaivuun historiaa

Kullan löytymisestä kerrotaan Lapista jo 1500-luvun alkupuolelta (GTK 2012). Lapin kullan historia alkaa varsinaisesti 1800-luvulta (Stigzelius 1986). Ensimmäiset unelmat Lapin kullasta heräsivät vuonna 1836, kun Kemin läheltä löytyi kaksi kultapitoista kalkkikivilohkaretta. Yhtiö nimeltä 'Ensimmäinen Osake Yhtiö Kullan Kaivamista Varten Suomen Lapissa pantiin vireille vuonna 1869. Seuraavana vuonna senaatti julkaisi asetuksen, jolla ”Oikeus etsiä ja huuhtoa kultaa myönnettäisiin Suomen ja Venäjän kansalaisille, ei kuitenkaan Moosekseen uskoville” (juutalaisille).

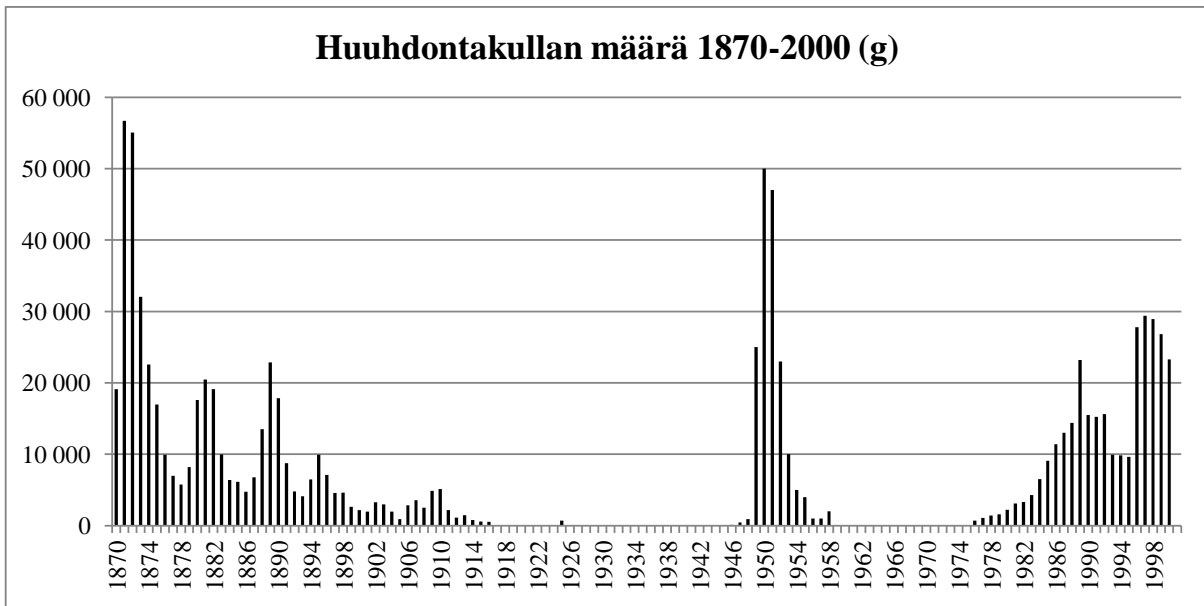
Norjalainen geologi Tellef Dahl löysi kullan merkkejä monesta paikasta tutkiessaan Tenojoen vesistöä 1860-luvun puolivälin jälkeen. Lupaavimmat löydöt olivat Suomen puoleisella rannalla lähellä Utsjoen suuta ja Dahl ilmoitti tiedoistaan Suomen viranomaisille. Tutkimusretki päättyi Ivalojoelle syyskuun puolivälissä. Sitä ennen oli tutkittu Utsjoen, Kaamasjoen ja Vaskojoen rantoja. Nulkkamukassa Ivalojokeen laskevan

Louhiojan suussa tehtiin lopulta geologisesti lupaava kultalöytö; lyhyessä ajassa vaskattiin peruskallion koloista 0,2 kg kultaa.

Lapin kultakausi alkoi Ivalojoen Ritakosken alapuolelta Nulkkamukasta, josta J.C. Lihrin retkikunta vuonna 1868 löysi kultaa Ivalojoelta (Johansson ym. 2000). Voi sanoa, että kullan kaivaminen ammattina alkoi tuolloin vuonna 1868, kun Ivalojoen kultakentät löydettiin. Palsinojalla ja sen sivuoilla on kaivettu vuodesta 1872 lähtien ja Sotajoella vuodesta 1880 lähtien. Tankavaaran kultalualue löytyi 1934.

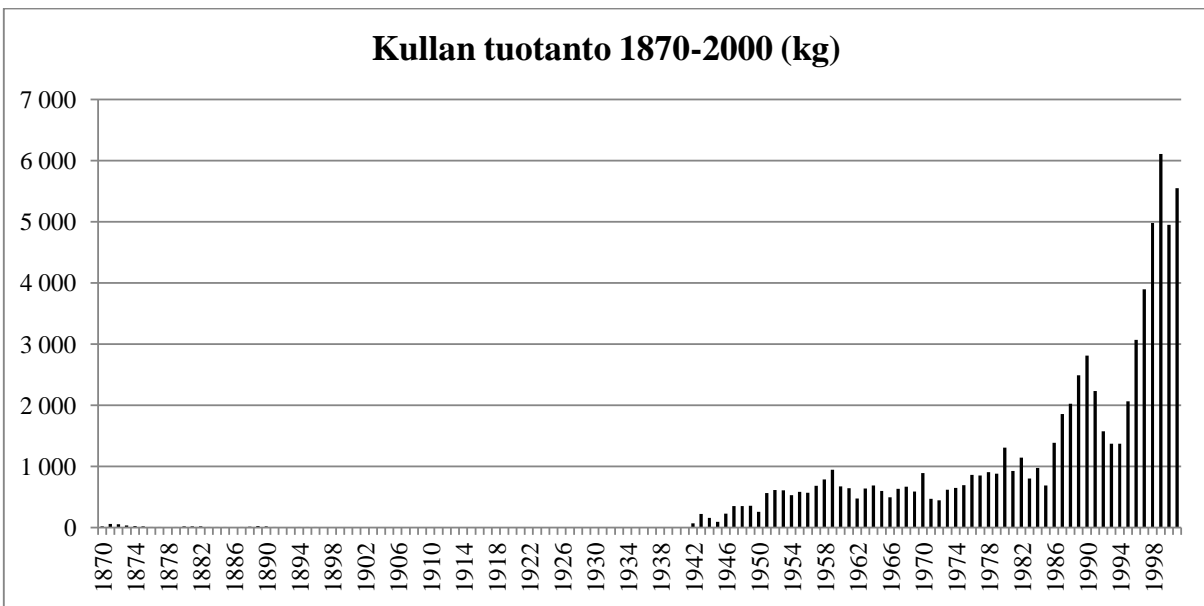
Laanilan alueella tehtiin huomattava kultalöytö vuonna 1935, kun Evert Kiviniemi löysi 393 grammaa painavan kultakimpaleen. Samana vuonna Heikki Kokko löysi 61 g painavan hipun Kello-
tapulinojalta. Vuonna 1945 saamelaiset Ranttilan veljekset tekivät kultalöydön Lemmenjokeen laskevan Morgamojan alajuoksulla. Vuonna 1950 löytyi Tankavaarasta sekahippu, joka painoi peräti 186 g. Se antoi uskoa Lapin kultan emäkallion löytymiselle. Löydöksen johdosta Sodankylän Vuotsoon rakennettiin vuonna 1951 Geologiselle tutkimuslaitokselle tutkimusasema, josta alettiin tehdä tutkimusmatkoja Lapin alueen tutkimuskohteisiin.

Kultaa huuhdottiin kultaryntäysten aikana parhaimmillaan yli 50 kg vuodessa (kuva 30). Keskimäärin saanti on kuitenkin vaihdellut kymmenen kilogramman molemmin puolin vuodessa. Kun verrataan sitä 1940-luvulta lähtien kaivoksien kokonaiskullantuotantoon, huomataan huuhtomalla saatavan saannin olevan melko vähäistä. 1990-luvun puolesta välistä lähtien teollinen tuotanto on ollut yli 5000 kg vuodessa (kuva



Kuva 30. Huuhdontakullan määrä vuodesta 1870 vuoteen 2000. Lähde: Tilastokeskus, Suomen virallinen tilasto, Teollisuustilasto 18.

Fig. 30. Volume of the washed gold from the placer deposits in 1870-2000. Source: Statistics Finland, Official Statistics of Finland, Manufacturing 18.



Kuva 31. Teollisen kullantuotannon määrä vuodesta 1870 vuoteen 2000. Lähde: Tilastokeskus, Suomen virallinen tilasto, Teollisuustilasto 18.

Fig. 31. Mine production of gold in 1870-2000. Source: Statistics Finland, Official Statistics of Finland, Manufacturing 18.

Huuhdontatavat

Kullanhuuhdonta voidaan jaotella kahteen eri huuhdontatapaan: koneelliseen ja käsin tapahtuvaan kullanhuuhdontaan (Johansson ym. 2000). Koneellisessa huuhdonnassa kultapitoinen maa-aines kaivetaan kaivinkoneen avulla ränniin. Käsin tapahtuvassa huuhdonnassa kultapitoinen maa-aines päätyy lapion ja hakun avustuksella huuhdonränniin. Jokien pohjasedimenttejä hyödynnettäessä käytetään imuruoppausta. Rännissä veden virtaus erottelee maa-aineksen ja vie mukanaan kevyemmät ainekset pois kullan jäädessä rännin rihloihin. Rännistä lasketaan vedenvirtausta hyväksikäyttäen raskas, kultapitoinen maa-aines vaskooliin ja se huuhdotaan eli vaskataan vedessä. Vaskatessa kulta painuu raskaampana maa-aineksen läpi vaskoolin pohjalle, josta se voidaan kerätä talteen kun muu kevyt maa-aines on saatu huuhdottua vaskoolista pois. Käsin tapahtuvassa huuhdonnassa käytetään mitä erilaisimpia rännejä. Lisäksi on kehitelty apuvälineitä kuten erilaiset heiluteltavat laatikot eli lul-

lat sekä erilaiset imurisysteemit. Kullan erottamiseen rikasteesta voidaan käyttää myös koneellista erottamista, kuten Knelson-rikastinta, spiraalirikastinta eli kultakoiraa ja tärypöytää.

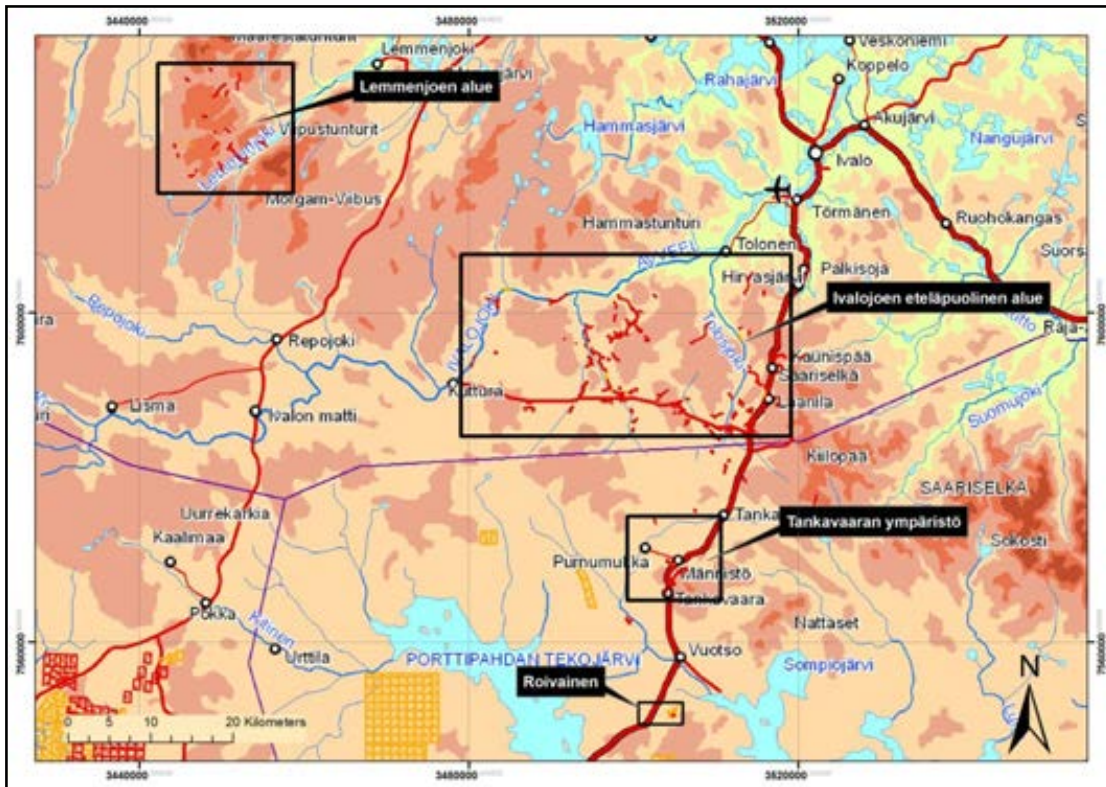
Kullanhuuhdontaan ja sen historiaan voi tutustua Sodankylän Tankavaarassa olevassa kultamuseossa. Tunnetuilla kullanhuuhdontapaikoilla kuten Ivalo-, Miessi-, Sota- ja Lemmenjoella on kultavaltauksia, joissa retkeilijä voi saada jopa henkilökohtaista opastusta kullanhuuhdontaan (kuva 32).

Suomen Lapissa oli käsinhuuhdontakultavaltauksia vuonna 2012 kaikkiaan noin 260 (kuva 33). Konekaivajia Lapissa oli vuonna 2012 omilla kaivospiireillään 28. (Tiedot: Kaivosrekisteri ja P. Molkoselkä, TUKES; kuva 34). Valtaukset ovat keskittyneet perinteisille huuhdonta-alueille Lemmenjoelle ja Sotajoelle sekä Saariselän-Kakslauttasen ja Tankavaaran alueille. Uutena kohteena on mukaan tulleet Vuotson eteläpuolinen alue, jossa Roivaisen ja Ruosselän ympäristöön on tehty useita uusia valtauksia.

Kuva 32. Vuonna 1970 kullankaivajalegenda Niilo "Nipa" Raumala antaa kullavaskausopetusta Tankavaarassa M. Virtaselle ja J. Valkamalle ja alueella vierailleelle turistille. Kuva M. Pöllä.

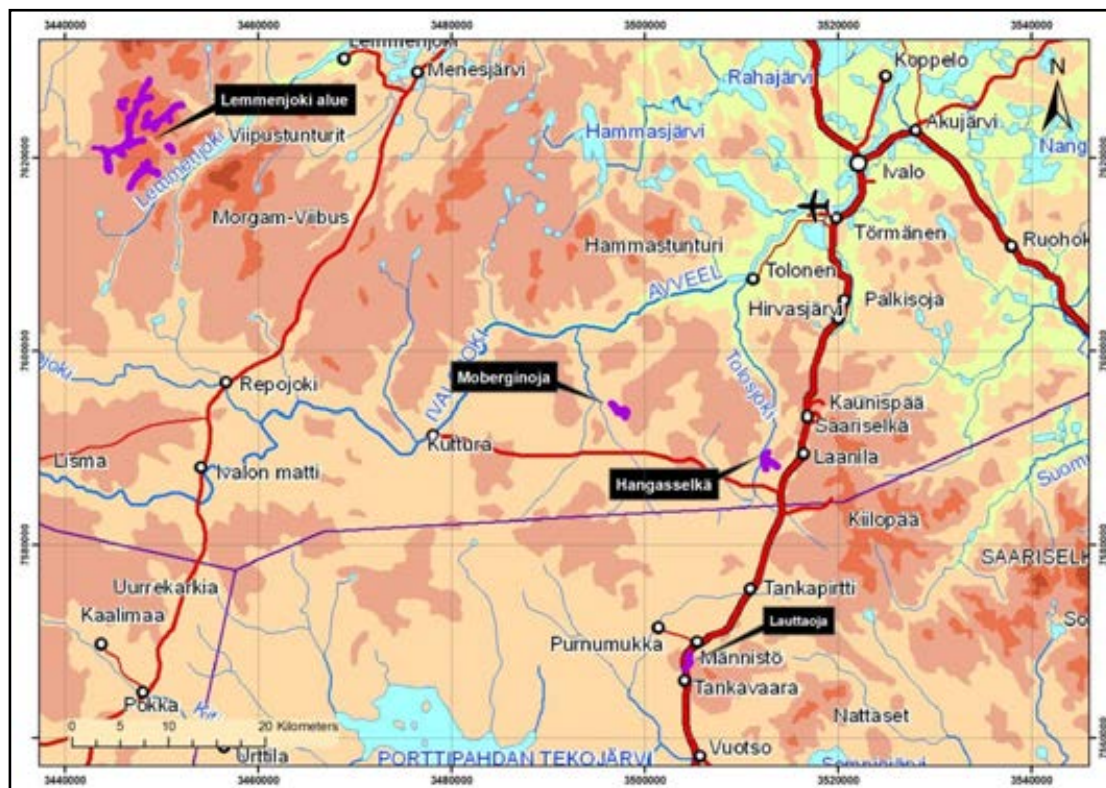
Fig. 32. Legendary gold prospector Niilo "Nipa" Raumala gives a lecture of the gold panning to M. Virtanen and J. Valkama in Tankavaara. Photo M. Pöllä.





Kuva 33. Kullanhuuhdontavaltaukset, joissa suoritetaan perinteistä kaivuuta lapiota ja hakkua käyttäen. Kesällä 2012 niitä oli voimassa noin 260. Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

Fig. 33. Claim areas for the traditional gold panning of which number was ca. 260 in summer 2012.



Kuva 34. Kartan lilan värisillä alueilla on yhteensä 28 kaivospiiriä, joissa on lupa suorittaa koneellista kultanhuuhdontaa (kesä 2012). Kaivospiirien sisällä voi kuitenkin olla alueita, joissa konekaivu on kiellettyä. Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

Fig. 34. Location of the 28 mine districts for placer gold deposits (in 2012).

Kirjallisuus

- Anttonen, R. 1995. Tutkimukset Kittilän Kutuvuomassa 1993-1995. Outokumpu Oy Finnmines, Raportti 001/371112/RSA/95, 5 s.
- Eilu, P., Pankka, H., Keinänen, V., Kortelainen, V., Niiranen, T. & Pulkkinen, E. 2007. Characteristics of gold mineralisation in the greenstone belts of northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 44.
- GTK 2012. Lappi – Kulta. Elektroniinen julkaisu, saatavana: http://www.gtk.fi/_system/print.html?from=/geologia/kiviharrastus/maakuntakivet/lappi.html (Viitattu 1.11.2012)
- Hulkki, H., Keinänen, V., Karinen, T., Karvinen, A., Sarala, P., Sarapää, O., Salmirinne, H., Sandgren, E. & Lahti, I. 2011. Pohjois-Suomen kultahankkeen 2551009 loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus, raportti, 50/2011, 8 s., 9 liites.
- Härkönen, I. 1984. Tutkimus kullon esiintymisestä Keski-Lapin alaproterotsooisissa, karkeissa, klastisista sedimenteistä 1978-1983. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3714/-84/1/10, 85 s.
- Johansson, P., Huhta, P., Nenonen, J. & Hirvasniemi, H. 2000. Kultakaira – Geologinen retkeilykartta Ivalojoiki-Saariselkä, Opaskirja. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi, 44 s.
- Korkiakoski, E., Karvinen, A. & Pulkkinen, E. 1989. Geochemistry and hydrothermal alteration of the Pahtavaara gold mineralization, Finnish Lapland. Geological Survey of Finland, Special Paper 10, 83-89.
- Lehtinen, M. 1987. Kittilän tutkimusalue: Sirkka. Teoksessa: Papunen, H. (toim.) Lapin vulkaniittien tutkimusprojekti, Loppuraportti. Turun yliopisto, Geologian laitos, 85-96.
- Rouhunkoski, P. & Isokangas, P. 1974. The copper-gold vein deposit of Kivimaa at Tervola, N-Finland. Bulletin of Geological Society of Finland 46, 29-35.
- Räisänen, K. 1999. Lapin malmeja ja kultaakin tavoittelemassa. Teoksessa: Blomgren, C. (toim.), Rautainen leipäpuu - Muistoja ja muistelmia Elektrometallurgiska AB:n ja Vuoksenniska-yhtiön tehtailta ja kaivoksilta. Imatra Steel Oy Ab, Imatra, 288 s.
- Sarala, P. & Rossi, S. 2006. Rovaniemen - Tervolan alueen glasiaalimorfologiset ja -stratigrafiset tutkimukset ja niiden soveltaminen geokemialliseen malminetsintään. Summary: Glacial geological and stratigraphical studies with applied geochemical exploration in the area of Rovaniemi and Tervola, southern Finnish Lapland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 161, 115 s.
- Sigzelius, H. 1986. Kultakuume – Lapin kullin historia. Suomen matkailuliitto, Helsinki, 251 s.
- Vesanto, J. 1978. Sirkan malmi ja sitä ympäröivä kallioperä. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, 89 s.

Rautaoksidi-kupari-kultaesiintymät

Tero Niiranen

Rautaoksidi-kupari-kulta esiintymät (FeOx-Cu-Au tai IOCG) on uusi, monessa suhteessa yhä kiistelty malmityyppi, jonka määritteli ensimmäistä kertaa Hitzman ym. (1992) ja myöhemmin tyyppin määrittelyä ovat kehittäneet muun muassa Hitzman ym. (2000), Barton & Johnston (2000) ja Groves ym. (2010). Luokkaan kuuluu useita maailmanluokan malmeja muun muassa Australiasta ja Etelä-Amerikasta (taulukko 4). Tyypillisesti esiintymätyypin malmit ovat kuparimalmeja, joiden oheistuotteina saadaan vaihtelevasti kultaa, hopeaa, uraania sekä joissain tapauksissa harvinaisia maametalleja. Vaikka yleensä esiintymien rautaa ei hyödynnetä, joissakin tapauksissa se on päämetalli (muun muassa Marcoona ja Pampa de Pongo Perussa, taulukko 4).

FeOx-Cu-Au-tyypin esiintymät ovat metasomaattisia malmeja. Niillä on selkeä rakenteellinen kontrolli, malmeihin liittyy laaja-alainen, monivaiheinen hydroterminen muuttuminen, kuparikultamalmien isäntäkivenä on magneetiitti ja/tai hematitiirikas "rautakivi", joka itsessään on myös epigeneettinen. Esiintymätyypille ominaista on myös, että vain osa FeOx-Cu-Au-malmivyöhykkeiden FeOx-esiintymistä sisältää ekonomisina pitoisuuksina muita arvometalleja, ja että yksittäisen esiintymän FeOx-rikkaasta isäntäkivestä vain osa on kuparin ja kullan suhteen rikastunut (esimerkiksi Olympic Dam Cu-Au-Ag-U-mineralisoituman volyyymi kattaa vain murto-osan isäntäkivenä toimivan

hematiittibreksian volyyymistä). Metalliassoosiaatio malmityypille on Au-Cu-Fe ± Ag, Ba, Bi, Co, F, Mo, REE, Te, U, W. Malmeilla on yhteneviä piirteitä porfyryri-Cu-Au-, orogeenisten kultaalmien ja karsimalmien kanssa. Toisin kuin karsi- ja porfyryrityyppien malmeissa, FeOx-Cu-Au-tyypissä suoraan malmiutumiseen linkitettävää intruusiota ei voida osoittaa vaikkakin malmiutumisen ikäistä intrusiivista magmatismia alueellisesti tunnettaisiin. FeOx-Cu-Au-tyypin esiintymiin liittyvät fluidit ovat säännönmukaisesti korkeamman suolapitoisuuden liuoksia kuin orogeenisiin kultaalmehiin liittyvät fluidit.

Pohjois-Suomessa on potentiaalia FeOx-Cu-Au-tyypin esiintymien löytymiseen. Pohjois-Suomen proterotsooiset vihreäkivi- ja liuskejaksot ovat geologiaaltaan samankaltaiset kuin esimerkiksi Cloncurrin FeOx-Cu-Au-alueen kallioperä (esim. Williams & Skirrow 2000, Williams & Pollard 2001). Vanhanen (2001) ehdotti että Kuusamon Cu-Co-Au-U-esiintymät edustaisivat FeOx-Cu-Au-tyyppejä. Kuusamon esiintymistä puuttuu kuitenkin FeOx-Cu-Au-tyypille tyypilliset rautaoksidirikkaat isäntäkivet. Viimeaikoina on ehdotettu, että Kuusamon esiintymät kuuluisivat aivan omaan geneettiseen tyyppiinsä (Lund ym. 2011). Aiemmin on esitetty, että Pohjois-Suomen esiintymistä Vähäjoen Fe-Co-Cu-Au-, Misin Fe- ja Kolarin Fe-Cu-Au-esiintymät sekä muutamat Vuotson-Ivalon alueen Fe-Au-esiintymät kuuluisivat FeOx-Cu-Au-ryhmään (kuva

Taulukko 4. Eräitä maailmanluokan FeOx-Cu-Au-esiintymiä ja niiden malmipitoisuuksia.
 Table 4. Some of the world class FeOx-Cu-Au deposits and their grades.

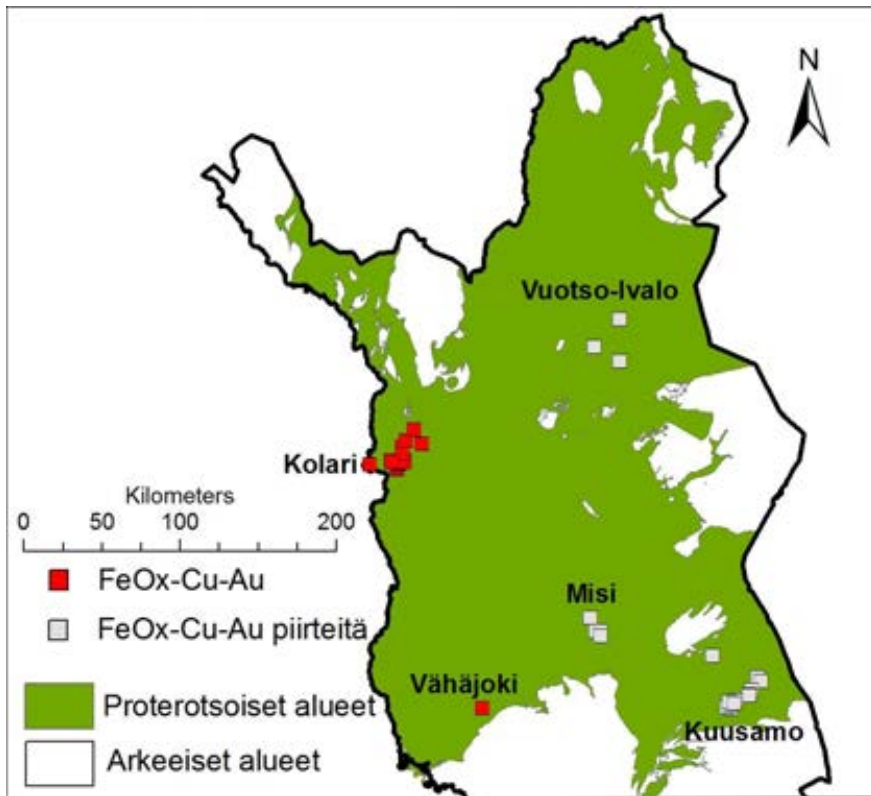
Maa/Esiintymä	Koko Mt	Keskipitoisuudet
Australia		
Ernest Henry	166	1,1 % Cu, 0,5 ppm Au
Prominent Hill	283	0,89 % Cu, 0,1 ppm Au
Olympic Dam	7738	0,87 % Cu, 0,3 ppm Au, 0,029 % U ₃ O ₈ , 1,61 ppm Ag
Brasilia		
Salobo	994	0,94 % Cu, 0,52 ppm Au
Sossego	355	1,1 % Cu, 0,28 ppm Au
Chile		
Mantoverde	850	0,57 % Cu, 0,11 ppm Au
Candelaria	400	1,0 % Cu, 0,2 ppm Au
Punta del Cobre	120	1,5 % Cu, 0,4 ppm Au
Peru		
Marcoona	1900	55,4 % Fe
Pampa de Pongo	953	44 % Fe
Mina Justa	347	0,71 % Cu, 3,8 ppm Ag, 0,03 ppm Au

35; Eilu ym. 2003, Niiranen ym. 2005 ja 2007). Esitetyistä esiintymistä Kolarin Fe-Cu-Au- ja Vähäjoen alueen Fe-Co-Cu-Au-esiintymät sopivat piirteiltään parhaiten FeOx-Cu-Au-tyyppiin, Misin alueen rautaesiintymissä on monia malmityypille yhteisiä piirteitä, mutta niistä tunnetaan vain satunnaisesti anomalisia kupari-kultapitoisuuksia. On kuitenkin mahdollista, että tunnetut Misin esiintymät edustavat FeOx-Cu-Au-vyöhykkeille tyypillisiä kupari-kultamineralisaatiovaiheen suhteen “suutareita” FeOx- isäntäkiviä. Vuotso-Ivalon alueelta tunnetaan kolme kvartsi-hematiittikultajuonimineralisaatiota (Hirvasselkä, Mäkärärova ja Palokiimasselkä). Esiintymiin liittyy metalliassosiaatio Au-Fe ± Ba, Bi, Cu, Te ja W. Lisäksi Mäkärärovan esiintymän mineralisaatioon liittyvistä fluidisulkeumista on mitattu korkeita suolapitoisuuksia (Härkönen 1987, Ollila 1976, Kinnunen, 1980). Nämä piir-

teet ovat samanlaisia kuin FeOx-Cu-Au-malmityypissä, mutta kuten Kuusamon esiintymissä, niihin ei liity epigeneettisiä “rautakiviä”.

Kolarin alueen esiintymät

Kolarin alueella on tehty malminetsintää vaihtelevalla aktiviteetilla vuosina 1950-1992 Suomen Malmi Oy:n, Otamäki Oy:n, Rautaruukki Oy:n ja Outokumpu Oy:n toimesta. Tämän tuloksena löydettiin noin 15 FeOx ± Cu, Au -esiintymää, joista kahta, Rautuvaaraa ja Hannukais-ta hyödynnettiin. Rautaruukki Oy ja myöhemmin Outokumpu Oy louhivat vuosina 1974-1992 yhteensä noin 16 miljoonaa tonnia malmia Rautuvaaran ja Hannukaisen esiintymistä tuottaen rautaa sekä sivutuotteena kuparia ja kultaa. Vuodesta 2005 aluetta ja tunnettuja kohteita on tutkinut Northland Resources S.A.



Kuva 35. Tunnetut FeOx-Cu-Au-esiintymät sekä esiintymät, joissa on piirteitä malmityypistä (kts. teksti).

Fig. 35. Known FeOx-Cu-Au deposits and deposits sharing characteristics with the FeOx-Cu-Au-class.

Kolarin esiintymät ovat osittain massiivisia, pirootteisia ja paikoin breksiamaisia magnetiittiesiintymiä, joissa on vaihtelevina pitoisuuksina kuparia ja kultaa. Kooltaan ne vaihtelevat alle miljoonasta tonnista yli sataan miljoonaan tonniin (taulukko 5). Esiintymiä on aiemmin pidetty 1,89-1,86 miljardin vuoden ikäisiin Haaparanta-sarjan kalkki-alkaalisin intruusioihin liittyvinä karimalmeina (Hiltunen 1982). Viimeisimmissä tutkimuksissa Niiranen ym. (2007) esitti, että Kolarin esiintymien geologiset piirteet viittaavat siihen, että ne kuuluvat FeOx-Cu-Au-malmityyppiin. Tähän viittaavat muun muassa malmitumisen ja siihen liittyvän muuttumisen noin 60 miljoonaa vuotta nuorempi ikä verrattuna ympäristön Haaparanta-sarjan intruusioiden ikään, esiintymien selkeä rakenteellinen kontrolli, monivaiheinen ja laaja-alainen muuttuminen sekä muuttumistyytit, malmitumiseen

liittyvät erittäin suolaiset liuokset sekä metalliassosiaatio Fe-Cu-Au ± Ba, Co, LREE. Merkittävimmät Kolarin alueen FeOx-Cu-Au-esiintymät on esitetty tunnettuine varantoineen sekä pitoisuuksineen taulukossa 5.

Vähäjoen esiintymät

Vähäjoki sijaitsee Tervolassa, Peräpohjan liuskejakson keskiosissa (kuva 35). GTK löysi vuonna 1943 alueelta ryppään pieniä magnetiittiesiintymiä (Mikkola 1949). Myöhemmin tutkimuksia ovat tehneet muun muassa Suomen Malmi Oy, Rautaruukki Oy, Tertiary Gold Plc. ja viimeksi Inmet Mining Inc. Vähäjoen esiintymä koostuu ryppäinä esiintyvistä 0,04-1,0 miljoonan tonnin kokoisista yksittäisistä malmilinsseistä, joissa on vaihtelevina pitoisuuksina kuparia, koboltia ja kultaa (taulukko 5; Liipo & Laajoki 1991, Eilu ym. 2003). Magnetiitti

esiintyy yhdessä karsimineraalien kanssa breksiatytteenä, juonina ja pesäkkeinä alueen suprakrustisissa kivissä. Esiintymällä on selkeä rakenteellinen kontrolli. Metalliassoosiaatio Fe-Cu-Au-As-Co yhdessä edellä mainittujen geologisten piirteiden kanssa viittaa vahvasti FeOx-Cu-Au-malmityyppiin, johon kuuluvaksi sitä ehdotti Eilu ym. (2003).

Misin esiintymät

Misin alue, joka muodostaa itäisimmän osan Peräpohjan liuskejaksosta, oli aktiivisen malminetsinnän ja kaivostoiminnan kohteena 1958-1975 (kuva 35; Nuutilainen 1968). Etsinnän tuloksena löytyi useita pieniä magnetiittiesiintymiä, joista Rautaruukki Oy louhi neljää (Raajärveä, Kärvasvaaraa, Leveäselkää ja Puroa) rautamalmina. Nuutilainen (1968) ehdotti, että esiintymät olivat syntyneet esiintymien yhteydessä esiintyvien gabroihin

liittyvistä spiliittisistä hydromagmaista. Esiintymät ovat köyhiä sulfideista ja niistä on analysoitu vain paikallisesti kohonneita Cu-, Au-, Co-, ja Te-pitoisuuksia (Niiranen ym. 2005). Niiranen ym. (2005) havaitsi Misin alueen magnetiittiesiintymien geologisista piirteistä yhtäläisyyksiä FeOx-Cu-Au-malmityyppien kanssa. Näitä ovat muun muassa laaja-alainen metasomaattinen albiittutumisen esiintymien ympärillä, sekä malmiutumiseen liittyvien fluidien koostumus (mukaan lukien fluidisulkeumista mitatut kohonneet Cu-pitoisuudet), joka on hyvin samankaltainen kuin mitä on todettu liittyvän yleisesti FeOx-Cu-Au-malmeihin.

Kirjallisuus

Barton, M.D. & Johnson, D.A. 2000. Alternative brine sources for Fe-oxide(-Cu-Au) systems: implications for

Taulukko 5. Eräitä Pohjois-Suomen FeOx-Cu-Au-esiintymiä ja niiden pitoisuuksia.

Table 5. Some of the FeOx-Cu-Au deposits in Northern Finland and their grades.

Alue/Esiintymä	Koko Mt	Pitoisuudet	Tuotanto Mt	Lähteet
Kolari				
Hannukainen	110	33,9 % Fe, 0,17 % Cu	4,5	1, 2, 3
Rautuvaara	12,2	42 % Fe, n. 0,1 % Cu	11,4	1, 2
Kuervitikko	45	22,9 % Fe, 0,16 % Cu, 0,17 g/t Au		1, 2, 3
Cu-Rautuvaara	2,8	21,8 % Fe, 0,48 % Cu, 0,3 g/t Au		1, 2
Tervola				
Vähäjoki	10,5	22-37 % Fe, Kupari-kultarikkaimmat osat: 0,05-1% Cu, 0,03-0,5% Co, 0,5 g/t Au		4, 5
Misi				
Raajärvi	6,55	47 % Fe	5,66	2, 6
Kärvasvaara	1,35	53 % Fe	1,1	2, 6
Leveäselkä	1,2	46% Fe	0,3	2, 6
Puro	0,6	53 % Fe	0,06	2, 6

¹Hiltunen (1982), ²Puustinen (2003), ³Northland Resources S.A. data, ⁴Mikkola (1949), ⁵Eilu & Pankka (2010), ⁶Nuutilainen (1968)

- hydrothermal alteration and metals. In Porter, T.M., (ed.): Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: A global perspective, Australian Mineral Foundation, Adelaide, 43-60.
- Eilu, P. & Pankka, H. 2010. FIN-GOLD - a public database on gold deposits in Finland. Version 1. 1. Digitaaliset tietotuotteet 10. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. CD-ROM.
- Eilu, P., Sorjonen-Ward, P., Nurmi, P. & Niiranen, T. 2003. A review of gold mineralization styles in Finland. In: A group of papers devoted to the metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield. *Economic Geology* 98 (7), 1329-1353.
- Groves, D.I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D & Hitzman, M.W. 2010. Iron oxide-copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. *Economic Geology* 105, 641–654.
- Hiltunen, A. 1982. The Precambrian geology and skarn iron ores of the Rautuvaara area, northern Finland. *Geologian tutkimuskeskus, Bulletin* 318, 133 s.
- Hitzman, M.W. 2000. Iron Oxide-Cu-Au Deposits: What, Where, When, and Why. In Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: A global perspective*, Australian Mineral Foundation, Adelaide, 9-25.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N., & Einaudi, M.T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research* 58, 241-287.
- Härkönen, I. 1987. Kultatutkimukset Mäkärärovan alueella Sodankylässä vuosina 1980-1985. *Geologian tutkimuskeskus, raportti* M19/3724/87/1/10, 18 s.
- Kinnunen, K.A. 1980. Fluidisulkeumatutkimus Sodankylän Palokii-maselän kultaesiintymän kvartsijuonista. *Geologian tutkimuskeskus, raportti* M19/3742/80/1/10.9, 9 s.
- Liipo, J. & Laajoki, K. 1991. Mineralogy, geochemistry and metamorphism of the early Proterozoic Vähäjoki iron ores, northern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 63 (2), 69-85.
- Lund, K., Tysdal, R.G., Evans, K.V., Kunk, M.J. & Pillers, R.M. 2011. Structural Controls and Evolution of Gold-, Silver-, and REE-Bearing Copper-Cobalt Ore Deposits, Blackbird District, East-Central Idaho: Epigenetic Origins. *Economic Geology* 106, 585-618.
- Niiranen, T., Mänttari, I., Poutiainen, M., Oliver, N.H.S. & Miller, J.A. 2005. Genesis of Palaeoproterozoic iron skarns in the Misi region, northern Finland. *Mineralium Deposita* 40 (2), 192-217.
- Niiranen, T., Poutiainen, M. & Mänttari, I. 2007. Geology, geochemistry, fluid inclusion characteristics, and U-Pb age studies on iron oxide-Cu-Au deposits in the Kolari region, northern Finland. *Ore Geology Reviews* 30 (2), 75-105.
- Nuutilainen, J. 1968. On the geology of the Misi iron ore province, northern Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Series A. III. Geologica - Geographica* 96. Helsinki: Suomalainen tiedeakatemia. 98 s.
- Mikkola, A. 1949. Vähäjoen rautamalmi Tervolassa. *Geologian tutkimuskeskus, raportti* M17/T-49/1, 3 s.

Ollila, J. 1976. Mäkärrövan kultaesintymän ja sen ympäristön geologiasta. Pro gradu, Geologian laitos, Helsingin yliopisto, 65 s.

Puustinen, K. 2003. Suomen kaivos-teollisuus ja mineraalisten raaka-aineiden tuotanto vuosina 1530-2001, historiallinen katsaus erityisesti tuotantolukujen valossa. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 10.1/2003/3, 578 s.

Vanhanen, E. 2001. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 399, 229 s.

Williams, P.J. & Skirrow, R.G. 2000. Overview of iron oxide-copper-gold deposits in the Curnamona Province and Cloncurry District (Eastern Mount Isa Block), Australia. Teoksessa: Porter, T.M. (toim.) Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective. PGC Publishing, Adelaide, 105-122.

Williams, P.J. & Pollard, P.J. 2001. Australian Proterozoic iron oxide-Cu-Au deposits; an overview with new metallogenic and exploration data from the Cloncurry District, Northwest Queensland. Exploration and Mining Geology, vol. 10, 191-213.

Nikkeli-kupari-platinametalliesiintymät

Tuomo Törmänen

Tässä luvussa on kuvattu Pohjois-Suomen tärkeimmät Ni-Cu-PGE-esiintymät. Kupari ja platinametallit (PGE – Platinum Group Elements) on otettu mukaan tähän samaan kuvaukseen, koska nikkeliyesiintymissä on lähes aina mukana vaihtelevia määriä kuparia ja platinametalleja; lähinnä platinaa (Pt) ja palladiumia (Pd).

Ni-Cu-PGE-esiintymät liittyvät käytännössä aina mafisiin-ultramafisiin, tummiin syväkiviin (gabro, pyrokseeniitti, peridotiitti) tai vastaaviin vulkaanisiin kiviin (lähinnä komatiitteihin). Pohjois-Suomessa esiintymät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: 1. intruusioihin liittyvään tyyppiin ja 2. komatiittisiin vulkaniitteihin liittyvään tyyppiin. Tyypin 1 esiintymät voidaan edelleen jakaa kahteen eri luokkaan: 2,44 miljardin

vuoden ikäisiin kerrosintruusioihin liittyviin esiintymiin ja muihin intruusioihin liittyviin esiintymiin.

Esiintymät ovat pääosin niin kutsuttuja ortomagmaattisia sulfidiesiintymiä eli jossain vaiheessa magmasta on erkaantunut sulfidisula, joka on rikastunut metallien, erityisesti nikkelin ja kuparin sekä mahdollisesti platinametallien suhteen.

Kerrosintruusioiden esiintymät

Pohjois-Suomen alueella esiintyy lukuisia noin 2,44 miljardin vuoden ikäisiä kerrosintruusioita, joihin liittyy useita erilaisia malmiesiintymiä. Suurin osa intruusioista esiintyy vyöhykkeellä, joka alkaa Tornion intruusioista Suomen ja Ruotsin rajalla jatkuen itään aina Näränkävaraan

Suomen ja Venäjän rajalla. Tällä vyöhykkeellä esiintyy noin 20 intruusiota ja intruusiolohkoa (Alapieti 1990, Alapieti ym. 1990, Iljina 1994, Karinen 2010). Lisäksi Sodankylän-Savukosken alueella sijaitsee kaksi merkittävää samaan ryhmään kuuluvaa intruusiota: Koitelainen ja Akanvaara (Mutanen 1997), sekä vielä Tsohkoaivi Käsivarressa (Heikura ym. 2004). Kerrosintruusioihin liittyy tyypillisesti nk. ortomagmaattisia malmityyppejä, kuten kromi, rauta-titaani-vanadiini, sekä PGE- ja PGE-Ni-Cu-malmeja. Näihin kuuluvat myös Kemin kerrosintruusion kromimalmi, jota Outokumpu Oy on louhinut jo 1960-luvulta alkaen, sekä Taivalkosken Mustavaaran Fe-Ti-V-malmi, jota Rautaruukki Oy louhi vuosina 1976-1985.

Outokumpu Oy suoritti lähinnä kupariin ja nikkeliin keskittyvää malminetsintää Koillismaan ja Suhangon alueiden kerrosintruusioilla jo 1960-luvulta alkaen, aina 1980-luvun alkupuolelle. Sen jälkeen, 1980- ja 1990-luvuilla tutkimukset keskittyivät platinametalleihin. Tutkimuksissa oli aktiivisesti mukana myös Oulun yliopiston geologian laitoksella toiminut platinaprojekti, jota veti professori Tuomo Alapieti. Outokummun tutkimukset jatkuivat aina 2000-luvun alkupuolelle, jolloin yhtiö luopui malminetsinnästä, ja keskittyi ruostumattoman teräksen valmistukseen. Myös GTK on tehnyt kerrosintruusiotutkimuksia, lähinnä Koillismaan alueella. Näiden tutkimusten yhteydessä paikallistettiin Kaukuan Ni-Cu-PGE-esiintymä vuonna 2004 (Iljina ym. 2005).

Kerrosintruusioihin liittyvät Ni-Cu-PGE-esiintymät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: niin kutsuttuun *Reef*-tyyp-

piin ja kontaktityyppiin. *Reef*-tyypin esiintymät ovat pääasiassa platinametalliesiintymiä ja niiden nikkeli- ja kuparipitoisuudet eivät ole ekonomisesti kovin merkittäviä. *Reef*-tyyppiset esiintymät ovat ohuita, kerrosmyötäisiä laattoja joiden paksuus vaihtelee tyypillisesti yhden metrin molemmin puolin. Mineralisoituneet vyöhykkeet koostuvat tyypillisesti harvasta perusmetallisulfidipirotteesta joiden rikkipitoisuus on tyypillisesti 1-3 %. Esiintymien keskimääräiset platinametallipitoisuudet ovat hyvin vaihtelevia, mutta tyypillisesti välillä 3-5 g/t. Pohjois-Suomen kerrosintruusioista merkittäviä *Reef*-tyyppisiä esiintymiä on Penikoilla ja eräissä Suhangon alueen intruusioista (kuva 36 ja taulukko 6). Suomen *Reef*-tyyppiset esiintymät ovat yleensä palladium-valtaisia ja kooltaan pienehköjä (n. 5 Mt) verrattuna Etelä Afrikan Bushveld-kompleksiin, jossa tuotetaan suurin osa (n. 75 %) maailman platinasta.

Kontaktityypin esiintymät sijaitsevat nimensä mukaisesti kerrosintruusioiden reunaosissa. Sulfidien määrät vaihtelevat voimakkaasti pirotteisesta tyypistä aina massiivisiin sulfidimalmeihin. Myös näissä esiintymissä platinametallit ovat yleensä ekonomisesti tärkeimpiä metalleja, mutta ne sisältävät myös jonkin verran nikkeliä ja kuparia. Tyypillisesti PGE-pitoisuudet ovat 1-2 g/t ja Ni- ja Cu-pitoisuudet 0.1-0.3 % (taulukko 6). Tärkeimmät kontaktityypin esiintymät ovat Ahmavaara ja Konttijärvi Suhangon alueella, Rovaniemen ja Ranuan rajalla. Esiintymiä on viimeiset kymmenen vuotta tutkinut etelä-afrikkalaisen Gold Fields Ltd:n suomalainen tytäryhtiö Gold Fields Arctic Platinum

Taulukko 6. Pohjois-Suomen tunnettujen Ni-Cu-PGE-esiintymien koko ja metallipitoisuudet.
Table 6. Size and grade data for known Ni-Cu-PGE deposits of Northern Finland.

Alue/Esiintymä	Koko Mt	Pitoisuudet			Lähteet
Kerrosintruusioid					
Penikat					
		Ni (%)	Cu (%)	PGE+Au (g/t)	
SJ-reef	6,7	-	-	8,92	1
AP-reef	3,5	-	0,52	8,23	1
PV-reef	5	-	0,28	7,31	1
Suhanko					
Ahmavaara	188	0,09	0,17	1,09	2
Konttijärvi	75	0,05	0,10	1,29	2
SK-reef	49	0,08	0,10	3,19	3
Koillismaa					
Haukiahö	20,7	0,15	0,24	0,43	4
Kaukua	12,1	0,10	0,15	1,04	5
Muut intruusioid					
Kevitsa	275	0,30	0,41	0,43	6
Liakka	0,25	0,37	0,78	-	7
Sakatti	?	0,15-1,5	0,35-3	0,5-2,5	8
Komatiitteihin liittyvät mineralisaatioid					
Ruossakero	4,2	0,66	0,01	-	9
Hotinvaara	1,27	0,43	-	-	10
Lomalampi	3	0,17	0,06	0,47	11

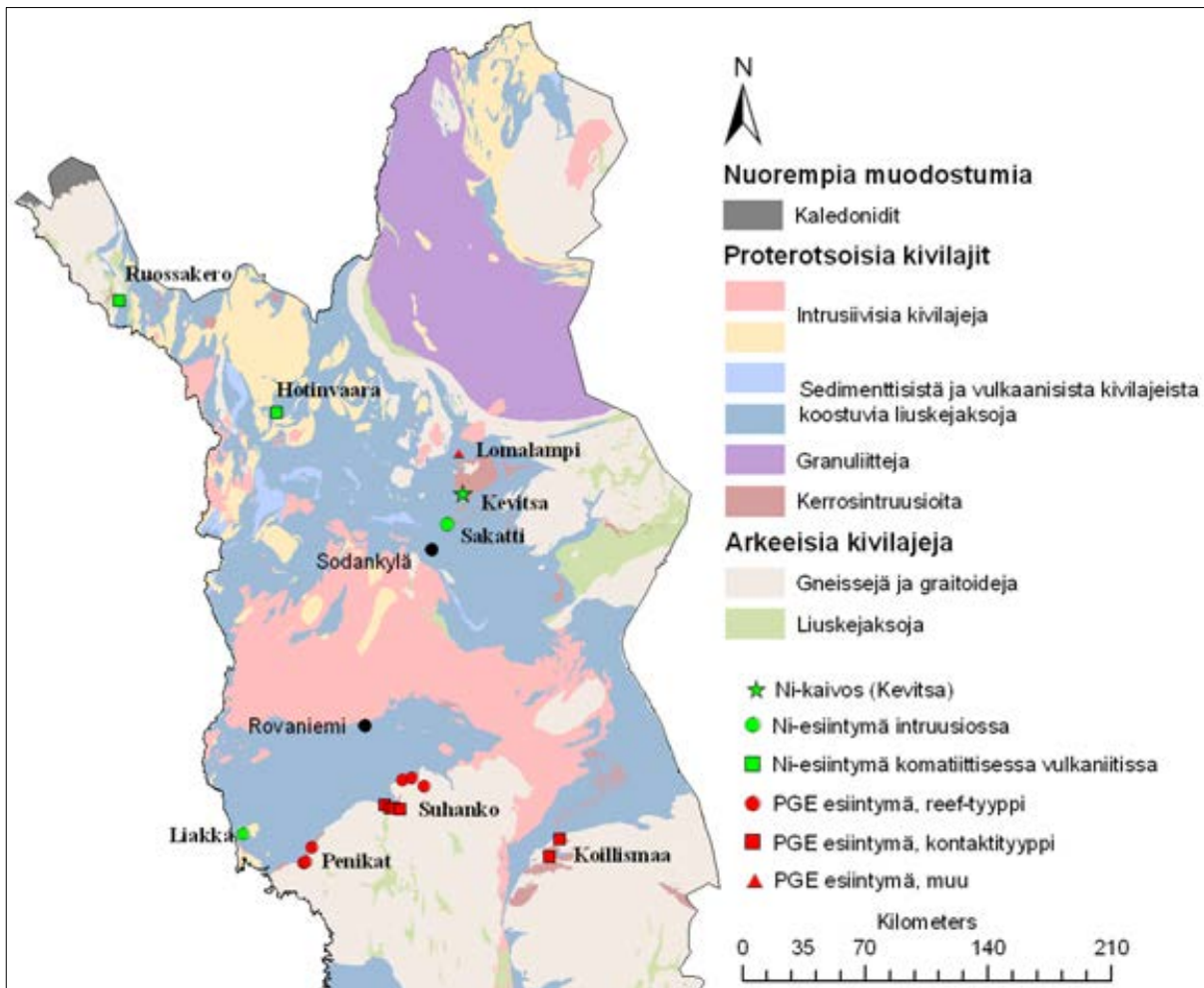
¹Eerola ym. (1990), ²Puritch ym. (2007), ³Gold Fields (2004), ⁴Iljina ym. (2011), ⁵Nortec Minerals (2011), ⁶First Quantum Minerals (2011), ⁷Inkinen (1990), ⁸Anglo American (2011), ⁹Lahtinen (1996), ¹⁰Inkinen ym. (1984), ¹¹Törmänen ym. (2010).

Oy. Samantyyppisiä, joskin tonnistoltaan pienempiä esiintymiä tunnetaan myös Koillismaan alueelta, Kaukuan ja Kuusijärven intruusioista (Kaukuan ja Haukiahön esiintymät, ks. taulukko 6). Näitä esiintymiä tutkii parhaillaan kanadalainen Finore Mining Ltd.

Muihin kuin kerrosintruusioihin liittyvät Ni-esiintymät

Pohjois-Suomen alueelta tunnetaan muutamia Ni-Cu-PGE esiintymiä, jotka eivät liity 2,44 miljardin vuoden ikäisiin kerrosintruusioihin. Näistä tällä hetkellä

merkittävin on Sodankylän Kevitsa, jossa kaivostoiminta on käynnistynyt vuoden 2012 aikana. Geologian tutkimuskeskus (GTK) löysi esiintymän vuonna 1987 (Mutanen 1997). Sen jälkeen tutkimuksia jatkoi Outokumpu vuosina 1996-1998 (Korkalo 2000), Scandinavian Minerals 2000-2007 ja lopulta First Quantum Minerals, joka aloitti esiintymän hyödyntämisen. Kevitsan malmi esiintyy 2,06 miljardin vuoden ikäisessä gabro-peridotiitti-koostumuksellisessa kerrosintruusioid. Malmi on tyyppiltään pirotomalmi, jonka rikkipitoisuudet liikkuvat tyyppillisesti 1-3 prosentin välillä



Kuva 36. Pohjois-Suomen Ni-Cu-PGE-esiintymien sijainti geologisella kartalla.

Fig. 36. Location of the Northern Finland Ni-Cu-PGE deposits on geological map.

ja jonka Ni-, Cu- ja PGE-pitoisuudet ovat varsin alhaisia, mutta esiintymä on kuitenkin taloudellinen sen suuresta koosta johtuen (ks. taulukko 6). Kevitsän lähellä sijaitsee myös toinen mahdollisesti tulevaisuudessa merkittävä Ni-Cu-PGE esiintymä; Anglo American Ltd:n löytämä Sakatin esiintymä. Tässä vaiheessa Sakatin esiintymän geologias- ta ei ole saatavilla juurikaan tietoa. Marraskuussa 2011 yhtiö kuitenkin julkisti joitain esiintymän pitoisuustietoja Fennoscandian Exploration and Mining-konferenssin yhteydessä (taulukko 6).

Suurin osa Suomen tunnetuista ja hyödynnetyistä nikkeli-kupariesiinty-

mistä liittyvät niin kutsuttuihin svekofennisiin, 1,9 miljardia vuotta vanhoihin gabro-peridotitiitti-intruusioihin, joita esiintyy kahdella vyöhykkeellä Keski- ja Etelä-Suomessa (Kotalahden vyöhyke ja Vammalan vyöhyke). Pohjois-Suomen alueelta tunnetaan muutamia pieniä, samaan ikäryhmään kuuluvia intruusioita, lähinnä länsi Lapista, läheltä Ruotsin rajaa. Ainoat tunnetut Svekofenniset Ni-Cu-mineralisaatiot esiintyvät Liakan alueen gabro-peridotitiitti-intruusioissa. Outokumpu tutki aluetta useaan otteeseen 1960-1980 lukujen aikana ja inventoi pienen (0,25 Mt) Liakan esiintymän (Inkinen 1990).

Komatiitteihin liittyvät Ni-Cu-PGE-esiintymät

Komatiitit ovat ultramafisia MgO-rikkaita vulkaniitteja, joiden yhteydessä esiintyy merkittäviä Ni-malmeja. Ni-malmit esiintyvät yleensä komatiittisten laavavirtojen alaosien oliviinikumalaateissa, jotka edustavat muodostumien kaikkein MgO-rikkaimpia osia. Malmit esiintyvät yleensä alueilla joissa komatiittinen laava on purkautunut rikkipitoisten sedimenttien päälle, jolloin laava on erodoinut alla olevaa kivilajia ja näin saanut ulkopuolista rikkiä. Tällaista ulkopuolisen rikin kontaminaatiota pidetään yleensä välttämättömänä komatiittisen nikkelimalmin synnylle. Komatiitteja esiintyy vanhoilla kilpialueilla, kuten Länsi-Australiassa, Etelä-Afrikassa, Kanadassa sekä Suomessa. Iältään suurin osa komatiiteista on arkeisia, yleensä 2,7-3,2 miljardia vuotta vanhoja. Suomessa ja Kanadassa esiintyy myös jonkin verran proterotsoisia 1,9-2,1 miljardin vuoden ikäisiä komatiitteja. Suomen arkeiset komatiitit esiintyvät lähinnä Itä-Suomessa, Itä-Lapissa ja Käsivarren alueella. Proterotsoisia komatiitteja taas esiintyy Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen alueella.

Pohjois-Suomen komatiiteista tunnetaan kolme Ni-Cu-PGE-mineralisaatiota. Ruossakeron esiintymä Käsivarressa liittyy arkeiseen komatiittiin. Esiintymä on pirotetyyppinen ja komatiittisille esiintymille tyypillisesti nikkelivaltainen, kuparipitoisuudet ovat hyvin alhaisia. Esiintymän isäntäkivet ovat MgO-rikkaita oliviinikumulaatteja, lähinnä duniitteja (Isomaa 1988, Lahtinen 1996). Esiintymän löysi GTK, joka suoritti

alueella tutkimuksia vuosina 1979-1986. Outokumpu Oy tutki esiintymää 1995-1996. Puljun vihreäkivijaksolta tunnetaan muutamia pienehköjä, proterotsoisiin komatiitteihin liittyviä nikkelimineralisaatioita, joista merkittävin on Hotinvaara. Puljun jaksoa ja myös Hotinvaaran esiintymää on tutkittu lähinnä Outokumpu Oy, joka aloitti tutkimukset alueella jo 1970-luvulla ja jatkoi tutkimuksia aina 1990-luvun loppulle. Hotinvaaran esiintymä on myös pirotteista tyyppiä ollen kooltaan ja pitoisuuksiltaan vaatimattomampi kuin Ruossakero (Inkinen ym. 1984). Kolmas tunnettu komatiitteihin liittyvä esiintymä on Lomalammen PGE-Ni-Cu-esiintymä Sodankylän pohjoisosassa. Esiintymä liittyy Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen proterotsoisiin komatiitteihin. Sitä voidaan pitää varsin epätyypillisenä komatiittisen esiintymänä korkeista platina-palladium pitoisuuksista (0.3-2 g/t) ja toisaalta alhaisista nikkeli- ja kuparipitoisuuksista (0.1-0.3 %) johtuen (Törmänen ym. 2010).

Kirjallisuus

Anglo American, information hand-out. Fennoscandian Exploration and Mining Conference 2011.

Alapieti, T. 1990. Fennoskandian varhaisproterotsoiset kerrosintrusiot. Teoksessa: Peräpohjan platinaprojekti: loppuraportti. Peräpohjan platinaprojekti, Raportti 3. Oulun yliopisto, Oulu. 11-47.

Alapieti, T.T., Filén, B.A., Lahtinen, J. J., Lavrov, M.M., Smolkin, V.F. & Voitsekhovskiy, S.N. 1990. Early Proterozoic layered intrusions in the northeastern

part of the Fennoscandian Shield. In: Proceedings of the Fifth International Platinum Symposium, Helsinki 1989. *Mineralogy and Petrology* 42 (1-4), 1-22.

Eerola, P., Reino, J., Vaajoensuu, K. & Seppänen, A. 1990. Kivaloiden alueen PGE-Au-Cu-Ni-esiintymien hyödyntämismahdollisuuksista. Outokumpu-in-house report 090/2543,2544,3613/OMS/90.

First Quantum Minerals 2011. Press release 30 March 2011.

Gold Fields (2004). Gold Fields annual report for 2004. Elektroninen julkaisu, saatavana: www.goldfields.co.za/reports/annual_report_2004.

Heikura, P., Iljina, M., Isomaa, J. & Salmirinne, H. 2004. Tutkimustyöselostus valtausalueilla Kaamajoki 1-4, 6 ja 7 sekä Tshokkoaiivi 1 Enontekiön kunnassa suoritetuista tutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 06/1832, 1834/2004/1/10, 17 s., 22 liites., CD-levy.

Iljina, M. 1994. The Portimo layered igneous complex - with emphasis on diverse sulphide and platinum-group element deposits. *Acta Universitatis Ouluensis. Series A, Scientiae Rerum Naturalium* 258. Oulun yliopisto, Oulu, 158 s. + 11 l.

Iljina, M., Heikura, P. & Salmirinne, H. 2005. The Haukiahö and Kaukua PGE-Cu-Ni-Au prospects in the Koillismaa Layered Igneous Complex, Finland. Geologian tutkimuskeskus, raportti M06/3543,3544/2005/1/10, 19 s.

Iljina, M., Duke, C.J., MacFarlane, G.R. & Hinzer, J. 2011. A technical review of the Kaukua, Haukiahö, Lipeävaara and Murtolampi claim areas, Finland for Nortec Minerals Ltd. 143 s.

Inkinen, O. 1990. Kaivoslain 19§:n mukainen tutkimustyöselostus, Yli-Liikka 1, kaivosrekisterinumero 3685/1. Outokumpu Oy raportti 080/2542/OI/90.

Inkinen, O., Ilvonen, E. & Pelkonen, R. 1984. Puljun liuskejakson ja Hotinvaaran tutkimukset 1982–1984. Outokumpu Oy raportti 001/2742/OI,EL,RP/84/21. 54 s. + 64 liitettä.

Isomaa, J. 1988. Tutkimustyöselostus Enontekiön Ruossakeron nikkelimineralisaation tutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/1834/88/1/10. 27 s.

Karinen, T. 2010. The Koillismaa Intrusion, northeastern Finland - evidence for PGE reef forming processes in the layered series. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 404, 176 s. + 1 CD-ROM.

Korkalo, T. 2000. Kaivoslain 19 §:n mukainen tutkimustyöselostus liitteessä 1 mainituista valtausalueista Lapin läänin Sodankylän kunnassa. Outokumpu Oy, raportti 080/3714,3732/TTK/2000, 57 s.

Lahtinen, J. 1996. Mineral resource estimate of the Ruossakero nickel deposit, enontekiö, Northwestern Finland. Outokumpu Oy, raportti 035/1834/JJL96, 21 s.

Mutanen, T. 1997. Geology and ore petrology of the Akanvaara and Koitelainen mafic layered intrusions and the Keivitsa-Satovaara layered complex, northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 395, 233 s.

Nortec Minerals 2011. Press release 22 February 2011.

Puritch, E., Ewert, W., Brown, F.H. & King, D. 2007. Technical report, mineral

resource estimate, and preliminary economic assessment (scoping study) of the Suhanko Project, northern Finland, for North American Palladium Ltd. Aker Kvaerner, P&E Consultants Inc., and F.H. Brown. NI-43-101F1 Technical report and Scoping Study. Report

No 135, 199 s.

Törmänen, T., Heikura, P. & Salmirinne, H. 2010. The komatiite-hosted Lomalampi PGE-Ni-Cu-Au deposit, Northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3723/2010/52.

High-tech-metallit

Laura Lauri

Nykyteknologian tarvitsemiin high-tech-metalleihin luetaan kuuluviksi litium, koboltti, indium, gallium, germanium, niobi, tantaali, titaani, harvinaiset maametallit ja platinametallit. Näiden lisäksi puhutaan erikoismetalleista, joiksi luokitellaan edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi molybdeenin ja volframin. High-tech -metallien käyttö teollisuudessa on kasvanut erityisesti 2000-luvulla ja niiden etsintää on toisaalla käsiteltyjä platinametalleja lukuun ottamatta tehty Lapin alueella suuremmissa mittakaavassa vasta viime vuosina.

Pohjois-Suomen tärkein tunnettu high-tech -metalliesiintymä on Sokli (Vartiainen 1980), jossa on sekä niobi- ja tantaalivarantoja että harvinaisia maametalleja. Sokli löydettiin vuonna 1967 ja sitä on siitä lähtien tutkittu eri yhtiöiden toimesta. Harvinaiset maametallit liittyvät Soklin karbonaatti-intruusion myöhäisiin juoniin ja niitä on Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) viimeaikaisissa tutkimuksissa löydetty alueelta lisää. GTK on tutkinut harvinaisten maametallien esiintymistä Pohjois-Suomessa vuodesta 2009 lähtien. Tutkimuksissa on löytynyt useita aluei-

ta ja kivilajiyksiköitä, joissa harvinaiset maametallit esiintyvät kohonneina pitoisuuksina (esim. Mäkärän alue Vuotosossa, Länsi-Lapin alue Pellon ja Kolarin välillä), mutta varsinaisia uusia malmiesiintymiä ei tutkimuksissa ole toistaiseksi löydetty.

Kobolttia on löydetty Pohjois-Suomessa monimetalliesiintymissä, kuten Kuusamon kulta-kupari-kobolttiesiintymissä (Vanhanen 2001), Kittilän Pahtavuoman sinkkiesiintymässä (Korkalo 2006) ja Sodankylän Kevitsan nikkeli-kupariesiintymässä (Mutanen 1997). Koboltti ei esiinny yhdessäkään esiintymässä niin runsaana, että sen louhinta olisi yksin kannattavaa, mutta se on mahdollinen sivutuote.

Kittilän Karhunjupukasta tunnetaan titaani-vanadiini-rautaesiintymä (Karvinen 1992). Titaania esiintyy myös Posion ja Taivalkosken rajalla sijaitsevan Mustavaaran kaivoksen vanadiinimalmissa. Mustavaaran kaivoksen uudelleen avaamista valmistellaan parhaillaan.

Pieniä molybdeenimineralisaatioita tunnetaan Pohjois-Suomen alueelta useita. Ylitornion Kallijärven aiheen löysi GTK jo vuonna 1952 (Kahma 1956)

ja sitä tutki sen jälkeen Outokumpu Oy. Rautaruukki Oy:n tutkima molybdeeniaihe Kittilän Karsijärvellä ja Outokumpu Oy:n tutkima molybdeeniaihe Kittilän Puljun Kiimatievoilla esiintyvät Hetan graniitin kontaktin karsikivissä. Molybdeenia esiintyy myös Nattas-tyypin graniittien yhteydessä, tunnettuja esiintymiä on Kittilän Tepastossa ja Sodankylän Pomovaarassa. Pieniä molybdeeniaiheita tunnetaan Keski-Lapin graniittikompleksin reuna-alueilta Kittilästä, Sodankylästä, Posiolta, Sallasta ja Kuusamosta. Molybdeenihohdetta esiintyy yleisesti yhdessä muiden malmimineraalien kanssa esimerkiksi Kuusamon kulta-kupari-koboltti-uraaniesiintymissä, Kittilän Pahtavuoman sinkki-uraaniesiintymässä ja Etelä-Lapin Kuohungin-Asentolamminojan vyöhykkeen uraaniesiintymissä.

Vaatimattomia volframiaiheita tunnetaan Savukosken Kuskoivalta ja Rovaniemen Kuluskairan alueelta. Litiunia, galliumia, germaniumia ja indiumia ei Pohjois-Suomen alueella tiedetä esiintyvän.

Kirjallisuutta

Kahma, A. 1956. Yhteenveto geologisen tutkimuslaitoksen suorittamista tutkimuksista Kallijärven molybdeeni-

malmiaiheella Ylitornion Kivilompolossa. Geologian tutkimuskeskus, raportti M17/Yt-56/3.

Karvinen, A. 1992. Karhujupukanympäristön titaani-vanadiini-rautamalmitutkimukset Kolarissa ja Kittilässä vuosina 1990-1991; kaivosrekisterinumero: 4399/1,4399/2 ja 4399/3. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2731/-92/1/10.

Korkalo, T. 2006. Gold and copper deposits in central Lapland, northern Finland, with special reference to their exploration and exploitation. Acta Universitatis Ouluensis. Series A, Sci. Rer. Natur. 461, Oulun yliopisto, Oulu, 122 s.

Mutanen, T. 1997. Geology and ore petrology of the Akanvaara and Koitelainen mafic layered intrusions and the Keivitsa-Satovaara layered complex, northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 395, 233 s.

Vanhanen, E. 2001. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 399, 229 s.

Vartiainen, H. 1980. The petrography, mineralogy and petrochemistry of the Sokli carbonatite massif, northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 313, 126 s.

Uraani

Laura Lauri

Uraanitutkimuksia on tehty Lapissa kolmessa vaiheessa. Ensimmäisten, 1950-1960-lukujen taitteessa tehtyjen

tutkimusten tuloksena paikallistettiin muutama vaatimaton mineralisaatio, joista yksikään ei ollut taloudellisesti

hyödynnettävissä. Ensimmäiset viitteet Kuusamon alueen kulta-kupari-koboltti-uraaniesiintymistä saatiin myös jo 1960-luvun alussa, mutta ne eivät johtaneet jatkotoimenpiteisiin.

1960-luvun puolivälistä 1980-luvun loppupuolelle ulottuneen jakson aikana uraaninetsintää Lapin alueella tekivät ainakin Outokumpu Oy, Geologian tutkimuskeskus (GTK) ja Rautaruukki Oy. Tutkimusten tuloksena löytyi useita uusia uraanimalmiaisiehteitä. Outokumpu löysi Kolarista Kesänkitunturin malminaiheen vuonna 1965 (Sarikkola 1972). Kesänkitunturiin suunniteltiin vinotunnelia, jonka avulla malmiesiintymä olisi voitu louhia. Pahtavuoman kupariesiintymän yhteydestä löytyi Outokummun tutkimuksissa uraniniittijuonia vuonna 1971 ja GTK jatkoi aiheen tutkimuksia vuosina 1982-1985 (Pääkkönen 1988). Outokumpu Oy:n tutkimusten tuloksena löytyi myös Rovaniemen Kuohungin uraaniesiintymä vuonna 1973. GTK tutki Kuohungin aihetta kairaamalla vuosina 1978-1980 ja 1982-1985 (Pääkkönen 1983, 1989). Rautaruukki Oy:n tutkimukset keskittyivät Soklin karbonatiitti-intruusioon, joka löytyi vuonna 1967. Soklissa tutkittiin varsinaisen fosforimalmin lisäksi myös pyrokloori-mineraalissa esiintyvää uraania (Lindqvist & Rehtijärvi 1979). Muita Rautaruukki Oy:n löytämiä esiintymiä olivat Peräpohjan liuskealueella Tervolassa ja Rovaniemellä sijaitsevat fosforiittiset Mustamaan (1979) ja Ranta-Tulkkivaaran (1984) aiheet (Korvuo 1982, Kvist 1987). GTK:n tutkimuksissa löytyneitä aiheita ovat muun muassa Palkiskuru (1980), Aakenusvaara (1981) ja Laavivuoma (1983). Lisäksi GTK jat-

koi koko 1980-luvun ajan tutkimuksia Kuusamossa, josta Outokumpu Oy oli löytänyt useita kulta-koboltti-kupari-uraaniesiintymiä (muun muassa Juomasuo ja sen satelliitit) 1970-luvulla (kts. Vanhanen 2001).

2000-luvulla uraanitutkimuksia tehtiin ulkomaisten yhtiöiden toimesta. Yhtiöt keskittyivät pääasiassa tekemään lisätutkimuksia (kairauksia ja radonmittauksia) tunnetuissa malmikohteissa, mutta tulokset ovat toistaiseksi jääneet vaatimattomiksi. Uusia uraanimalmiaisiehteitä on 2000-luvulla löytenyt kolme kappaletta. Kaikki uudet aiheet löytyivät AREVA Resources Finland Oy:n tutkimusten tuloksena. Ranuan Mätäskairasta Asentolamminojan varrelta löytyi vuonna 2007 laaja uraanimalmihokareikko. Maastotutkimukset osoittivat malmihokareikon laajuudeksi ainakin 9 km², mutta sen alueelta ei löydy yhtään kalliopaljastumaa. Asentolamminojan lohokareikko sijaitsee noin 15 km Kuohungin uraanimalminaiheen eteläpuolella. Uraaniviitteet jatkuvat Asentolamminojalta noin 10 km eteläkaakkoon Isokankaalle, jossa on säteileviä paljastumia. Asentolamminojan aihetta ei ole toistaiseksi tutkittu tarkemmin, mutta alustavien tutkimusten perusteella vaikuttaa siltä, että Kuohungin ja Isokankaan välille voidaan rajata uraanipotentialinen vyöhyke.

Toinen 2000-luvun löytö tehtiin Ylitornion ja Rovaniemen rajalta Rumavuoman alueelta, missä oli jo GTK:n kuparimalmitutkimuksissa 1990-luvulla saatu viitteitä säteilystä. Rumavuoman uraaniaihe sijaitsee Peräpohjan liuskevyöhykkeellä samassa stratigrafisessa tassa Mustamaan 1970-luvulla löydetyn uraaniaiheen kanssa, mutta Mustamaas-

ta poiketen Rumavuoma ei alustavien tutkimusten perusteella ole fosforiittityypin esiintymä. Rumavuoman alueella ei ole toistaiseksi tehty tarkempia tutkimuksia.

Merkittävin uusi löytö on Ylitorion Rompaksen kulta-uraaniesiintymä, joka löytyi vuonna 2008. Rompaksen malmiaihe sijaitsee Peräpohjan liuskevyöhykkeen ja Keski-Lapin grani-toidikompleksin rajavyöhykkeessä geologisesti huonosti tunnetulla alueella. Maastohavaintojen perusteella Rompaksen alueella on kultaa ja uraania sisältäviä paljastumia 6 km pitkällä ja yli 200 m leveällä vyöhykkeellä. Mawson Oy on tehnyt alueella kairauksia vuonna 2012. Yhtiön tiedotteen mukaan kulta ja uraani esiintyvät sivukiviä leikkaavissa kvartsi-kalkkisilikaattijuonistossa.

Kirjallisuutta

Korvuo, E. 1982. Mustamaa 1-2 tutkimukset. Outokumpu Oy Malminetsintä, raportti 080/2631,2633/EK/82.

Kvist, M. 1987. Uraanimalmi-tutkimukset Ranta-Tulkkivaaran ja Mustaselän alueella vuosina 1984-1986. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3613/-87/1/60, 19 s.

Lindqvist, K. & Rehtijärvi, P. 1979.

Pyrochlore from the Sokli carbonatite complex, Northern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 51(1-2), 42-43.

Pääkkönen, K. 1983. Tutkimus-työselostus Rovaniemen mlk:ssa valta-alueella Kuohunki 1, kaiv. rek. n:o 2997 suoritetuista malmitutkimuksista vuosina 1978-1980. Geologian tutkimuskeskus, raportti M06/3613/-83/1/60, 4 s.

Pääkkönen, K. 1988. Uraanimalmi-tutkimukset Pahtavuoman – Kolvakeron alueella Kittilässä ja Muoniossa vuosina 1982-1985. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2741/-88/1/60, 34 s.

Pääkkönen, K. 1989. Tutkimus-työselostus Rovaniemen mlk:ssa valta-alueella Niittuoja 1, kaiv. rek. n:o 3640/1 suoritetuista malmitutkimuksista vuosina 1982-1985. Geologian tutkimuskeskus, raportti M06/3613/-89/1/60, 7 s.

Sarikkola, R. 1972. Väliraportti, Kolarin, Kesänkitunturi. Outokumpu Oy Malminetsintä, raportti 035/2732/RSA-72, 6 s.

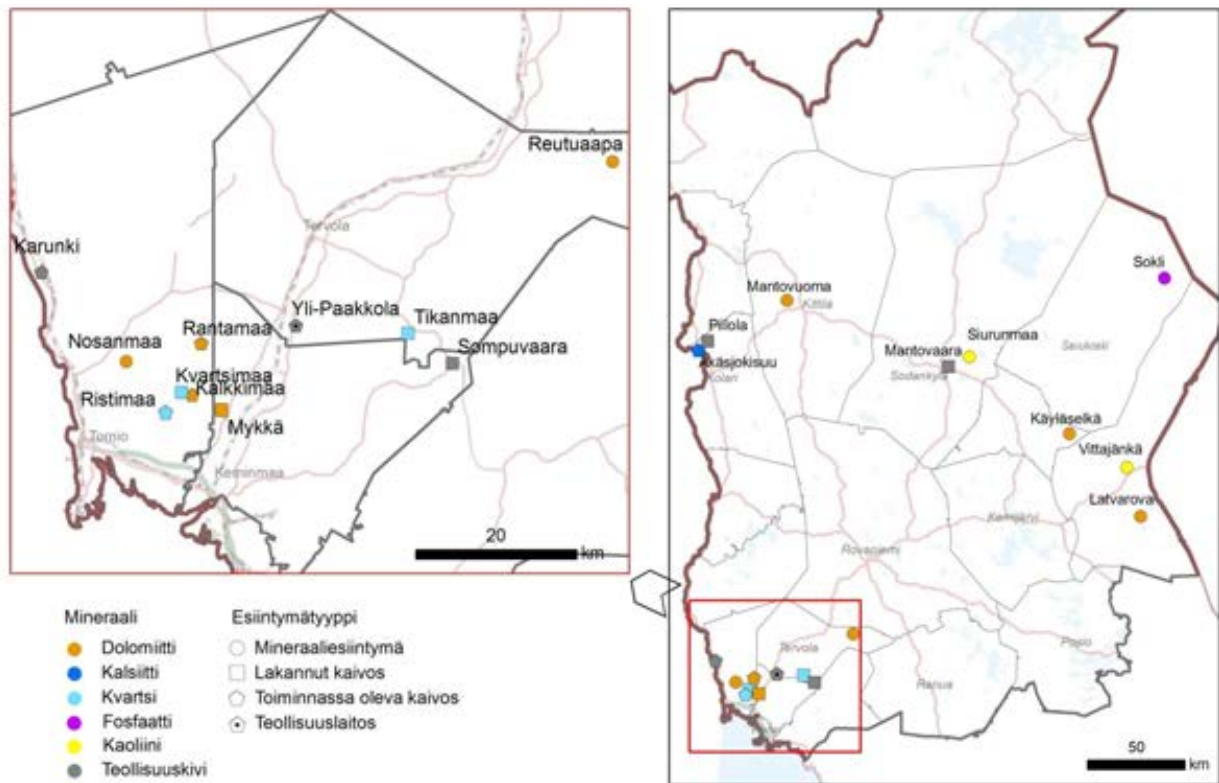
Vanhanen, E. 2001. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 399, 229 s.

Teollisuusmineraalit ja -kivet

Panu Lintinen ja Risto Vartiainen

Teollisuusmineraalit ja -kivet ovat mineraaleja tai kivet, joita voidaan käyttää sellaisenaan tai edelleen jalostettuna hyväksi teollisuudessa niiden fysikaalisten

tai kemiallisten ominaisuuksien vuoksi. Lapissa teollisuusmineraalituotantoa on lähinnä maakunnan eteläosassa ja se on keskittynyt vahvasti dolomiitin ja kvart-



Kuva 37. Lapin teollisuusmineraaliesiintymät ja -louhokset. Maastotiedot © Maanmittauslaitos.

Fig. 37. Industrial mineral deposits and quarries in Lapland. Basemaps © National Land Survey of Finland.

sin tuotantoon (kuva 37). Tosin nykyisin toimintaa on myös Luoteis-Lapissa, missä on avattu uudelleen Kolarin Äkäsjokisuun kalkkikivilouhos. Myös Soklin tutkimukset ovat vilkastuneet viime vuosina, mutta päätöstä kaivoksen avaamisesta ei ole vielä tehty.

Dolomiittia on eteläisessä Lapissa käytetty kotitarvekalkin polttoon jo 1800-luvulla ja aiemminkin. Varsinaista dolomiittiteollisuutta on Lapissa ollut 1900-luvun alkupuolelta lähtien.

Kalkkikivi ja dolomiitti

Kolarin Äkäsjokisuun kalkkikivialueilla on kalkin polttoa harjoitettu jo vuosisatoja. Kalkkikivialue on hyvin laaja, pinta-alaltaan lähes 10 km², joten varannot ovat erittäin suuret. Äkäsjokisuun ja Ruonaajan louhoksista on louhittu

kalkkikiveä lähes yhtäjaksoisesti noin 30 vuoden ajan, louhinta lopetettiin vuonna 1998. Äkäsjokisuussa sijainnut sementtitehdas suljettiin jo aiemmin, vuonna 1989. Kalkkikiven vuosilouhinta on vuosina 1972-1982 ollut keskimäärin 260 000 t. Sementin valmistukseen tarvittavaa alumiinirikasta kiveä kuljetettiin aluksi Sodankylän Mantovaaran louhoksesta, mutta myöhemmin sitä löydettiin lähempää, Kolarin Piilolasta (Airas & Auranen 1984).

Kaivospiirioikeudet omistava Nordkalk Oy Ab on avannut uudelleen Ruonaajan kalkkikaivoksen, koska kalkkikivituotteiden kysyntä on uusien kaivosprojektien myötä kasvanut merkittävästi. Kolarin kalkkikiveä on käytetty muun muassa Talvivaaran kaivoksella uuttoliuosten neutralointiin. Ruonaajan louhos sijaitsee noin kaksi kilometriä

Äkäsjokisuun louhoksesta pohjoiseen. Yhtiön tavoitteena on noin 400 000 t vuosilouhinta.

Rudus Oy on avannut Äkäsjokisuun vanhan sementtitehtaan alueelle betoniaseman, joka tuottaa betonia muun muassa Ylläksen alueen matkailurakentamisen tarpeisiin. Mikäli Hannukaisen alueen kaivostoiminta käynnistyy suunnitellusti, tullaan betonitehtaan tuotantoa mahdollisesti laajentamaan. Betoniaseman tarvitsema sementti tuodaan Äkäsjokisuuhun Paraisilta.

Kalkkimaan louhoksesta Tornion Ruottalassa on louhittu kalkkia teollisesti jo 1900-luvun alkupuolella, jolloin siellä toimi vuonna 1917 avattu dolomiittilouhos sekä sen yhteydessä maanviljelyskalkkitehdas. Alueelle rakennettiin myös junarata, joka oli käytössä vuosina 1933-1982; nykyisin rata on jo osittain purettu. Avo-louhoksen tuotanto oli melko suurta jo alkuvuosina; vuonna 1959 kokonaislouhinta oli noin 90 000 t. Vuosina 1972-1982 vuosilouhinta oli keskimäärin 185 000 t (Airas & Auranen 1984).

Nykyisen, vuonna 1972 rakennetun teollisuuskalkkitehtaan omistaa SMA Mineral -yhtiö, joka valmistaa dolomiittikivistä muun muassa maatalouskalkkia sekä erilaisia jalostetumpia tuotteita muun muassa rakennus-, asfaltti-, turve- ja rehuteollisuuden tarpeisiin. Vuosilouhinta on pienentynyt huippuvuosista noin 50 000-70 000 t, koska maatalouskalkin tarve on vähentynyt ja koska kalsiittisesta tuontikivistä valmistetut tuotteet ovat osittain korvanneet aiemmin dolomiittikivistä tehtyjä tuotteita; SMA Mineralilla on Röyttässä vuonna 2002 valmistunut kalkinpolttolaitos, jonne raaka-aine, kalsiittinen

kalkkikivi, tuodaan Gotlannista.

Tornion Rantamaan ja Keminmaan Mykän dolomiittiesiintymiä on tutkittu mahdollisina luonnonkiven ottopaikkoina 1970-luvulla (Pekkala 1974 ja 1978). Lapin Marmori Oy koelouhi Rantamaan esiintymää 1980-luvulla, mutta kivi osoitautui liian rikkonaiseksi luonnonkivi-tuotantoon. Kiveä on kuitenkin louhitu muun muassa rakennuselementtien pinnoitemateriaaliksi. Nykyisin (Rantamaan) esiintymä on osa SMA Mineralin dolomiittivarantoa.

2000-luvun alussa Geologian tutkimuskeskus (GTK) selvitti karbonaattikiviesiintymien laatua ja kokoa Peräpohjan, Keski-Lapin ja Itä-Lapin alueella. Tarkoituksena oli selvittää esiintymien laatuominaisuuksia muun muassa mahdollisten kaivosprojektien tarpeisiin sekä löytää mahdollisimman puhtaita karbonaattikiviesiintymiä muun teollisuuden tarpeisiin (Ahtola ym. 2007 ja 2010). Laadultaan parhaimmaksi osoittautui Reutuaavan dolomiittiesiintymä Tervolassa, jossa kairausten ja geologisen kartoituksen perusteella esiintyy valkoista marmoria ainakin kilometrin mittaisena, 200 m leveänä ja vähintään 100 m:n syvyydelle ulottuvana vyöhykkeenä. Esiintymän arvioidaan sisältävän yli 50 milj. t valkoista dolomiittimarmoria (Al-Ani ym. 2003, Lintinen ym. 2007). Karbonaattikiviselvitysten yhteydessä kairattiin ja analysoitiin myös Nosanmaan dolomiitti- ja kvartsiesiintymä Torniossa (Lintinen & Turunen 2008), Mantovuoman karbonaattikiviesiintymä Kittilässä (Lintinen & Turunen 2010), Käyläselän karbonaattikiviesiintymä Pelkosenniemellä (Lintinen 2010) sekä Sallan Latvarovan karbonaattikiviesiintymä (Vartiainen 2011).

Kvartsi

Tornion Kvartsimaan kvartsiittia on käytetty kuonan poistoon ja lämmön stabilointiin Tornion terästehtaan jalostusprosessissa. Kvartsimaa sijaitsee aivan Kalkkimaan dolomiittiesiintymän vieressä. Louhinta Kvartsimaassa on lopetettu vuonna 1990 samoihin aikoihin, kun uusi kvartsiittilouhos Ristimaassa avattiin (kuva 38). SMA Mineral -yhtiö louhii Ristimaan kvartsiittia vuosittain noin 70 000 t, määrä on kasvussa ja on riippuvainen lähinnä Tornion terästehtaan tuotantomääristä.

Lohja Rudus Oy louhi vuosina 1980-1984 Tervolan Tikanmaan kvartsiittia, jonka kvartsipitoisuus on korkea. Esiintymästä louhittu kivi on myyty ulko-

maille (Airas & Auranen 1984). Nykyisin toimintaa ei enää ole ja kaivospiiri on lakkautettu.

Soklin fosforiesiintymä

Soklin forformalmiesiintymä sijaitsee Itä-Lapissa, Savukosken kunnan koillisosassa vain 12 km etäisyydellä Venäjän rajasta. Esiintymä löydettiin vuonna 1967 Rautaruukki Oy:n systemaattiseen malminetsintään liittyvissä lentomittauksissa. Geofysikaalisen anomalian aiheuttajaksi osoittautui suuri karbonaattimassivi, josta inventoitiin Rautaruukki Oy:n aina vuoteen 1980 jatkuneissa tutkimuksissa yli 100 milj. t hyvälaatuista fosforimalmia (16 % P_2O_5), paikannettiin useita niobiantaalimalmiaiheita ja osoitettiin harvi-



Kuva 38. Ristimaan kvartsilouhos Torniossa. Kuva R. Vartiainen.
Fig. 38. Ristimaa quartzite quarry in Tornio. Photo R. Vartiainen.

naisia maametalleja ja kuparia sisältävä vyöhyke. Jo 1970-luvun lopulla Rautaruukki Oy toteutti Soklissa fosforimalmin pilottimittakaavan koeajon (Manner & Tervo 1988).

Kaivosoikeudet siirtyivät vuonna 1986 Rautaruukki Oy:ltä Kemira Oy:lle, joka toteutti laajan tutkimus- ja kehitysprojektin vuosina 1986-1989. Projektin tuloksena päätettiin olla käynnistämättä kaivosinvestointihanketta kohonneiden kustannusten ja matalan hinnan takia. Vuoden 2007 lokakuussa Kemira GrowHow siirtyi norjalaisen Yara International -yhtiön omistukseen. Kauppa sisälsi myös kaivosoikeudet Soklin esiintymään ja tutkimukset kaivoksen avaamiseksi alkoivatkin uudelleen.

Sokliin on kairattu erilaisin menetelmin yli 1400 reikää ja porattu yli 6000 auger- eli kierrekairausreikää malmiaiheiden etsimiseksi ja niiden tutkimiseksi. Geofysikaaliset mittaukset ovat käsittäneet magneettisia, sähköisiä, VLF-, säteily- ja painovoimamittauksia sekä seismisiä luotauksia.

Soklin esiintymä liittyy noin 360 miljoonaa vuotta vanhaan karbonaattimassiiviin, jonka halkaisija maan pinnalla on 5-6 km ja pinta-ala yli 20 km² (Vartiainen 1998). Varsinainen fosforimalmi liittyy karbonaattimassiivin rapautumiskuoreen. Rapautumisprosessit ovat rikastaneet fosforimalmin alla olevaa kovaa kiveä niin, että kovan kiven fosforipitoisuus – 3,8 % P₂O₅ – on noussut fosforimalmeissa keskimäärin 16 %:iin. Arviolta kuuden kilometrin syvyyteen ulottuva karbonaattimassiivi muodostaa mittasuhteiltaan valtavan fosforireservin.

Yara julkaisi vuoden 2012 alussa tie-

dotteen, jossa se ilmoitti pyrkivänsä rikastamaan Soklin fosforimalmiesiintymää Soklissa. Yhtiö tekee alueella lisäselvityksiä ja toteuttaa kairausohjelman kesän 2012 aikana. Arvioidut 188 milj. tonnin malmivarat, sisältäen rikkaimmat pehmeät malmit eli malmin pintaosat, riittävät noin 20 vuoden tuotantoon. Tuotannon on suunniteltu alkavan aikaisintaan vuonna 2015. Soklin fosforimalmiesiintymä ja erityisesti niobimalmit sisältävät säteilysuojellisesti merkittäviä määriä luonnon radioaktiivisia aineita (toriumia, uraania ja radiumia), joiden vaikutuksia Säteilyturvakeskus on arvioinut (Solatie ym. 2010). Fosfori- ja niobimalmiesiintymien hyödyntämisessä tulee huomioida säteilylaissa asetetut velvoitteet.

Kaoliini

GTK on tutkinut Lapin kaoliinipotentiaalia 1990-luvulla, lähinnä Keski-Lapin alueella. Tutkimusten tavoitteena on ollut riittävän suuren ja hyvälaatuisen, paperin pigmentiksi soveltuvan kaoliiniesiintymän löytäminen. Lapissa on runsaasti rapakallioita, mutta toistaiseksi kaoliinipitoiset esiintymät ovat osoittautuneet joko liian pieniksi tai laadultaan huonoiksi (Vartiainen 2000, 2003 ja 2005). Laadultaan parhaimmaksi osoittautui GTK:n tutkimuksissa Sallassa sijaitseva Vittajängän kaoliiniesiintymä, jossa arvioitiin olevan yli 10 miljoonaa tonnia valkoista kaoliinia, jonka keskimääräinen kaoliiniittipitoisuus on noin 30 % (Lintinen & Al-Ani 2005, Lintinen 2006).

Sodankylän Siurunmaalla GTK tutki vuosina 1978-1988 kaoliiniesiintymää, jonka kaoliinivarannoiksi arvioitiin

noin kolme miljoonaa tonnia, josta kolmannes oli valkoista kaoliinia. Kaoliini sisälsi keskimäärin 20-30 % kaoliniittia (Rask & Lintinen 2001). Rautaruukki Oy paikansi ja tutki Kolarin Kaupinvuomassa kaoliiniesiintymän 1980-luvulla.

Muut teollisuusmineraalit ja -kivet

Weber Oy Ab (entinen Maxit Oy Ab), joka on nykyään osa ranskalaista Saint-Gobain -konsernia, louhii tummaa fylliittiä Tornion Karungissa (kuva 39). Louhoksen kivi ajetaan kesäaikaan rekoilla Tervolan Yli-Paakkolan tehtaalle, jossa siitä valmistetaan kattouopasiro-tetta. Vuosilouhinta on noin 20 000 tonnia. Lohja Oy louhi aiemmin fylliittiä samaan tarkoitukseen tehtaan lähialueilta Yli-Paakkolassa, mutta louhokset ovat jääneet Taivalkosken patoamisen yhtey-

dessä veden alle.

Partek Oy louhi vuosina 1977-1989 Keminmaan Sompuvaaran gabroa vuorivillan raaka-aineeksi (Perttunen 1991).

Kirjallisuus

Ahtola, T., Sarapää, O., Niemelä, M., Kuivasaari, T., Vartiainen, R., Lintinen, P., Käpyaho, A., Reinikainen, J., Seppänen, H. & Lohva, J. 2007. Teollisuusmineraalivarojen kartoitus vuosina 2003-2007. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10.4/2007/72, 41 s.

Ahtola, T., Kuusela, J., Seppänen, H., Vartiainen, R., Lintinen, P., Niemelä, M. & Lohva, J. 2010. Teollisuusmineraalivarojen kartoitus vuosina 2008-2010. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10.4/2010/56, 22 s.



Kuva 39. Karungin fylliitti-/sirotekivilouhos Torniossa. Kuva R. Vartiainen.
Fig. 39. Phyllite quarry in Karunki, Tornio. Photo R. Vartiainen.

Airas, K. & Auranen, O. 1984. Pohjois-Suomen malmi- ja mineraalivarat. Teoksessa: Geologinen Pohjois-Suomi. Acta Lapponica Fenniae 12. Lapin Tutkimusseura, Rovaniemi, 29-50.

Al-Ani, T., Lintinen, P. & Karhunen, J. 2003. Mineralogical Description and Preliminary Processing of the Vittajänkä Kaolin Deposit, Salla, Northeastern Finland. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 19/4621/2003/1/82, 33 s., 36 liites.

Lintinen, P. 2006. Tutkimustyöselostus Sallan kunnassa valtausalueella Vittajänkä (Kaivosrekisterinumero 7320/1) suoritetuista kaoliinitutkimuksista vuosina 1999-2005. Geologian tutkimuskeskus, raportti M06/4621/2006/1/10, 12 s. + 11 liites.

Lintinen, P. 2010. Karbonaattikivitutkimukset Pelkosenniemen Käyläselässä 2009-2010. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3644/2010/34, 13 s., 3 liites.

Lintinen, P. & Al-Ani, T. 2005. The Vittajänkä kaolin deposit, Salla, Finnish Lapland. In: Geological Survey of Finland, Current Research 2003-2004. Geologian tutkimuskeskus, Special Paper 38, 41-47.

Lintinen, P. & Turunen, P. 2008. Dolomiitti- ja kvartsitutkimukset Tornion Nosanmaalla 2007-2008. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2542/2008/79, 21 s., 7 liites.

Lintinen, P. & Turunen, P. 2010. Karbonaattikivitutkimukset Kitilän Mantovuomalla 2008-2009. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2732/2010/18, 15 s., 7 liites.

Lintinen, P., Turunen, P. & Vartiainen, R. 2007. The Reutuaapa dolomite

marble deposit at Tervola, Northern Finland. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3611/2007/92, 25 s., 9 liites.

Manner, R. & Tervo, T. 1988. Lapin geologiaa - hiekkarannoista tuntureiksi, tulivuorista tasangoiksi, mannerjäätiköstä maaperäksi. Lapin maakuntaliitto, Rovaniemi, 188 s.

Pekkala, Y. 1974. Rantamaan ja Mykän dolomiittiesiintymien syväkairaukset. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2542/74/1/84, 15 s., 29 l.

Pekkala, Y. 1978. Rantamaan marmoriesiintymä Torniossa. Abstract: Rantamaa marble deposit in northwestern Finland. Geologian tutkimuslaitos, Tutkimusraportti 29, 23 s.

Perttunen, V. 1991. Kemin, Karungin, Simon ja Runkauksen kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Kemi, Karunki, Simo and Runkaus map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000 : kallioperäkarttojen selitykset lehdet 2541, 2542+2524, 2543, 2544. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 80 s.

Rask, M. & Lintinen, P. 2001. Kaoliinitutkimukset Sodankylän Siurunmaalla vuosina 1978-1988. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 19/3713/2001/1/82, 12 s., 6 liites.

Solatie, D., Leppänen, A.-P. & Ylipietä, J. 2010. Soklin radiologinen perustilaselvitys. Säteilyturvakeskus, 38 s. Elektroninen julkaisu, saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=121505&lan=fi> (Viitattu 15.11.2012)

Vartiainen, H. 1998. Suomen alkali- ja apatiitista timanttiin. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.) 3000 vuosimiljoonaa, Suomen

kallioperä. Suomen geologinen seura, s. 285-307.

Vartiainen, R. 2000. Raportti teollisuusmineraalihankkeen tutkimuksista Pohjois-Suomessa vuosina 1996-1998. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 89/2000/3, 15 s., 3 liites.

Vartiainen, R. 2003. Teollisuusmineraali- ja rakennuskivitutkimukset Pohjois-Suomessa vuosina 1999-2001. Geologian tutkimuskeskus, raportti M

10.4/2003/3, 18 s., 6 liites.

Vartiainen, R. 2005. Teollisuusmineraali- ja rakennuskivitutkimukset Pohjois-Suomessa vuosina 2002-2004. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 10.4/2005/4, 18 s., 6 liites.

Vartiainen, R. 2011. Karbonaattikivitutkimukset Sallan Latvarovassa 2010. Geologian tutkimuskeskus, raportti 10/2011, 15 s., 2 liites.

Luonnonkivet

Risto Vartiainen

Luonnonkivi on luonnosta saatavaa materiaalia, jota voidaan käyttää monein tarkoituksiin joko sellaisenaan tai edelleen jalostettuna. Perinteisiä kivenkäyttökohteita ulkotiloissa ovat talojen julkisivut, katukiveykset, sillat, muurit, raput ja muistomerkit. Sisätiloissa kiveä käytetään muun muassa lattioissa ja seinissä, tulisijoissa, keittiötasoissa sekä koriste- ja käyttöesineissä. Luonnonkivestä käytetään usein myös termiä ”rakennuskivi”, joka on kuitenkin hiljalleen jäämässä pois käytöstä. Silloin tällöin näkee myös käytettävän jo vanhahtavaa termiä ”tarvekivi”.

Luonnonkiven käyttö on lisääntynyt tasaisesti, varsinkin niin sanotussa ympäristörakentamisessa ja sisustamisessa. Kiven käyttö yksityistalouksissa kasvaa koko ajan ja erityisesti piharakentamisessa, jossa voidaan hyödyntää myös luonnosta sellaisenaan löydettyjä, luonnon muovaamia irtokiviä ja -lohkareita.

Useimpien Lapin kuntien alueelta on tiedossa vanhoja kivenottoaikoja, joista on otettu pieniä määriä kiveä kylän tai yksittäisen talon tarpeisiin, kuten talojen ja navetoiden kivijalkoihin, uuneihin yms. tarkoituksiin. Toiminnan vähäisyyden vuoksi merkit kivenotosta ovat saattaneet ajan myötä kadota jäljettömiin eivätkä vanhat kivenottoaikat siten ole välttämättä enää tunnistettavissa tai löydettävissä. Vanhoilla kivenottoaikoilla ei ole useimmissa tapauksissa mitään taloudellista arvoa nykyaikaisen, teollisen mittakaavan kivenjalostuksen kannalta; ennen vanhaan tarvittavat kivet otettiin mahdollisimman läheltä ja helppokulkuisesta paikasta kiinnittämättä huomiota kiven tekniseen laatuun tai esiintymän suuruuteen, väriin tai muista esteettisistä seikoista puhumattakaan. Pienempiin, paikallisiin käyttötarkoituksiin vanhat kivenottoaikat saattavat etenkin liuskekivien osalta soveltua nykyäänkin.

Vanhoja kivenottopaikkoja tunnetaan varsinkin Kemin ja Tornion seudulta. Näistä mielenkiintoisimpia jo historiallisestikin on Kallinkankaan kvartsiitti, josta on rakennettu muun muassa Keminmaan vanha kirkko. Kemin kirkon kivijalassa on puolestaan käytetty Kemin Takajärveltä 1900-luvun alkupuolella louhittua porfyyristä, vaaleanpunaista graniittia (Rask 1986).

Hiukan uudempaa kivenjalostusta edustaa esimerkiksi Yli-Paakkolassa, Tervolassa Paakkolan tumma fylliitti, jota on käytetty paljon esimerkiksi takkakivenä, rakennusten kivijalkojen ja seinien verhoiluun, kovasimina, sekä katto- ja käytävälaittoina (Stigzelius & Ervamaa 1962). Liuskelouhimot ovat 1970-luvulla jääneet Taivalkosken voimalaitoksen rakentamisen vuoksi veden alle. Geologinen erikoisuus on Keminmaan Taivalkoskelta 1970-luvulla pienimuotoisesti louhittu konglomeraatti, jota on käytetty muun muassa kiillotettuina pöytälevyinä. Sitä voi nähdä esimerkiksi Länsi-Pohjan keskussairaalan ala-aulan suihkulähteessä Kemissä. Myös konglomeraattilouhimo on jäänyt veden alle Taivalkosken rakentamisen yhteydessä.

Tornion Kaakamavaaran - Palovaaran alueelta on louhittu helposti lohkeavaa serisüttikvartsiittia, jota on käytetty, paitsi paikallisesti, 1940-luvulla tietävästi myös muun muassa Turun hautausmaan Ylösnousemuskappelissa (Rask 1986). Tornion Kaakamoniemestä on louhittu mustaa gabroa hautakiveksi. Toiminnasta on muistona enää osittain täyttynyt ja soistunut louhosmonttu, sivukivikasoja, vanhoja koneen osia sekä tien nimi, Kiviveistämöntie. Tornion Nosanmaan

- Petäjämaan harmaata graniittia on käytetty hautakivinä sekä navettojen ja asuinrakennusten kivijalkoihin.

VR, TVH ja yksityiset ovat louhineet Tornion raviradan eteläpuolella sijaitsevan Rajakankaan ruskeanharmaata dioriittia, jossa on graniittisia juonia. Rajakankaan kallioalue on varsin laaja ja vanhoja pieniä louhimokuoppia on alueella useita. Kiven väri vaihtelee harmaasta ruskeaan ja paikoin se on lähes mustaa. Kiveä on louhittu 1940-luvulla muun muassa Isohaaran voimalaitostyömaalle. Alueella on nykyisin kalliokiviainestuotantoa.

Sompujärven Tuore-Kilkasta Keminmaassa on louhittu mustaa gabroa ja kivistä on jalostettu Lapin Marmori Oy:ssä Tervolan Louella kiillotettuja ohutlevyjä. Esiintymästä on jalostettu lähinnä suuria irtolohkareita, varsinaista louhimoa ei Tuore-Kilkassa ole. Tuotannossa ollessaan Sompujärven kivi tunnettiin kauppanimellä ”Lappia Black” ja sitä on nähtävillä muun muassa Keminmaan kunnantalon seinissä. Viime vuosina kiveä ei ole enää hyödynnetty.

Lapin tunnetuimpia luonnonkiviä ovat marmorit, joita on hyödynnetty jo 1800-luvulla kalkinpoltossa, varsinkin eteläisimmässä Lapissa (Perttunen 1991). Dolomiittimarmoreita on erityisen runsaasti Tornion, Ylitornion ja Rovaniemen muodostamassa kolmiossa, niin sanotussa Lapin kolmiossa. Alueen dolomiitteja on tutkittu luonnonkivenä erityisesti 1970-luvulla (Pekkala 1973, 1974 ja 1978).

Lapin kuuluisin ja luonnonkivenä eniten hyödynnetty marmori on Tervolan Louelta saatava harmaan ruskea - kellertävä marmori, joka tunnetaan kaup-



Kuva 40. Koelouhimo Tornion Kukulassa. Kuva R. Vartiainen.

Fig. 40. A test quarry for dolomite in Kukkola, Tornio. Photo R. Vartiainen.

panimellä Lappia Ruska. Louen marmoria hyödynnettiin Louella sijaitsevassa ja vuonna 1954 toimintansa aloittaneessa Lapin marmori Oy:ssä, mutta kiven louhinta ja jalostus on 2000-luvulle tultaessa hiipunut. Louen marmoria voi nähdä kymmenissä rakennuksissa ympäri Suomea Eduskuntataloa myöten. Lapissa suurimpia rakennuskohteita ovat Tornion kaupungintalo ja Lappia-talo Rovaniemellä.

Erikoisimpana lappilaisena marmorina voidaan pitää Kittilän Siitosen kylältä louhittavaa, kirkkaanvihreää kromimarmoria, joka tunnetaan kauppanimellä Lappia Green. Louhinta on aloitettu 1970-luvulla Lapin marmori Oy:n toimesta (Pekkala & Puustinen 1978). Nykyisen, Sinermpalossa sijaitsevan louhimon ja kaivospiirin omistaa Oulai-

ssa toimiva OK-Graniitti Oy. Alueen muitakin kromimarmoriesiintymiä on tutkittu paitsi kullan, myös niiden luonnonkivipotentiaalin vuoksi (Pekkala 1972, Vartiainen 1992, Vartiainen & Keinänen 2007). Kromimarmoria voi ihailia vaikkapa Kittilän kunnantalon tai Hotelli Kittilän aulatiloissa.

Tornion Kukulassa on koelouhittu Pihlajakorvenmaan vihertävänharmaata marmoria 1990-luvulla ja koemarkkinoitu kauppanimellä ”Lappia Saga” (kuva 40), mutta esiintymä ei ole osoittautunut teknisesti hyödyntämiskelpoiseksi. Esiintymässä on Lapp-Rock Oy:lle vuonna voimassa oleva kaivospiiri. Samantapaisen kohtalon koki myös Tornion Rantamaan marmoriesiintymä 1980-luvulla, sillä kivi osoittautui liian rikkonaiseksi luonnonkivijalostukseen.

Kvartsiitteja on hyödynnetty etenkin Sodankylässä, jossa vuonna 1982 perustettu Lokan liuske ky hyödynsi aluksi lähinnä Lokan tekoaltaan lounaispuolella sijaitsevaa Rovakummun valkean-harmaata kvartsiittiliuske-esiintymää. Muutamaa vuotta myöhemmin yrityksen nimi muuttui Lapin Kvartsiitti Oy:ksi, ja se rakensi Sodankylään jalostuslaitoksen. Samalla yritys alkoi käyttää myös muita Keski-Lapin kvartsiitteja, muun muassa Orakoskenmaan punaruskeata arkoosikvartsiittia ja Virttiövaaran vihreätä fuksiittikvartsiittia, Nopanenän kvartsiittia ja myöhemmin kokeiluluonteisesti myös muun muassa Ruoselän ruskeata graniittia. Jalostuslaitos on sittemmin lopettanut toimintansa. Lokan kvartsiittia on käytetty runsaasti muun muassa Levin kylpylässä.

Sodankylän Kivi on hyödyntänyt Sodankylän keskustaaajaman luoteispuolella olevan Kaarestunturin jäkäläpintaista kvartsiittia, joka on erityisen suosittua takka- ja muurauskivenä. Jäkäläpintaista ja tasapaksuina laattoina rakoilevaa kvartsiittia on kerätty suoraan Kaarestunturin rakoista ilman sen kummempaa louhimista (kuva 41). Kiveä voi nähdä jokseenkin kaikissa Lapin matkailukohteissa, erityisesti tulisijoissa, mutta myös suuremmissa pinnoissa.

Rovaniemen Meltauksen pientä graniittiesiintymää on hyödynnetty pienimuotoisesti, se tunnetaan kauppanimellä Arktikum Red. Suurin käyttökohde on Rovaniemellä sijaitsevan Arktikum-talon aulatilat ja portaat (kuva 42). Samaa kiveä on käytetty raakakivilohkareina Suomen Pankin ulkoseinissä Rovaniemellä. Talossa toimii nykyisin Rovaniemen hovioikeus.

Angelin vaaleata anortosiittia tutkittiin 1980-luvun lopulla yhtenä mahdollisuutena Finlandia-talon uudeksi julkisivumateriaaliksi (Rask & Vartiainen 1989). Finlandia-taloon Angelin kivi ei koskaan päässyt, mutta Etelä-Riutusvaarasta koelouhittua kiveä on käytetty muun muassa Polar Electro Oy:n toimitalossa Kempeleessä (kuva 43) ja Jalkavaarasta koelouhittua, hiukan harmaampaa kiveä Rovaniemen terveyskeskuksen aulan lattiassa (Vartiainen 2001).

Geologian tutkimuskeskus on tutkinut Lapin luonnonkivien mahdollisuuksia, paitsi yksittäisten esiintymien ja toimeksiantojen yhteydessä, myös alueellisilla, projektiluonteisilla selvityksillä. Vuosina 2002-2004 toteutettiin Keski-Lapissa, Sodankylän ja Kittilän kuntien alueella, EU-osarahoitteinen projekti, jonka tuloksena löydettiin kymmenkunta potentiaalista luonnonkivikohdetta (Vartiainen 2005). Löydetyistä esiintymistä vasta kahta, Kittilän Kaukosen vulkaanista liusketta ja Sodankylän Routusvaaran jäkäläpintaista arkoosikvartsiittia on toistaiseksi hyödynnetty. Vuonna 2011 aloitettiin Länsi-Lapissa, Ylitorniolta Enontekiölle ulottuvalla alueella vastaavanlainen selvitys, jossa kartoitetaan luonnonkivien lisäksi myös alueen potentiaaliset kalioiviaineskohteet (Vartiainen 2012).

Kirjallisuutta

Pekkala, Y. 1972. Selostus Kittilän kromimarmoritutkimuksista v. 1972. 11 s., 16 l. (3 geol. k.) Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2734/72/2/84.

Pekkala, Y. 1973. Marmoritutkimukset Kemin-Tervolan alueella kesällä 1973.



Kuva 41. Helposti lohkeavaa, jäkäläpintaista kvartsiittia Kaarestunturissa, Sodankylässä. Kuva R. Vartiainen.
Fig. 41. Quartzite with good cleavage and lichen covering in Kaarestunturi, Sodankylä. Photo R.Vartiainen.



Kuva 42. Meltauksen punaruskeaa graniittia Rovaniemen Arktikumissa. Kuva R. Vartiainen.
Fig. 42. Reddish brown granite from Meltaus, used in Arktikum Museum and Arctic Science Centre, Rovaniemi. Photo R.Vartiainen.



Kuva 43. Angelin anortosiittia Inarin Etelä-Riutusvaarassa ja sen hyödyntämistä Polar Elektro Oy:n toimitiloissa Kempeleessä. Kuvat R. Vartiainen.

Fig. 43. Angeli anorthosite, quarried in Etelä-Riutusvaara, Inari and utilized at the office of Polar Elektro Ltd, Kempele. Photos R. Vartiainen.

10 s., 12 l. (11 geol. k.) Geologian tutkimuskeskus, raportti M84/2542/73/1.

Pekkala, Y. 1974. Rantamaan ja Mykän dolomiittiesiintymien syväkairaukset. 15 s., 29 l. (2 geol. k.) Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/2542/74/1/84

Pekkala, Y. 1978. Rantamaan marmoriesiintymä Torniossa. Abstract: Rantamaa marble deposit in northwestern Finland. Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti 29, 23 s.

Pekkala, Y. & Puustinen, K. 1978. The chromian marbles of Kittilä, Finnish Lapland. Bulletin of the Geological Society of Finland 50 (1-2), 15-29.

Perttunen, V. 1991. Kemin, Karungin, Simon ja Runkauksen kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Kemi, Karunki, Simo and

Runkaus map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000 : kallioperäkarttojen selitykset lehdet 2541, 2542+2524, 2543, 2544. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 80 p.

Rask, M. 1986. Pohjois-Suomen rakennuskiviesiintymät. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10.1/-86/1/86, 42 s.

Rask, M. & Vartiainen, R. 1989. Rakennuskivitutkimukset Inarin Angelissa tammi-huhtikuussa 1989. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3821/-89/1/86, 26 s., 4 l.

Stigzelius, H. & Ervamaa, P. 1962. Lapin kivennäisvarat. Summary: Mineral resources of Lapland. Geoteknisiä julkaisua, n:o 67, p. 1-60, illus.; myös Acta Lapponica Fenniae, n:o 1.

Vartiainen, R. 1992. Tutkimustyöselostus Kittilän kunnassa, valtausalueella Soretiajärvi 2, kaiv. rek. nro 4154/1 suoritetuista rakennuskivitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, raportti M 06/2734/92/1, 18 s., 35 liites.

Vartiainen, R. 2001. Lapin korukivet: Lapin jalo- ja korukivet, rakennuskivet ja keräilymineraalit. Tammer-Paino, Tampere, 80 s.

Vartiainen, R. 2005. Keski-Lapin rakennuskiviprojekti 2002-2004. Loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus, ra-

portti M 10.1/2005/1/86, 9 s., 33 liites.

Vartiainen, R. 2012. Länsi-Lapin luonnonkivi- ja kiviainesprojekti 2011-2013. Väli­raportti vuoden 2011 toiminnasta. Geologian tutkimuskeskus, raportti 20/2012, 8 s. + 10 liites.

Vartiainen, R. & Keinänen, V. 2007. Tutkimustyöselostus Kittilän kunnassa, Soretia-nimisellä valta­auksella nro 7540/1 suoritetuista rakennuskivi- ja kultatutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M06/2734/2007/10/61, 11 s. + 6 liites.

Jalo- ja korukivet

Risto Vartiainen

Jalo- ja korukivien käyttö on Suomessa ollut perinteisesti melko vähäistä, mutta kiviharrastuksen lisääntyminen ja monet Suomen oloissa merkittävät jalo- ja korukivilöydöt ovat lisänneet kotimaisten kivien käyttöä myös koruissa. Tästä hyvänä esimerkkinä on Ylämaalta löytyneen spektroliitin suosio kotimaisessa koruteollisuudessa. Luonnonkiven käyttö on lisääntynyt tasaisesti, varsinkin niin sanotussa ympäristörakentamisessa ja sisustamisessa. Kiven käyttö yksityistalouksissa kasvaa koko ajan ja erityisesti piharakentamisessa, jossa voidaan hyödyntää myös luonnosta sellaisenaan löydettyjä, luonnon muovaamia irtokiviä ja -lohkareita.

Lapissa on aiemmin hyödynnetty lähinnä vain kullanhuuhtonnan ”sivutuotteena” saatavia granaatteja ja korundeja sekä Kittilän punaista jaspista, niitäkin vain hyvin pienimuotoisesti.

Vaikka Lapista löytyvien ja hyödynnettävien jalo- ja korukivien määrä onkin parin viime vuosikymmenen aikana lisääntynyt, ei niiden varaan ole syntynyt kovinkaan merkittävää tuotantoa.

Ametisti

Luoston matkailukeskuksen lähellä sijaitseva Lampivaaran ametistiesiintymä on viime aikojen merkittävimpiä korukivilöytöjä Suomessa. Valtaosa esiintymän kivistä on läpinäkymätöntä tai läpikuultavaa ametisti- ja savukvartsia (kuva 44) ja vain häviävän pieni osa läpinäkyvää jalokiveä, ametistia. Erikoista Luoston ametistikaivoksena tunnetulle esiintymälle ovat suuret, läpimitaltaan jopa yli 15 cm:n kiteet. Suurin kaivoksesta löydetty kidesikerö painaa yli 600 kg ja on nähtävillä Arktikumissa Rovaniemellä.



Kuva 44. Lampivaaran ametistikvartsia. Kiteen halkaisija noin 12 cm. Kuva J. Janger.

Fig. 44. Amethyst quartz from Lampivaara, Pelkosenniemi. The diameter of the crystal is about 12 cm. Photo J. Janger.

Esiintymän löysi vuonna 1985 sodankyläläinen kiviharrastaja. Nykyisin esiintymän kaivospiirioikeudet omistaa ja sitä hyödyntää pienimuotoisesti Kaivosyhtiö Arctic Ametisti Oy. Kaivoksella on ympärivuotisesti opastuskierroksia, ja ametistikaivos onkin enemmän geomatkailemiskohde kuin varsinainen kaivos.

Yli-Luostolta, Luoston ametistikavokselta noin 10 km luoteeseen, löydettiin vuonna 1995 toinenkin ametistiesiintymä. Värisävyltään Yli-Luoston ametisti on keskimäärin hiukan vaaleampaa kuin Lampivaaran esiintymässä.

Granaatti

Valtaosa kullanhuuhdonta-alueiden hiontakelpoisista granaateista on läpimitaltaan 2-5 mm:n luokkaa, sitä suurem-

mat ovat jo selvästi harvinaisempia. Viistehiotut, tummanpunaiset Lapin granaatit päätyvät yleensä Lapin kulta-hipuista tehtyihin koruihin, joiden tunnetuimpia valmistajia lienee kultaseppäkullankaivaja Aarne Alhonen.

Kordieriitti

Kordieriitti on ametistin ja granaatin ohella kolmas Lapissa esiintyvä ja jalokiveksi luokiteltava kivi. Safiirinsininen, läpinäkyvä kordieriitti, joka tunnetaan kansainvälisessä kirjallisuudessa paremmin nimellä ioliitti, on ametistia ja granaattia selvästi tuntemattomampi, mutta (ainakin teoriassa) esimerkiksi Lapin granuliittialueilta saattaisi löytyä merkittävä hyödyntämiskelpoinen kordieriittiesiintymä. Viistehiontakelpoista

kordieriittia on löydetty myös Rovaniemen ympäristöstä, muun muassa Joulu-pukin luolan louhintatöiden yhteydessä Napapiirillä (Vartiainen 2001).

Jaspis

Kittilän punainen jaspis on yksi tunnetuimpia ja merkittävimpiä korukiviä Lapissa ja koko Suomessa. Sitä ovat jo vuosikymmenten ajan käyttäneet koruissa yksittäisten kivenhiojien ja kultaseppien lisäksi mm. Kalevala Koru Oy ja Taiga Koru Oy. Vuossavaaran jaspisesiintymä Kittilässä on korukiviesiintymäksi todella suuri, mutta esiintymän hankala sijainti on rajoittanut sen suurimittaisempaa käyttöä. Kivi soveltuisi korukäytön ohella hyvin myös esimerkiksi koriste-sirotteeksi yms. tarkoituksiin. Kivi on voimakkaan väristä, kovaa ja sitkeätä ja kiillottuu hyvin.

Korundi

Korundeja on otettu talteen kullanhuhdonnan yhteydessä jo 1950-luvulta lähtien. Kulta-alueilta löytyneet korundit ovat yleensä ruskeita tai harmahtavia, vain harvoin punertavia tai sinertäviä ja siten korukiviksi luokiteltavia. Viime vuosina on raportoitu kuitenkin myös yksittäisistä, läpinäkyvistä jalokiviluokan safiireista ja rubiineista (Kinnunen 2008, 2011, Kinnunen & Johanson 1993, 1994). Lapin tähdiksi kutsutaan pyörtöhiottuja korundeja, joissa näkyy 6-sakarainen valokuvio.

Fuksiittikvartsiitti

Fuksiittikvartsiitti on kirkkaan vihreätä

kvartsiittia, jonka väri johtuu kromipitoisesta kiilteestä, fuksiitista. Suurin tunnettu fuksiittikvartsiittiesiintymä Lapissa on Sodankylän Virttiövaara, jonka kiveä on käytetty jonkin verran myös luonnonkivenä. Kiven väri on todella voimakas ja kivi soveltuu kovuutensa vuoksi varsin hyvin koruihin ja pienesineisiin. Melko yleisesti Pohjois-Suomen fuksiittikvartsiiteista käytetään myös nimeä aventuriinikvartsi tai -kvartsiitti, vaikka niistä puuttuukin aventuriinikvartseille ominainen valoilmio, aventurisointi.

Tuffiitti

Uudempia löytöjä edustaa Rovaniemen eteläpuolelta, Jaatilan kylästä 1990-luvulla löydetty tuffiittiesiintymä. Kivi on ohutkerroksista ja poimuttunutta, mikä lisää kiven eloisuutta (Vartiainen 1993). Tuffiitti soveltuu, paitsi koruihin, myös pienesineisiin, joissa kiven rakenne pääsee erityisen hyvin esille (kuva 45). Kivi tunnetaan myös kauppanimellä ”Lapin lumo”. Esiintymä on tarpeeksi suuri myös kaupallista hyödyntämistä ajatellen.

Sompion pallokivi

Nattasen graniitin alueelta Sodankylän Vuotsossa on tavattu erikoisia sferuliittisiä juonikiviä, etenkin Nattasen graniitin länsipuolella lähinnä paikallisina lohkarokkeina (Valkama 2010). Perusmassaltaan ne ovat hienorakeisia happamia juonikiviä, jotka sisältävät pyöreitä, ruskeita sferuleita (kuva 46). Kiven perusmassa koostuu kvartsisista ja maasälvästä ja sferulit monikiteisistä maasälpäkasaumista. Kivityypille on



Kuva 45. Tuhkakuppi, joka on valmistettu ”Lapin lumo” -nimellä tunnetusta tuffitista. Kuva J. Janger.

Fig. 45. Ashtray, made of tuffite, known as “The Charm of Lapland”. Photo J. Janger.

annettu rakenteensa perusteella kansanomaisempi nimi, Sompion pallokivi. Kiveä voi käyttää koristekivenä ja pienesineiden raaka-aineena.

Serpentiniitti, ”Lapin Jade”

”Lapin Jadena” markkinoitu Kittilän Tarpomapään läpikuultava serpentiniitti on pehmeä, mutta sitkeä kivilaji ja soveltuu sen vuoksi erittäin hyvin pienesineiden ja kaiverrustöiden materiaaliksi (kuva 47). Käyttökoruihin kivi on liian pehmeä (Virkkunen ym. 1985, 1994, 2001).

Ruusukvartsi ja kirjomaasälpä

Lapin merkittävin tiedossa oleva ruusukvartsiesiintymä on Kolarin Iso-

Näläntövaarassa, jossa sitä löytyy lähinnä vaaran laella olevista rakkautuneista juonista. Kivi on hyvin rikkonaista, ja hiontakelpoiset kappaleet ovatkin siitä johtuen hyvin pieniä. Samankaltainen, mutta huonompilaatuinen esiintymä on Pasmajärvellä, jossa ruusukvartsin yhteydessä esiintyy myös kirjomaasälpää. Kirjomaasälpäesiintymiä on myös Pellon Laajamaassa (Kärkkäinen & Virkkunen 1983).

Muita korukivinä hyödynnettäviä kiviä Lapissa ovat lumi- ja keltakvartsi, unakiitti ja epidootti sekä Vuotson alueella melko yleinen kalsedoni. Näitä korukiviä löydetään lähinnä vain irtokivinä lukuun ottamatta lumikvartsia, joka esiintyy usein muutaman metrin levyisänä juonina kalliossa.



Kuva 46. Sferuliittirakenteista felsiittikiveä eli Sompion pallokiveä Sodankylän Vuotsosta. Kuva J. Valkama.

Fig. 46. Spherulitic felsic rock called as the "Sompio orbicular" in Vuotso, Sodankylä. Photo J. Valkama.



Kuva 47. Tunturikoivu, Kittilän Tarpomapään serpentiniittiä. Kuva J. Janger.

Fig. 47. "Mountain birch", made of the Tarpomapää serpentinite from Kittilä. Photo J. Janger.

Kirjallisuutta

Kinnunen, K.A. 2008. Rubiineja Lapista Miessijoelta. Geologian tutkimuskeskus, raportti, M19/3812/2008/34, 15 s. + 1 liites.

Kinnunen, K.A. 2011. Lapin kullanhuuhdonta-alueiden kookkaimmat korundit. Geologian tutkimuskeskus, raportti 21/2011, 9 s.

Kinnunen, K.A. & Johanson, B. 1994. Lapin tähtiä ja muita korundeja Lemmenjoen kultamailta. Kivi 12 (3), 18-29.

Kinnunen, K.A. & Johanson, B. 1993. Raportti korukäyttöön vuosina 1981-1990 huuhdottujen korundien mineralogiasta, gemmologisista ominaisuuksista ja löytöhistoriasta Lemmenjoen alueella Puskuojalla. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3811/93/1, 17 s., 6 liites.

Kärkkäinen, N. & Virkkunen, M. 1983. Korukivet ja niiden esiintyminen Lapissa. Geologinen tutkimuslaitos. Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti 62, 29 s.

Valkama, J.O. 2010. Sompion pallokivi – sferuliittisen felsiittikivaiheen tutkimukset Sodankylän Vuotsossa. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3742/2010/1, 9 s., 9 liitettä.

Vartiainen, R. 1993. Korukivitutkimukset Leipeen kylässä 1993. Geologian tutkimuskeskus, 9 s.

Vartiainen, R. 2001. Lapin korukivet: Lapin jalo- ja korukivet, rakennuskivet ja keräilymineraalit. Tammer-Paino, Tampere, 80 s.

Virkkunen, M., Kinnunen, P. & Partanen, S. 1985. Suomen jalo- ja korukivet. Suomen Matkailuliitto r.y., Helsinki, 128 s.

Virkkunen, M. & Partanen, S.J. 1994. Suomen kivet: jalo-, koru-, koriste- ja rakennuskivet, maakuntakivet, kansalliskivet ja muut luontoonimikot. Summary: Stones of Finland. Suomen Matkailuliitto, Helsinki, 168 s.

Virkkunen, M., Partanen, S.J. & Rask, M. 2001. Suomen kivet: koru-, jalo- ja rakennuskivet, kivet harrastuksena, kivet arkeen ja juhlaan. Edita, Helsinki, 175 s.

Lapin maa-ainekset

Kalevi Mäkinen

Johdanto

Varhaisimmat arviot maa-ainesten saatavuudesta ja riittävydestä maassamme on tehty pääkaupunkiseudulla heti sotien jälkeen (Virkkala 1946). Selvityksessä ei kuitenkaan julkaistu varsinaisia arvioita maa-ainesten määrästä. Vastaavanlainen selvitys tehtiin 1950-luvun lopulla Turun alueelta ja siinä käsiteltiin myös soran kulutusta (Ohlson 1958).

Seutukaavaliitot ovat tehneet selvityksiä sora- ja hiekkamuodostumien sijainnista ja niiden sisältämien ainesten laadusta ja määrästä 1960-luvulta alkaen. Ensimmäinen arvio koko maan sora- ja hiekkavaroista tehtiin geologisten karttojen perusteella 1960-luvun lopussa (Kauranne 1968). Tuolloin kokonaisainesmääräksi arvioitiin 25 mrd. m³. Vuosina 1971-1978 tehtiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja Tie- ja ve-

sirakennushallituksen yhteistyönä Suomen sora- ja hiekkavarojen arviointi koko maan alueelta (Niemelä 1979). Selvityksen mukaan Suomen pohjavedenpinnan yläpuolella sijaitsevat sora- ja hiekkavarat olivat 47,5 mrd. m³. Vuonna 2001 arvioitiin jäljellä olevien hiekka- ja soravarojen olleen noin 44 mrd. m³ (Ahonen ym. 2001a).

Lähes kaikki talon- ja maanrakentamiseen sekä betonivalmisteiden tuottamiseen tarvittava routimaton luonnonkiviaines sijaitsee erityyppisissä maaperägeologisissa muodostumissa. Tärkeimmän ryhmän muodostavat jäätikköjokikerrostumat, jotka ovat pääasiassa harjuja tai niihin liittyviä deltoja (kuva 48). Jäätikköjokien kerrostama aines on yleensä hyvin huuhtoutunutta ja lajittunutta. Haittaavia hienoja lajitteita niissä on hyvin harvoin. Pohjois- ja Itä-Lapissa on lisäksi jääjärviin kerrostuneita deltoja ja jääjärvien purkautuessa syntyneitä purkaudeltoja, joissa aines on yleensä heikommin lajittunut ja huuhtoutunut kuin jäätikköjokikerrostumissa. Lapin länsi- ja eteläosissa subakvaattisella eli muinaisen Itämeren peitossa olleella alueella on myös laajoja hiekkaisia ja soraisia rantakerrostumia, joiden kerrospaksuudet ovat kuitenkin yleensä pieniä. Soraa ja hiekkaa korvaavia aineksia esiintyy myös drumliineissa ja kumpumoreeneissa ja niitä hyödynnetään varsinkin sora- ja hiekkaköyhillä alueilla.

Maa-ainesten laatu ja määräarviot

Tiedot Lapin hiekka- ja soravaroista perustuvat GTK:n yhteistyössä Tie- ja vesirakennushallituksen kanssa vuosina

1971-1978 tekemään valtakunnalliseen hiekka- ja soravarojen arviointityöhön (Niemelä 1979). Aineistoa on osittain päivitetty myöhemmin suoritettujen maaperäkartoitus- ja -tutkimustöiden yhteydessä kertyneen aineiston perusteella.

Arviointi perustuu pääsääntöisesti maastossa suoritettuihin havaintoihin. Muodostumat tunnistettiin ja niiden rajaus suoritettiin kartoilta ja ilmakuvilta. Aineksen laatu havainnoitiin olemassa olevista leikkauksista ja muodostuman muodosta käyttäen apuna maaperägeologista rakennetulkintaa. Myös muodostuman pohjataso laatu: pohjavedenpinta, moreenin tai kallion esiintyminen, havainnoitiin maastossa. Tiettömien taipaleiden takana olevien harjumuodostumien arviointi perustuu yleensä yksinomaan ilmakuvatulkintaan ja maaperägeologiseen rakennetulkintaan. Länsi- ja Luoteis-Lapin tiettömillä alueilla suoritettiin tarkistuksia myös helikopterilla.

Arviointityössä muodostumien minimikokona käytettiin yleensä 2 hehtaarin pinta-alaa ja lajittuneen kerroksen vähimmäispaksuutena 1,5 m. Tämä merkitsee sitä, että pienimmät arvioidut kerrostumat sisältävät yleensä noin 30 000 m³ soraa tai hiekkaa. Tutkimusalueella on kuitenkin otettu mukaan paikoin, erityisesti soraköyhillä alueilla myös 0,5-2,0 hehtaarin suuruisia harjuselänteitä ja -kumpuja, koska niiden aines on usein soravaltaista ja ainesmäärät saattavat suurista kerrospaksuuksista johtuen olla yli 30 000 m³.

Arviointityön yhteydessä massamäärät on arvioitu pohjavedenpinnan tasoon saakka, eikä alla olevaa materiaalia



Kuva 48. Lapin maa-ainesmuodostumat. Lähde: GTK:n tietokanta.

Fig. 48. Sand and gravel formations in Finnish Lapland. Source: GTK's database.

ole huomioitu laskennassa. Kiviaineksen teknisiä ominaisuuksia ei selvityksen yhteydessä ole tutkittu.

Aineksen laadun arvioinnissa käytettiin seuraavaa luokittelua:

- Luokka A: murskauskelpoinen aines (kivien läpimitta yli 60 mm)
- Luokka B: soravaltainen aines, jossa yli 50 % rakeista on läpimitaltaan 2-60 mm
- Luokka C: hiekkavaltainen aines, jossa yli 50 % rakeista on läpimitaltaan 0,2-2 mm

Taulukossa 7 on esitetty Lapin hieka- ja soravarat kunnittain. Länsi- ja Lounais-Lapin sekä Rovaniemen alueen maa-ainesmääriä on osin päivi-

tetty ja taulukossa esitetään jäljellä olevat ainesmäärät. Muualla Lapissa ainesmäärät perustuvat pääasiassa vanhaan arvotusaineistoon. Maakunnan jäljellä oleva kokonaisaines määrä on 5 468,0 milj. m³, mikä on noin 12 % koko maan kokonaisaines määrästä 47,5 mrd. m³ (Niemi 1979). Lapin kokonaisaines määrästä on murskauskelpoista 2,3 % eli 127,8 milj. m³, soravaltaista 24,9 % eli 1 359,8 milj. m³ ja hiekkavaltaista ainesta 72,8 % eli 3 980,4 milj. m³. Ainesmäärät ovat jakaantuneet kunnittain varsin epätasaisesti. Selvästi muita enemmän hiekkaa ja soraa on Enontekiöllä, jossa aines määrä on lähes 1 200 milj. m³. Seuraavina ovat Inari ja Salla yli 600 milj. m³ aines määrällä. Yhteensä

näissä kolmessa kunnassa on lähes puolet eli 45,5 % koko Lapin kokonaisainemäärästä. Vastaavasti sorasta sijaitsee 47,0 % ja murskauskelpoisesta aineksesta 41,0 % Enontekiön, Inarin ja Sallan kuntien alueilla.

Soravaltaista ainesta on määrällisesti eniten Enontekiöllä eli 275,5 milj. m³. Seuraaviksi eniten soravaltaista ainesta on Inarissa, jossa sitä on 216,7 milj. m³. Sallassa on soravaltaista ainesta 147,0 milj. m³ ja Utsjoelle 127,2 milj. m³. Murskauskelpoista ainesta on määrällisesti eniten eli 23,0 milj. m³ Inarin kunnan alueella. Seuraaviksi eniten sitä on Sallassa 19,2 milj. m³ ja Utsjoella 14,1 milj. m³.

Soran osuus kunnan maa-ainesten määrästä on yli 30 % Pelkosenniellä, Utsjoella, Kolarissa, Kittilässä, Sodankylässä ja Inarissa. Soran osuus maa-ainek-

sista on huomattavasti pienempi eli alle 20 % Kemijärvellä, Simossa, Posiolla, Ranualla, Ylitorniossa, Torniossa ja Keminmaassa.

Maa-ainesten käyttö

Lapin sora- ja hiekkavarojen käyttöön vaikuttaa alueen rakennustoiminta, joka on vilkkainta suurten taajamien ympäristössä, Kemi-Tornion ja Rovaniemen alueella. Lisäksi matkailukeskusten vilkas rakennustoiminta on lisännyt maa-ainesten tarvetta huomattavasti niiden lähialueilla. Kemi-Tornio alueen maa-ainesten tärkeimpiä ottoalueita ovat Tornion Laivakangas ja Keminmaan Sivakkavaara. Kemi-Tornio -alueen kuljetusmatkat ovat 10-15 km:n pituisia. Rovaniemi saa tarvitsemansa soran ja hiekan runsaan 10 km:n säteellä olevista

Taulukko 7. Lapin sora- ja hiekkavarat kunnittain (milj. m³).

Table 7. Sand and gravel resources by municipality in Lapland (mill. m³). Murska = material suitable for crushing, sorat = gravel, hiekat = sand.

Kunta	Murska	Murska %	Sorat	Sorat %	Hiekat	Hiekat %	Kokonaismassat
Enontekiö	10,2	0,9	275,5	23,1	905,9	76,0	1191,6
Inari	23,0	3,4	216,7	32,0	438,4	64,7	678,1
Kemi	0,0	0,3	1,7	23,9	5,4	75,8	7,1
Kemijärvi	7,0	2,3	4,2	1,3	297,5	96,4	308,7
Keminmaa	0,0	0,3	2,0	19,0	8,6	80,7	10,6
Kittilä	10,2	3,5	95,9	32,9	185,6	63,6	291,7
Kolari	6,0	2,8	71,6	33,2	137,9	64,0	215,4
Muonio	0,0	0,0	39,1	25,3	115,6	74,7	154,6
Pelkosenniemi	8,3	6,9	42,6	35,5	69,0	57,5	119,9
Pello	0,2	0,7	7,6	26,1	21,3	73,2	29,1
Posio	7,7	1,9	57,0	14,3	333,0	83,7	397,7
Ranua	1,0	1,3	11,3	15,2	62,2	83,5	74,5
Rovaniemi	3,0	1,1	62,0	22,2	214,0	76,7	279,0
Salla	19,2	3,1	147,0	23,8	451,1	73,1	617,3
Savukoski	5,6	2,3	66,7	26,9	175,2	70,8	247,5
Simo	0,0	0,8	0,4	16,5	2,0	82,6	2,4
Sodankylä	11,0	3,8	92,5	31,8	187,4	64,4	290,9
Tervola	0,9	1,4	17,8	28,8	43,2	69,8	61,9
Tornio	0,0	0,0	4,1	17,6	19,2	82,4	23,3
Utsjoki	14,1	3,8	127,2	34,5	227,0	61,6	368,3
Ylitornio	0,4	0,4	17,1	17,4	81,0	82,2	98,5
Yhteensä	127,8	2,3	1359,8	24,9	3980,4	72,8	5468,0

harjumuodostumista, joissa tärkeimpiä maa-ainesten ottopaikkoja ovat Jokkavaara, Mellavaara, Kroopinpalo ja Hietavaara (kuva 49).

Lapissa on muutamia merkittäviä soran ja hiekan puutealueita. Suurin on noin 6 000 km² alue, joka sijaitsee pääosin Ranuan ja Simon kuntien alueilla (Niemi 1979). Toinen merkittävä puutealue sijaitsee jäänjakaja-alueella Sodankylän Koitelaisen-Pomokairan alueella ja sen laajuus on noin 3 500 km². Tämän lisäksi tutkimusalueella on lukuisia pienempiä puutealueita, joilla on merkitystä paikallisella tasolla. Puutealueilla on hyödynnetty yleisesti rantakerrostumien hiekkaa ja soraa sekä jonkin verran myös kumpumoreeneista ja drumliineista saatavaa huuhtoutunutta moreeniainesta, joka raakoostumukseltaan on usein hyvin lähellä soraa ja hiekkaa.

Käyttöön saatavien hiekka- ja soravarojen määrä vaihtelee runsaasti muun maankäytön johdosta. Asutuksesta, teollisuudesta, teistä, rautateistä, luonnonsuojelusta ja erityisesti pohjavesien hankinta-alueista johtuen saadaan paikoin vain noin 5-30 % luonnon hiekka- ja soravaroista maa-ainesten ottoon (Ahonen ym. 2001b). Käyttöön saatavien hiekka- ja soravarojen määrä on erityisesti Enontekiön, Inarin ja Utsjoen kuntien alueella huomattavasti taulukossa ilmoitettuja ainemääriä pienemmät, sillä valtaosa kuntien alueista kuuluu eriateisten suojeleuhjelmien piiriin.

Maa-ainesten riittävyys Lapissa

Vaikka koko Lapin alueella on kohtalaisen runsaasti hiekkaa ja soraa, niin erityistä huomiota tulee kiinnittää

Kemi-Tornio -alueen maa-ainesten riittävyteen. Vilkkaan rakennustoiminnan johdosta alueen suurimpien maa-ainesmuodostumien karkeimmista maa-aineksista on käytetty suurin osa. Jäljellä ovat käytännössä muodostumien reuna-alueet, joissa aines on pääasiassa hiekkavaltaista ja kerrospaksuudet ovat pieniä. Kemin, Keminmaan, Simon ja Tornion alueella on tällä hetkellä arvioitu olevan jäljellä käyttöön saatavia maa-aineksia noin 43,5 milj. m³, josta soraa on noin 8,2 milj. m³ ja murskaukseen soveltuvaa ainesta vajaa 100 000 m³. Yli puolet näistä maa-ainemääristä sijaitsee Torniossa useassa pienessä harjumuodostumassa sekä parissa hieman laajemmassa muodostumassa kunnan koillisosassa, 30-55 km:n etäisyydellä kaupungin keskustasta.

Tilanne on kehittymässä samankaltaiseksi myös Rovaniemen taajama-alueen sekä Lapin suurten matkailukeskusten lähiympäristöissä, joissa tulee lähitulevaisuudessa puutetta erityisesti sorasta. Sitä voidaan kuljettaa kauempaa, mutta kuljetuskustannukset muodostuvat korkeiksi.

Harjusoran puutealueilla esimerkiksi Ylitornion alueella on käytetty rantakerrostumien soraa. Soraa korvaavana aineksena on viime vuosien aikana myös käytetty enenevässä määrin kalliokiviaineksen murskausta, vaikka se on kohtalaisen kallista. Lounais-Lapin rannikkoalueella tulee selvittää merihiekan ja -soran esiintymistä. Perämeren merigeologisen kartan (Ignatius & Tulkki 1970) mukaan Kemin ja Simon edustalla on merenpohjassa hiekkakerrostumia, jotka jatkuvat etelään kohti Hailuotoa. Täältä alueelta saattaa löytyä myös Ajok-



Kuva 49. Maa-ainesten otto-alueita Rovaniemellä Jokkavaara (ylhällä) ja Hietavaarassa. Kuvat K. Mäkinen.

Fig. 49. Sand and gravel pits at Jokkavaara (upper photo) and Hietavaara in Rovaniemi. Photos K. Mäkinen.

sen ja Sivakkavaaran kaltaisia hiekkaisia reunamuodostumia, joissa on mahdollisesti myös soraa.

Kirjallisuutta

Ahonen, I., Breilin, O. & Mäkinen, K. 2001a. Assessment of sand and gravel resources in Finland. In: Proceedings of aggregate 2001 - environment and ecology, Helsinki, Finland, 6-10 August 2001. Tampere University of Technology. Laboratory of Engineering Geology. Publication 51. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 501.

Ahonen, I., Breilin, O. & Mäkinen, K. 2001b. Influences of land use restrictions on the production of sand and gravel aggregates in Finland. Poster paper in Aggregate 2001 - Environment and Economy, Helsinki, Finland 6-10 August 2001.

Ignatius, H. & Tulkki, P. 1970. Merigeologinen kartta 1 : 1 milj. Pohjanlahti. Perämeri. Kvartaärikerrostumat. Bothnian Bay, Quaternary deposits. Erikoiskartat, 4. Geologinen tutkimuslaitos.

Kauranne, L.K. 1968. Rakennusainesiintymien arvioiminen. Rakennusgeologinen yhdistys. Moniste n:o 2.

Niemelä, J. (toim.) 1979. Suomen sora- ja hiekkavarojen arviointiprojekti 1971-1978. Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti 42, 119 s. + 3 liitettä, 2 liitekarttaa.

Ohlson, B. 1958. Om Åbo stads försörjning med sand och grus. Skrift-

serie utgiven av Handelshögskolan vid Åbo akademi B: 15, 1-30.

Virkkala, K. 1946. Teknisesti käytökelpoisista sora- ja hiekkamaalajeista erikoisesti huomioon ottaen Helsingin ympäristön. Geologian tutkimuslaitos, Geoteknisiä julkaisuja 46, 12-23.

Kalliokiviaines

Panu Lintinen

Kalliokiviaines on kiinteästä kalliosta irrotettua ainesta, jota käytetään murskatuina tai harvoin murskaamattomina massoina erilaisiin rakentamistarkoituksiin. Hyvälaatuista kalliokiviainesta (kalliomursketta) tarvitaan erityisesti tierakentamisessa – maanteiden ja rautateiden rakennekerroksissa sekä laadukkaan päällystemateriaalin valmistuksessa. Tarvetta kalliokiviainekselle ilmenee myös vaativissa tai tavanomaista suuremmissa rakennuskohteissa.

Lapissa kalliokiviaineksen saatavuus on tärkeää suurempien asutuskeskusten sekä pääliikenneväylien läheisyydessä. Kalliokiviaineksen tarve saattaa kasvaa nopeastikin uusien mittavien rakennushankkeiden myötä. Kalliokiviainesta tarvitaan erityisesti, mikäli pohjaveden yläpuolisia sora- ja hiekkavaroja on niukasti. Ympäristö- ja maisematekijät, esimerkiksi suojelu- ja pohjavesialueet, saattavat monin paikoin vaikeuttaa tai jopa estää harjuaineksen hyödyntämisen rakentamistarkoituksessa. Maisematekijät ovatkin Lapissa merkittäviä suurten jokien varsilla, missä myös pääliikenneväylät sijaitsevat.

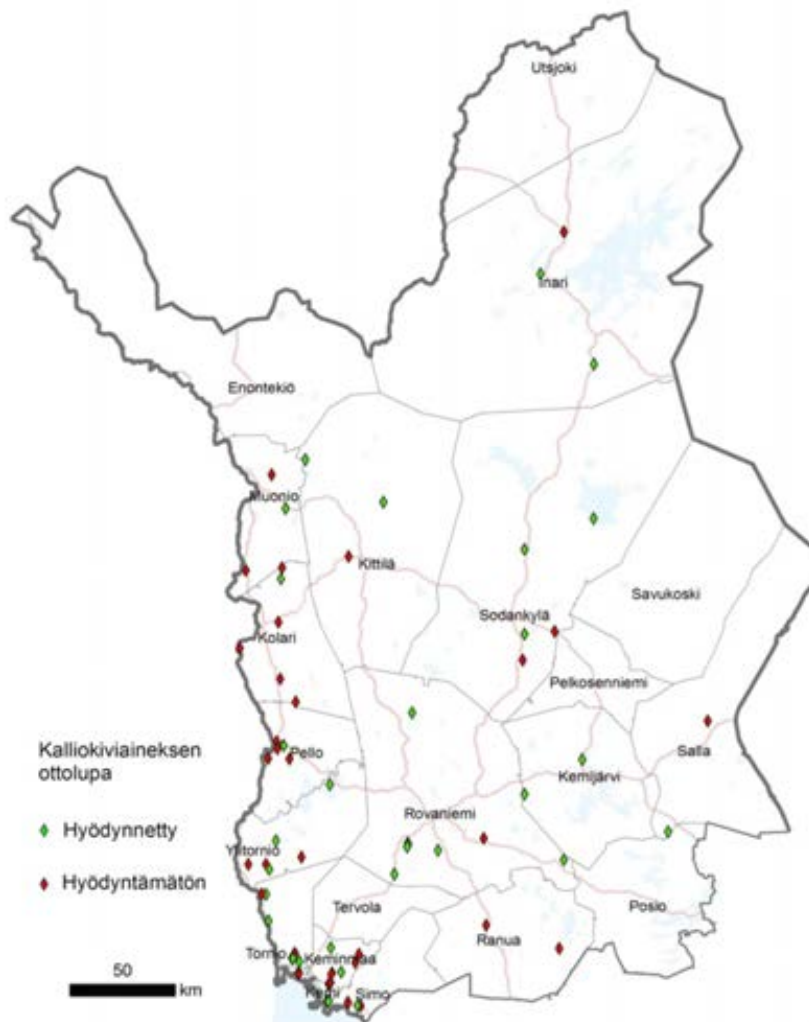
Kalliokiviainestutkimukset Lapissa

GTK teki 1990-luvun alkupuolella systemaattista kalliokiviainesten inventointia Oulun ja Tornion välisen valtatie (VT4) ympäristössä. Inventoinnin yhteydessä tehtiin avokallioalueilta kivilajimääritykset, arvioitiin kivilajien lujuusluokka ja laskettiin arvioiden perusteella kohteilta saatava louhittavan kiviaineksen määrä. Lapin alueelta inventoitiin yli 200 kallioaluetta; Tornion 52, Kemistä 11, Keminmaasta 27 ja Simosta 125 aluetta (Suominen 1991). Myöhemmin vuonna 2005 inventoitiin vastaavalla tavalla Rovaniemen ympäristöstä 52 kallioaluetta. Vuonna 2011 GTK aloitti Länsi-Lapissa, Ylitorniolta Enontekiölle ulottuvalla alueella EU-osarahoitteen projektin, jossa tutkitaan systemaattisesti kallioalueiden potentiaalisuus sekä luonnonkivenä (rakennuskivenä) että kiviaineksenä (Vartiainen 2012). Vuoden 2012 lopulla on Lounais-Lapin alueella käynnistynyt pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittamista ohjaava POSKI-hanke, jossa tullaan inventoimaan myös kalliokiviainesvarantoja.

Kalliokiviainestutkimuksia tehdään myös alan yrityksissä. Nämä tutkimukset ovat usein kohteellisia tai kohdistuvat hyvin rajatulle tarvealueelle. Tutkimukset ovat osa liiketoimintaa eivätkä ne siten ole julkisia. Yleensä yritysten tekemästä kallion otosta saa tietoa vasta lakisääteisten lupa- ja ottoilmoitusmenettelyjen kautta.

Kalliokiviaineen oton alueellinen jakauma

Kuvan 50 kartalla on esitetty voimassa olevat kalliokiviaineen ottoluvat Lapissa. Pääosin kartta perustuu saatavilla olleisiin vuoden 2010 tietoihin, joiden lisäksi on tieto muutamasta uudemmasta luvasta. Ottoluvat myönnetään yleensä 10 vuodeksi. Taulukossa 8 esitetään voimassa olevat ottoluvat, lupien



Kuva 50. Voimassa olevat kalliokiviaineen ottoluvat Lapissa. Kartta perustuu vuoden 2010 ottotilastoihin. Maastotiedot © Maanmittauslaitos.

Fig. 50. A map of valid permissions for bedrock aggregate extraction in Lapland based on 2010 statistics. Basemaps © National Land Survey of Finland.

Taulukko 8. Voimassa olevat ottoluvat, lupien mahdollistamat ottomäärät sekä vuoden 2010 ototiedot kunnittain. Lähde: Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Table 8. Valid permissions for bedrock aggregate extraction, total extraction volumes permitted and extraction permits and volumes per municipality in 2010. Source: The Finnish Environment Institute, SYKE.

Kunta	Voimassa olevat kalliokiviaineksen ottoluvat		Kalliokiviaineksen otto 2010	
	lkm	m ³ (1000)	lkm	m ³ (1000)
Enontekiö	–	–	–	–
Inari	3	90	2	9,8
Kemi	2	710	1	69,2
Kemijärvi	2	225	1	12
Keminmaa	12	2636	1	43,6
Kittilä	3	460	2	7,4
Kolari	6	365	–	–
Muonio	3	225	1	6,9
Pelkosenniemi	–	–	–	–
Pello	6	95	2	10,3
Posio	–	–	–	–
Ranua	2	120	–	–
Rovaniemi	8	316	4	33
Salla	2	90	–	–
Savukoski	–	–	–	–
Simo	5	1142	1	8,2
Sodankylä	5	185	2	1,2
Tervola	–	–	–	–
Tornio	11	2908	4	346,8
Utsjoki	–	–	–	–
Ylitornio	6	560	1	69,9
Yhteensä	76	10127	22	618,3

mahdollistamat ottomäärät sekä vuoden 2010 ototiedot kunnittain eriteltyinä. Yhteensä lupia on Lapissa 76 ja ne antavat mahdollisuuden noin 10 miljoonan m³:n ottoon. Ottoluvat myönnetään yleensä 10 vuodeksi.

Luvat ja varsinkin niiden sisältämät ottomäärät ja aktiivinen hyödyntäminen ovat voimakkaasti keskittyneet Meri-Lappiin (Simo, Kemi, Keminmaa ja Tornio), jonka osuus sekä lupien myöntämisestä kuutiomäärästä että vuonna 2010 tehdystä kalliokiviaineksen

otosta on noin 75 %. Kalliokiviaineksen runsasta tarvetta ja käyttöä Meri-Lapissa selittävät viime vuosien vilkas rakentaminen, pohjaveden yläpuolisten sora- ja hiekkavaroja niukkuus sekä hyvälaatuisen kalliokiviaineksen saataavuus. Tärkeimpiä kalliokiviaineksen tuotantoalueita ovat 10 km Tornioista kaakkoon sijaitseva Rajakangas, Keminmaassa Eljärven kaivoksen eteläpuolinen Tuhkamaa sekä Tornioista 10 km luoteeseen sijaitseva Peurakallion alue.

Rovaniemen ympäristössä kal-

liokiviaineksen tarve ja ottomäärät ovat selvästi pienempiä. Rovaniemellä toiminta keskittyy kaupungin eteläpuolelle, Kemijoen itäpuolen tien varteen, Valajaskosken ja Rautiosaaren eteläpuolelle. Noilla alueilla esiintyy laadultaan hyvää kiviainesta, muun muassa diabaaseja. Rovaniemen pohjois- ja länsipuolen kallioperän kiviaines on laadultaan pääosin heikkoa.

Kalliokiviaineksen saannin kannalta vaikeita alueita ovat Ylitornion kunnan pohjoisosa ja Pellon alue kokonaisuudessaan. Nämä kuuluvat geologisesti Keski-Lapin graniittialueeseen ja kivet

ovat pääosin karkearakeisia graniitteja, joista saatava kalliokiviaines on laadultaan heikkoa.

Kirjallisuus

Suominen, V. 1991. Kertomus kiviainestutkimukset yksikön toiminnasta vuonna 1990. Geologian tutkimuskeskus, raportti KA01.4/91/1,18 s.

Vartiainen, R. 2012. Länsi-Lapin luonnonkivi- ja kiviainesprojekti 2011-2013. Väli­raportti vuoden 2011 toiminnasta. Geologian tutkimuskeskus, raportti 20/2012, 8 s. + 10 liites.

Lapin turvevarat

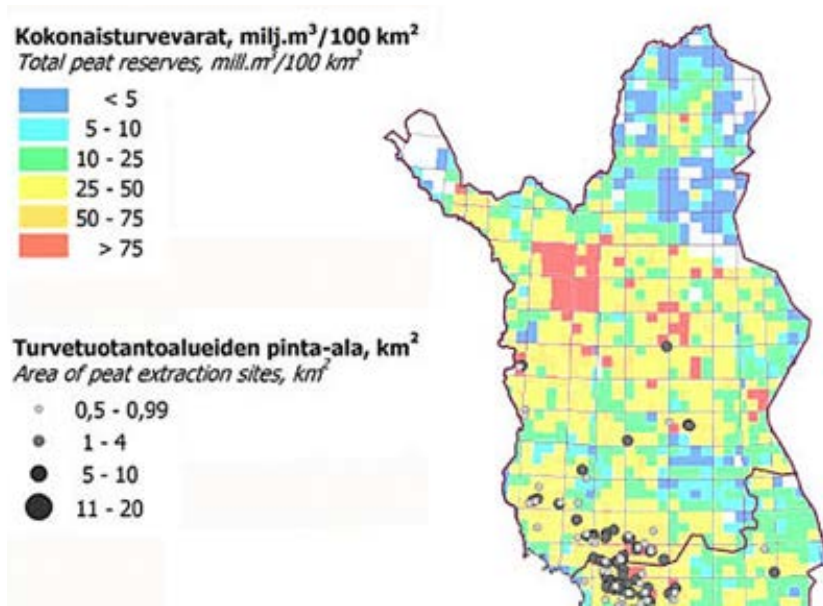
Tapio Muurinen

Kokonaisturvevaroihin vaikuttavat suoraan soiden levinneisyys ja turvekerrostumien paksuus. Koska tutkimustilanne vaihtelee suuresti kunnittain ja alueittain, ovat kokonaislaskelmat arvioita. Tarkat tiedot saadaan vain niistä soista, jotka on tutkittu. Myös eri aikoina hieman erilaisin kriteerein tehdyt laskelmat ja vanhan aineiston digitointi muuttavat tuloksia.

GTK:n laskentaohjelmissa turvekerrostumat jaetaan pinta- väli ja pohjaturpeisiin turvelajien, turpeen maatuneisuuden ja turpeen käyttötarkoituksen perusteella. Jakoperusteena on turvelajikoostumus ja Lennart von Postin maatuneisuusluokitus H1-10. Pintaturve eli vaalea rahkaturve on maatumatonta tai heikosti maatunutta (H1-3) rahkasammalista ja niiden jäänteistä kerrostunutta suon pintaosaa. Sen alla oleva väliturve (H4) on pintaturpeen kanssa muuten sa-

mankaltaista, mutta vain hieman pitemmälle maatunutta. Pohjaturve eli tumma turve on hyvin maatunutta (H5-10) turvetta. Paikallisesti jokin kerroksista voi puuttua kokonaan.

Koko Suomen turvevarannoksi on arvioitu 69,3 mrd. suo-m³. Maakunnittain tarkasteltuna suurimmat turvevarat ovat Lapissa 26,3 mrd. suo-m³ (Virtanen ym. 2003). Se on 38 % Suomen turvevaroista. Laskelma perustuu Lapin geologisten soiden pinta-alaan 2,07 milj. ha, ja tutkittujen soiden keskisyvyyteen 1,27 m. Suomen geologisten soiden kokonaispinta-ala on 5,11 milj. ha, ja tutkittujen soiden keskisyvyys on 1,41 m. Sellaisilla alueilla missä laajoja soita on eniten, kuten Länsi- ja Keski-Lapissa, on myös suurin turvepotentiaali. Lapin tutkittujen soiden kokonaispinta-alasta on turvepaksuudeltaan yli 1,5 m syvää



Kuva 51. Lapin arvioidut turvevarat karttalehdittään ja turvetuotantoalueiden sijainti.

Fig. 51. Estimated peat reserves (million m³ / 100 km²) by basic map sheet and location of peat production areas in Lapland.

aluetta 32 %, mutta turvevaroista nämä syvät alueet sisältävät 60 %. On huomattava, että Lapissa turvetutkimukset ovat painottuneet maakunnan etelä- ja lounaisosaan (kuva 51), joka soistumiseltaan poikkeaa maakunnan pohjoisemmista alueista. Lisäksi on laajoja tutkimattomia alueita, mutta yleistetty arvio koskee koko Lappia.

Lapin soista suurin osa on luonnontilaisia, sillä vain noin neljännes on ojitettu. Ojitettuja soita on eniten Lounais-Lapissa. Lapissa suojeelusoiden osuus on suuri, noin 800 000 ha, eli 65-67 % koko maan suojeeluun kuuluvasta suoalasta. Suurin osa Lapin aapasoidista on rämeitä (47 %); seuraavaksi on avosoidia (38 %), korpia (8 %) ja muuttumia (7 %).

Lapin suot ovat turvelajeiltaan sara-valtaisia (56 %) ja rahkavaltaisia (38 %). Ruskosammalvaltaisia turpeita on 6 %, eli suhteellisesti enemmän kuin muualla maassa (Virtanen ym. 2003).

Lapin soiden käyttö

Soilla on ollut suuri merkitys jopa Lapin

asutustoiminnan ohjaajana. Vanhimmat soiden käyttömuodot liittyivät luontaistalouteen, kuten porolaitumet, suoheinän korjuu, metsästys ja marjastus. Ravinteikkaita lettoja alettiin raivata viljelykyttöön 1800-luvun lopulla. Puuston tuoton parantamiseksi Lapin soita alettiin ojittaa 1930-luvulla, ja suurimmillaan toiminta oli 1960-luvulla. Sotien jälkeen ojitettiin ja raivattiin Lapin soita laajamittaisesti asutustilojen tarpeisiin. Ensimmäiset soiden kunnostustyöt turvetuotantoa varten aloitettiin Pellossa 1974, josta se laajeni 1970-luvun lopulla Kemin puunjalostusteollisuuden ja Oulun kaupungin turpeenkäytön lisääntymässä (Maunu & Virtanen 2005).

Turvevarojen käyttökelpoisuuteen vaikuttavat käyttötarkoituksesta riippuen useat tekijät, kuten alueellinen sijainti, turvekerrostuman paksuus ja pinta-ala, turvelaji, maatuneisuus sekä tuhkapitoisuus. Myös kuivatukseen ja ympäristövaikutuksiin kiinnitetään nykyisin entistä enemmän huomiota. Nämä tekijät arvioidaan ja ratkaistaan suokohtaisesti.

Suuria kokonaisuuksia arvioitaessa puhutaan mieluummin teknisesti käyttökelpoisesta suoalasta ja niiden turvevaroista. Tällöin laskennassa ovat mukana sijainnista riippumatta kaikkien soiden paksuturpeiset alueet ilman vähennyksiä, tai kuuluuko suo jo suoje-luohjelmiin tai muun maankäytön piiriin. Se ei ole sama asia kuin taloudellisesti käyttökelpoiset turvevarat.

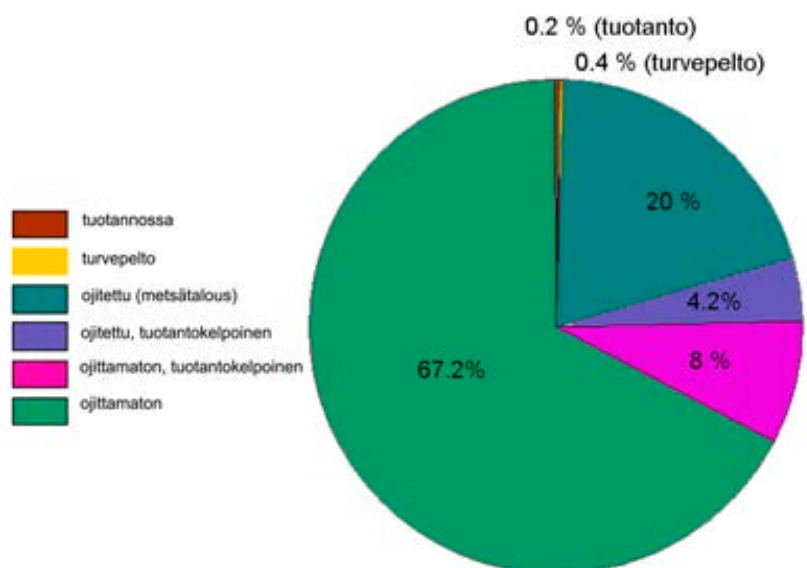
Tutkimattomien turvevarojen ennusteiden laskennassa käytetään erilaisia tunnuslukuja ja kertoimia, jotka perustuvat tutkituista soista saatuihin tilastotietoihin. Lapissa tämä kerroin on 0,20, eli geologisten soiden pinta-ala \times 0,20 = ennuste käyttökelpoisesta suoalasta.

GTK:n laskelmat koko Suomen turvevaroista ja teknisesti käyttökelpoisista turvevaroista on julkaistu viimeksi vuonna 2003 (Virtanen ym. 2003). Tuolloin Suomen soista oli tutkittu noin 1,7 milj. ha ja Lapissa 251 000 ha. Nykyisin tutkittujen soiden pinta-ala on yli 2 milj. ha ja Lapissakin 333 000 ha. Myös soiden pinta-aloja voidaan mitata uusien menetelmin ja ottaa arviolaskelmiin muutkin kuin niin sanotut geologiset

suot. Lähtökohtana on ollut ”Ehdotus soiden ja turvemaiden kestävän ja vastuullisen käytön ja suoje-lun kansalliseksi strategiaksi”.

VMI10:n (valtakunnan metsien inventointi) mukaan Lapin soiden ja turvemaiden pinta-ala on hieman yli 3 milj. ha. Näistä on ojittamattomia 2,24 milj. ha (67 %), metsätaloukseen on ojitettu 0,67 milj. ha (20 %). Ojittamattomista soista on GTK:n arvion mukaan teknisesti tuotantokelpoisia 0,27 milj. ha ja ojitetuista 0,14 milj. ha, eli yhteensä 0,41 milj. ha (12 %). Turvepeltoja on 14 000 ha (0,4 %) turvetuotannossa noin 5 500 ha (0,2 %).

Lapin soiden turvevarat ovat suurimmalta osaltaan tutkimatta, mutta GTK:n laskelmien mukaan Lapissa on teknisesti käyttökelpoisia turvevaroja noin 9,6 mrd-suo³ (kuva 52). Tämä on 33 % koko Suomen teknisesti käyttökelpoisista turvevaroista. Suurimmat turvereservit ovat Sodankylässä, Kittilässä, Sallassa, Kolarissa, Ranualla ja Rovaniemellä. Luonnonolojensa puolesta teknisesti käyttökelpoisia turvevaroja ei ole Enontekiön, Utsjoen eikä Inarin kunnissa,



Kuva 52. Turvemaiden käyttö Lapissa (GTK 2010, Kimmo Virtanen).

Fig. 52. Peatland exploitation in Lapland (Kimmo Virtanen, 2010).

vaikka esimerkiksi Inarissa on soita kolmanneksi eniten Lapissa.

Suot ja niiden turvekerrostumat ovat maamme suurin hiilivaranto. Turpeen hiilipitoisuus vaihtelee esimerkiksi turvelajeiltaan ja maatuneisuudeltaan, mutta keskimäärin se on 50,3 % kuiva-aineesta; tosin aineisto ei alueellisesti ole edustava. Hiilikertymissä on suurta vaihtelua riippuen maantieteellisestä sijainnista, suotyypistä ja turvekerrostuman iästä. Säännönmukainen piirre on, että kertymä on suurempaa nuorissa kerrostumissa. Alhaisimmat kertymät ovat Peräpohjolan ja Metsä-Lapin laajoilla aapasoilla, jossa hiilikertymä on keskimäärin 17 g/m²/v, mutta pitkäaikaiskertymien vaihteluvälit ovat suuret (Korhola & Tolonen 1998).

Suomen soihin sitoutuneen hiilen määrästä on jonkin verran poikkeavia laskelmia. GTK:n laskelmat perustuvat Suomen geologisiin soihin (5,11 milj. ha). Niiden sisältämä hiilivaranto on 3 200 Tg (1 Tg = 1 milj.t). Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen mukaan Suomen soiden kokonaishiilivaranto on 5 600 Tg (Minkkinen 1999) ja VTT:n mukaan 6 300 Tg (Hillebrand 1993). Suhteutettuna Lapin turvevaroihin saadaan Lapin soiden hiilivarannoksi vähintään 1 200 Tg, joka on kaksi kertaa enemmän kuin koko Suomen puustoon sitoutuneen hiilen määrä. Yhdessä suo-

m³:ssä on energiaa noin 0,48-0,55 MWh. Lapin teknisesti käyttökelpoisten turvevarojen (9,6 mrd-suo³) energiamääräksi voidaan laskea noin laskea 5 300 TWh. Turpeen energiakäyttö koko Suomessa on viime vuosina ollut 17-22 TWh/v.

Kirjallisuutta

Hillebrand, K. 1993. The greenhouse effects of peat production and use compared with coal, oil, natural gas and wood. VIT tiedotteita 1494, 41 s.

Korhola, A. & Tolonen, K. 1998. Suomen soiden kehityshistoria ja turpeen pitkäaikaiskertymä. Teoksessa: Vasander, H. (toim.) Suomen suot. Suoseura ry., Helsinki, 20-26.

Maunu, M. & Virtanen, K. 2005. Soiden käyttö. Julkaisussa: Johansson, P. ja Kujansuu, R. (toim.), Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 188-191.

Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. Department of Forest Ecology, University of Helsinki. 42 s. (väitöskirja).

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 156, 204 s.



Acta Lapponica Fenniae 25 – Geological resources of Lapland in 2010

Summary

Introduction (*Pertti Sarala*)

The first volume of *Acta Lapponica Fenniae* was published in 1962, fifty years ago. The subject of the volume was mineral resources of Finnish Lapland and it was edited by Herman Stigzelius, former Director General of the Geological Survey of Finland, and geologist Pentti Ervamaa. Since the 1960s, there have been huge developments in geological mapping and research. This has led to the discovery of numerous mineral deposits, a number of which have identified as economically viable.

The aim of *Acta Lapponica Fenniae* 25 is to update knowledge of geological resources to the current decade. This 50th anniversary publication includes short descriptions of different geological, geochemical and geophysical mapping programmes, mines, occurrence of the most important metal and mineral types, raw material potential, and peat and groundwater production and reserves in Lapland.

The book was written by geologists and experts in geology and geophysics currently working in the Northern Finland office of the Geological Survey of Finland (GTK) or now retired. It can be used as a general summary of the geology and natural resources of Lapland

and northern Finland. It is also suitable for teachers and students, NGO decision makers, planners and users of natural resources and all who are interested in the geology and nature of Lapland.

Geological and geophysical mapping in northern Finland

Bedrock mapping (*Vesa Perttunen*)

Bedrock studies in northern Finland started in the late 19th century. The first printed maps were included in printed academic dissertations and in field reports on short excursions. GTK was established in 1885. The first geological small-scale maps of the whole of Finland were produced in the late 1890s. Publication of the map series “*General geological map of Finland, 1:400 000*” began in 1900. Over the next 30 years, these bedrock maps covered large areas of northern Finland. Geological mapping was suspended during World War II (1939-1945) but resumed soon afterwards. The last map was printed in 1965.

More detailed geological mapping on a scale of 1:100 000 started in northern Finland in the early 1960s, when new technical achievements were applied to field work, including aerial photographs and, in particular, airborne geophysical

measurements. Geochemical analyses of rock samples for classifying e.g. volcanic formations were available in large quantities. Isotope dating improved the accuracy of stratigraphical interpretation and other geological correlations.

The geological, geochemical and geophysical data of GTK and other organisations are today combined in a joint database. Printing of geological map series has ceased, and instead tailor-made maps can be processed and printed for different purposes and scales directly from the database.

Quaternary geological mapping
(Peter Johansson)

Systematic mapping of the Quaternary deposits in Finland has been carried out by GTK since the 1870s. At present, the whole country is mapped on a scale of 1:200 000 and 40% of the land area is covered by basic maps of Quaternary deposits on a scale of 1:20 000 or 1:50 000. The mapping of Quaternary deposits is based on landform surveys made using aerial photographs with supplementary field surveys. Rock types and various glacial and postglacial formations and deposits are indicated on the maps by different colours and symbols. The resulting information is stored in the database of Quaternary deposits in numerical form using ArcMap software.

In the selection of areas to be mapped, the needs of society are considered, especially planning of land use, the development of nature tourism, environmental management and assessment of natural resources in superficial deposits. Thematic maps of different

kinds for various end-uses are also produced. In geological maps of building potential for planning purposes, Quaternary deposits are classified into different building potential categories on the basis of frost heave and bearing capacity. The systematic mapping of acid sulphate soils is creating the conditions for effective implementation of preventive measures in the most problematic areas in coastal regions by the Baltic Sea. Geological outdoor maps provide information about geological heritage and how geological processes have formed the present landscape. Guided by these maps and companion guide books, it is easy to find new experiences in the great outdoors.

Mires and their mapping (Tapio Muurinen)

Finnish Lapland forms part of the subarctic region, where aapa mires are the dominant mire type and where half the land area is covered by peat. The largest mires cover several thousand hectares. Mires classified as geological mires (area greater than 20 ha and peat thickness greater than 0.3 m) comprise about 8 230 mire sections that cover approx. 2.07 million ha. The number of mires is highest in Sodankylä (335 000 ha), Kittilä (273 000 ha) and Rovaniemi (183 000 ha).

The oldest peat and mire surveys were carried out as part of Quaternary geological mapping. The peat database is useful for many purposes, such as nature historical research and land uplift, climate change and mire stratigraphy studies. The first (and the oldest) studies were conducted in central Lapland in the 1950s and focused on peat reserve

mapping at the site of the large artificial lakes Lokka and Porttipahta before construction work started. This mapping was carried out by GTK together with Kemijoki Ltd. In 1962, mire and peat surveys were begun as part of Quaternary geological mapping. Furthermore, GTK started co-operation with Rovaniemi, Muonio and Kittilä in 1973.

The national coordination group for peat resources was established by the Ministry of Trade and Affairs in 1975. Nowadays, the area of mires surveyed in Finland is approx. 35 000 ha per year, of which GTK's Northern Finland Office aims to cover 7 500 ha/year. The GTK peat/mire database includes about 1 450 mapped mires from Lapland.

Groundwater (Ulpu Väisänen)

Groundwater recharge is regulated by numerous physical factors, but over 50% of the annual precipitation received by an area can be absorbed into the groundwater in eskers in a natural state and the proportion can even reach 75% in gravel pits.

The amounts of substances dissolving in groundwater increase with residence time, so that concentrations in spring water, with its rapid turnover, are much lower than those in dug or drilled wells. The type and composition of bedrock reflect the quality of groundwater. The pH value of groundwater is mostly in the range 6.2-6.8, but in areas with alkaline bedrock it can exceed 7, e.g. in Kittilä, Sirkka and Kemi-Tornio-Tervola. Heavy metal concentrations are mostly low in the groundwater of Lapland. In certain areas, e.g. Kittilä, there are sulphide minerals with high

concentrations of arsenic, but in general concentrations of dissolved substances are not high and groundwater quality is good.

The best groundwater reserves in surficial deposits are to be found in the thick beds of highly permeable, coarse, sorted material such as those in eskers or marginal formations, and also in littoral and river bed deposits. There are good aquifers in most parts of Lapland, e.g. the Pudasjärvi-Taivalkoski-Hossa formation, a major esker between Kuusamo and Posio, running via Rovaniemi to Kolari. There are several large eskers with good aquifers in Muonio, Enontekiö and Utsjoki. Thick river bed deposits in Ivalo are also good aquifers. About 2360 groundwater aquifers have been mapped in northern Finland. They have been allocated to Classes I, II and III. Class I aquifers are the important groundwater areas, reserved for groundwater intake plants.

Till geochemical mapping (Pasi Lehmuspelto and Pertti Sarala)

Areal geochemical mapping of glacial tills started in the early 1970s in Finland, covering the whole country with a point density of 1 sample/4 km². The mapping programme was completed in the early 1990s. Other materials such as unweathered and weathered bedrock materials, minerogenic and organogenic aquatic and terrestrial sediments, aquatic and terrestrial mosses and other plants, and surficial waters and groundwaters were sampled for special purposes, reconnaissance studies, atlases, research and development. Most applications of the geochemical studies have been used

in mineral potential mapping and ore prospecting. Environmental applications and the use of portable field analysers have increased recently.

Geophysical mapping (Pertti Turunen and Heikki Salmirinne)

The first national geophysical airborne mapping, 'high altitude airborne mapping', was completed during 1951-1972. Nominal flight altitude was 150 m and flight line interval 400 m. The magnetic field, electromagnetic secondary field and total gamma radiation intensity were mapped. The programme was followed by 'low altitude airborne mapping' from nominal height 30 m and flight line interval 200 m during 1972-2007. Up to three magnetometers were used and the electromagnetic field was measured with up to four frequencies. Spectral gamma radiation data were used to produce K, eU and eTh content maps for the whole country. Geophysical airborne maps offer a valuable data package for a number of geological applications.

The gravimetric Bouguer anomaly data (station interval 2.5 km) of the Finnish Geodetic Institute cover the whole country and provide information on large-scale structures. In the regional gravity surveys of GTK, the station interval is usually 400 to 1000 m and the data provide more detailed information for mining exploration purposes. At the moment, the regional gravity data of GTK cover about 20% of Lapland area.

Ore occurrences and mineral resources (*Pertti Sarala*)

There is great potential for finding a

number of types of economically viable metal and mineral deposits in Finland. Finland has had, and continues to have, mining activities for many metal and mineral types, particularly base metals (Cr, Cu, Fe, Ni, Zn), gold, industrial minerals and fertiliser components. The potential also exists to find new ore types, of which the high-tech metals and minerals are the most promising. Those metals are essential in new high-tech equipment such as mobile phones, electric engines, flat screens and solar cells. Important metals are niobium, tantalum, indium, gallium, germanium, scandium and Rare Earth Elements (REE). Based on the recently published Fennoscandian Metallogeny map, there is great potential for identification of new economic ore deposits in northern and eastern Finland.

Gold (Veikko Keinänen, Pertti Sarala and Jorma Valkama)

Gold has the longest exploration tradition in Finland, dating back to the 1860s when the first gold rush began in the Ivalojoiki River area. Since then, placer gold deposits have been found in the Lemmenjoki River and Tankavaara-Saariselkä areas, where gold prospecting by panning is still going on. In the 1980s, geochemical analysis was developed to a level that was sufficient for gold exploration using till and rock samples. Since then, numerous gold mineralisations have been found, mainly in the Central Lapland Greenstone Belt but also in the Kuusamo and Peräpohja Schist Belts. Some of these have been proven to be economically viable and are being mined, for example at Kittilä and Pahtavaara.

*Iron oxide-copper-gold deposits**(Tero Niiranen)*

Iron oxide-copper-gold (IOCG) deposits were defined as a separate deposit class in the early 1990s. The class encompasses a group of epigenetic Cu-Au deposits for which the following characteristics are typical: host rock for the Cu-Au mineralisation is magnetite- and/or haematite-rich 'ironstone' of epigenetic origin, deposits are structurally controlled, multi-stage metasomatic alteration halo around the deposit, metals were deposited from highly saline H₂O-CO₂ fluid, metal association Au-Cu-Fe ± Ag, Ba, Bi, Co, F, Mo, REE, Te, U, W.

There are several deposits in northern Finland which have similar characteristics to the IOCG class. Of these, the Fe-Cu-Au deposits in the Kolari region and the Vähäjoki Fe-Cu-Co-Au deposit in Tervola best fit the IOCG deposit class. The Kuusamo Cu-Co-Au-U deposits and the Fe-Au occurrences in the Vuotso-Ivalo area bear similar features to the IOCG type but lack iron oxide-rich host rocks diagnostic for the type. The Misi Fe deposits also share similar characteristics to the IOCG type, but only very low Cu-Au grades have been detected in them. They may be an example of barren ironstone, which typically outnumbers Cu-Au mineralised ironstone in the known IOCG districts around the world.

*Nickel-copper-platinum group elements**(Tuomo Törmänen)*

Ni-Cu-PGE deposits are practically always associated with mafic-ultramafic intrusions or komatiitic volcanic rocks. Deposits associated with intrusions

(type 1) can be further classified into deposits hosted by 2.44 Ga layered intrusions and deposits hosted by other intrusions. Layered intrusions host a number of different types of ore deposits and are found all over northern Finland. Ni-Cu-PGE deposits occur either as so-called reef-type deposits or as contact-type deposits. The Kevitsa Ni-Cu-PGE deposit is the only major known deposit hosted by other than 2.44 Ga type mafic intrusions. Three komatiitic Ni-Cu-PGE deposits are known from Northern Finland. One of these, Ruossakero, is associated with Archean komatiites in the Käsivarsi area, and the other two are associated with Proterozoic komatiites in Pulju and the Central Lapland Greenstone belt.

High-tech metals and minerals (Laura Lauri)

High-tech metals include lithium, cobalt, indium, gallium, germanium, molybdenum, niobium, tantalum, titanium, tungsten, rare earth elements (REE) and platinum group metals (PGM). They are increasingly needed in industrial applications and have been sought after especially in the past ten years. Several high-tech metal deposits are known in Lapland. The most important are the Nb-Ta-REE-bearing Sokli carbonatite complex, the cobalt-bearing gold occurrences in the Kuusamo area and the Karhunjupukka Fe-Ti-V deposit in Kittilä.

Uranium (Laura Lauri)

Uranium exploration has been carried out in Lapland since the 1950s. Small occurrences are known in Kittilä, Kolari, Rovaniemi, Tervola and Ylitornio

areas. The gold deposits in Kuusamo also contain minor uranium concentrations. The most important recent find is the Rompas gold-uranium prospect in Ylitornio, which was found in 2008.

Industrial minerals and stones (Panu Lintinen and Risto Vartiainen)

Industrial mineral and stone production in Lapland is strongly concentrated in the southern part of the province, where dolomite has been quarried in several quarries from the beginning of the 1900s. Quartz was also quarried for some decades, mainly for use in the processes of the steel mill in Röyttä. The Äkäsjokisuu limestone quarry in north-western Lapland opened in the 1970s and closed in 1998, but was re-opened in 2012 in order to produce lime(stone) for current mining projects.

Exploration in the Sokli carbonatite massif has been active in recent years, but at the moment a final decision on opening the mine is still pending. Some minor kaolin and talc deposits have been found after exploration work by GTK, but kaolin or talc production in Lapland seems quite unlikely in the near future.

Natural stones (Risto Vartiainen)

The most famous and widely used natural stones in Lapland are the greyish brown marbles found mainly in the Tornio-Keminmaa-Tervola area in southern Lapland. In addition, at Siermämpalo, Kittilä, a rare, bright green chromian marble (*'Lappia Green'*) has been quarried since the 1970s.

In Central Lapland, arkose and sericite quartzites of different colours and with good cleavage have been used as

a building stone, especially in ovens and fireplaces. Quartzite with good cleavage and a lichen covering is a northern speciality. Some attempts have also been made to utilise intrusive rocks such as granites, gabbros and anorthosites.

Gems and semi-precious stones

(Risto Vartiainen)

The best known gem-quality stones in Lapland are amethyst, garnet and cordierite, also known as iolite. Only amethyst and garnet are commonly used in jewellery, very often together with gold nuggets from Lapland.

The best known semi-precious stones are red jasper and corundum. In addition, some rock types such as bright green fuchsite quartzite, dark green serpentinite and tuffite with brown, black and grey stripes are commonly used as semi-precious or ornamental stones.

Raw mineral deposits -

Sand and gravel resources (Kalevi Mäkinen)

The sand and gravel resources in Finland were assessed in 1974-1978. The study was undertaken as a joint venture by the National Board of Public Roads and Waterways (NBPRW) and GSF. The material was classified into three categories according to grain size: A) material suitable for crushing ($\varnothing >60$ mm), B) mainly gravel ($\varnothing 2-60$ mm) and C) mainly sand ($\varnothing 0.06-2$ mm). According to that study, gravel and sand reserves above groundwater level totalled about 47.5 billion m³. In 2001 there were about 44 billion m³ of sand and gravel remaining. The most significant amounts of sand and gravel resources in Lapland are found in glaciofluvial formations,

i.e. eskers, deltas and ice-margin formations. Sand and gravel are also found in littoral deposits, but they have only local significance. It has been estimated that in Lapland in 2012 there were about 5.5 billion m³ of natural sand and gravel remaining, of which 0.1 billion m³ (2.3 %) were suitable for crushing, 1.4 billion m³ (24.9 %) were mainly gravel and 4.0 billion m³ (72.8 %) were mainly sand. Unfortunately, the reserves of sand and gravel are distributed unevenly and other forms of land use restrict extraction. Thus due to dense population, industry, roads and railroads, nature conservation and especially groundwater supply areas, only between 5 and 30 % of natural sand and gravel resources can be utilised in production.

Raw mineral deposits -

Bedrock aggregate resources (Panu Lintinen)

Bedrock aggregate is cut from solid rock and usually used as crushed bulk for various construction purposes. In Lapland the demand for bedrock aggregate is concentrated to the vicinity of the main highways and major urban areas. In the Kemi-Tornio area in southwestern Lapland in particular, high volumes of bedrock aggregate are extracted due to lack

of sand and gravel deposits there and to the availability of high quality aggregate from local bedrock. In the Rovaniemi area, much smaller volumes of bedrock aggregates are extracted, mostly from the southern side of the city.

Peat reserves (Tapio Muurinen)

In Finland, the largest peatland areas are located in northern territories in Lapland and in Northern Ostrobothnia. During 1975-2011, GTK investigated 333 000 ha (16%) of the 2.07 million ha covered by geological mires in Lapland. The total volume of mires assessed by GTK was about 4.2 billion m³. The mean depth of geological mires is 1.3 m and the average peat layer thickness is 2.3 m in areas with peat depth exceeding 1.5 m, which comprise a total of 0.66 million ha (32%). The peat reserves of Lapland are in total 26.3 billion m³ in situ and the dry solids total 2.4 billion tonnes. The carbon storage capacity of Lapland mires is about 1.2 billion tonnes. Technically suitable mires for the peat industry cover a total of 0.41 million ha in Lapland and contain 9.6 billion m³ in situ of peat, with an energy content of 5300 TWh.

Acta Lapponica Fenniae

1. Lapin kivennäisvarat / Herman Stigzelius, Pentti Ervamaa, 60 s., 1962.
2. Schefferus, Johannes: Lapponia, 1674. Suom. Tuomo Itkonen, 492 s., 1963. Alkup. Acta Lapponica 2.
3. Settlement and economic life in the district of the Lokka reservoir in Finnish Lapland / Jaakko Havukkala, 46 s., 1964.
4. Bedrock and its influence on the topography in the Lokka-Porttipahta reservoir district, Finnish Lapland / Heikki Niini, 54 s., 1964.
5. An investigation of reindeer husbandry in Finland / Reijo Helle, 66 s., karttal., 1966.
6. Some contributions to the question of Dutch traders in Lapland and Russia at the end of the sixteenth century / Jorma Ahvenainen, 53 s., 1967.
7. Über die regionale Differenzierung der Landwirtschaft im Län Lapland / Uuno Varjo, S. 346-364, 1968; Erip.: Acta geographica 20, n:o 24.
8. Lapin ilmastokirja = Climate of Lapland, . 94 s., 1974.
9. Lapin tutkimuspoliittinen ohjelma / toim. Jukka Yliniemi ja Olli Saastamoinen, 115 s., 1975.
10. Lapin kasvivarat = Plant resources in Lapland / toim. Paavo Kallio, 141 s., 1978.
11. Lapin tutkimusyksiköt = Research in Finnish Lapland / toim. Aulis Ritari, 47 s., 1982.
12. Geologinen Pohjois-Suomi / julk.: Lapin tutkimusseura r.y., toim. Ahti Silvennoinen, 100 s., 1984.
13. Lapin tutkimus tänään : Lapin tutkimusyksiköt tutkimuksen eri aloilta / toim. Seppo Aho ja Tiina Keränen, 72 s., 1986.
14. Kultasymposiumi 12.-13.8.1987, Tankavaara, Sodankylä = Gold symposium 12.-13.8.1987 Tankavaara, Sodankylä / toim. Ilkka Härkönen, 72 s., 1988.
15. Lapin metsäkirja / toim. Olli Saastamoinen ja Martti Varmola, 199 s., 1989.
17. Lapin tutkimuspoliittinen ohjelma / Marja Mäkinen, 54 s., 1994.
18. Lapin tutkimusyksiköt : toiminta, resurssit ja tulevaisuus / Aulis Ritari ja Veli-Matti Kaihua, 61 s., 1994.
19. Lapin tutkimusseura 1959-1999 / toim. Heikki Annanpalo, 54 s., 1999.
20. Kuolan niemimaalla käyneiden suomalaisten tiedemiesten matkakertomuksia / Leif Rantala, 118 s., 2008.
21. Mikä Lappi on ja mikä siitä voi tulla? / toim. Pertti Sarala, Pasi Lehmuspelto ja Leena Suopajärvi, 83 s., 2009.
22. Ylä-Lapin metsien käytön ristiriidat – näkökulmia kestäväään käyttöön / toim. Mikko Hyppönen, Sirkka Tapaninen ja Pertti Sarala, 47 s., 2010.

23. Lokka muutosten näyttämönä / toim. Leena Pyhäjärvi, Maria Hakkarainen, Timo Helle, Seija Tuulentie, Mervi Autti ja Pertti Sarala, 80 s., 2011.
24. Pohjoinen puhtaus / toim. Rainer Peltola ja Pertti Sarala, 104 s., 2012.
25. Lapin geologiset luonnonvarat 2010 / toim. Pertti Sarala, 133 s., 2012.



Vuonna 2012 tuli kuluneeksi 50 vuotta ensimmäisen Lapin tutkimusseuran Acta Lapponica Fenniae -julkaisun ilmestymisestä. Kirjan aiheena oli Lapin kivennäisvarat. Kivennäisvarojen kartoituksessa ja tutkimuksessa on tapahtunut sen jälkeen, viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana, valtava kehitys niin tieteellisen kuin teknologisenkin kehityksen ja tietämyksen kasvun myötä. Samaan aikaan metallien ja kivennäisraaka-ainevarojen alueellinen ja erityisesti globaali tarve on saavuttanut suuret mittasuhteet väestönkasvun ja rakentamisen lisääntymisen myötä. Kehitys on edesauttanut myös pohjoisten alueiden kuten Lapin geologisten luonnonvarojen kartoittamista ja malmivarojen arviointia. Geologisten luonnonvarojen kartoituksen päävaiheet ja -tulokset ovat nyt kerättyinä tähän teokseen. Kirja on tarkoitettu yleisteokseksi kaikille Lapin geologiasta sekä geologisista luonnonvaroista kiinnostuneille ja se toimii yleisteoksena maankäytön suunnittelussa, opetuksessa ja yhteiskunnallisessa päätöksenteossa.