

Lapin irtokullan alkuperästä

Lapissa on kaivettu kultaa jo 150 vuoden ajan. Kullan alkuperää, emäkalliota, ei ole onnistuttu löytämään pitkästä uurastuksesta huolimatta. Uusin tutkimustieto antaa kuitenkin toivoa, että Lapin kultan mysteeri saadaan vielä joskus ratkaistua.

PEKKA TUISKU ja ANTTI PERONIUS

Vuori-insinööri Johan Konrad Lihrin retkikunta löysi ensimmäiset merkit irtokullasta Ivalojoen Nulkkamukasta syyskuussa 1868. Tämä johti lähes välittömästi Lapin ensimmäiseen suureen kultaryntäykseen, josta lähtien kultaa on etsitty vaihtelevalla menestyksellä aluksi Ivalojoella ja myöhemmin muilta Lapin kultanhuuhdonta-alueilla (Partanen 1999). Kultaryntäyksen vuoksi silloinen Kaivoshallitus joutuikin keskittämään voimavaransa Inarin ja Utsjoen pitäjiin, minkä tuloksena A.-E. Jernström laati vuonna 1874 maamme ensimmäisen kelvollisen kallioperäkartan kuntien länsiosista (Stigzelius 1987, Kauranne *et al.* 2010). Kallioperäkartan laatiminen johtui tietenkin kultan emäkallion etsimisestä, vaikkei Jernström sitä luulostaan huolimatta löytänytkään. Tuskin on liioiteltua väittää, että ansioitunut geologinen tutkimuksemme ja Geologisena komissionina 1886 aloittanut nykyinen Geologian tutkimuskeskus saa suurelta osin kiitää synnystään Lapin kultan löytymistä.

Koska Lapin irtokullan alkuperää on ensi vuonna tutkittu jo 150 vuotta ”emäkalliota” kuitenkin löytämättä, ajattelimme Lapin kultan löytymisen vuosijuhlana kirjoittaa lyhyen katsauksen siitä, millaisesta ja missä sijaitsevasta emäkalliosta kultaa saattaisi olla pe-

räisin ja millaiset prosessit ovat johtaneet sen nykyiseen esiintymiseen maaperässä. Yritämme kirjoituksessa selvittää tätä sekä käytännön kokemuksen että tutkimustiedon perusteella ja toivomme kirjoituksen innostavan sekä harrastajia että ammattilaisia Lapin kultan mysteerin selvittämiseen. Siksi olemme yrittäneet laatia tekstimme sellaiseksi, että sen lukeminen onnistuu ilman syvällistä geologista tietämystä.

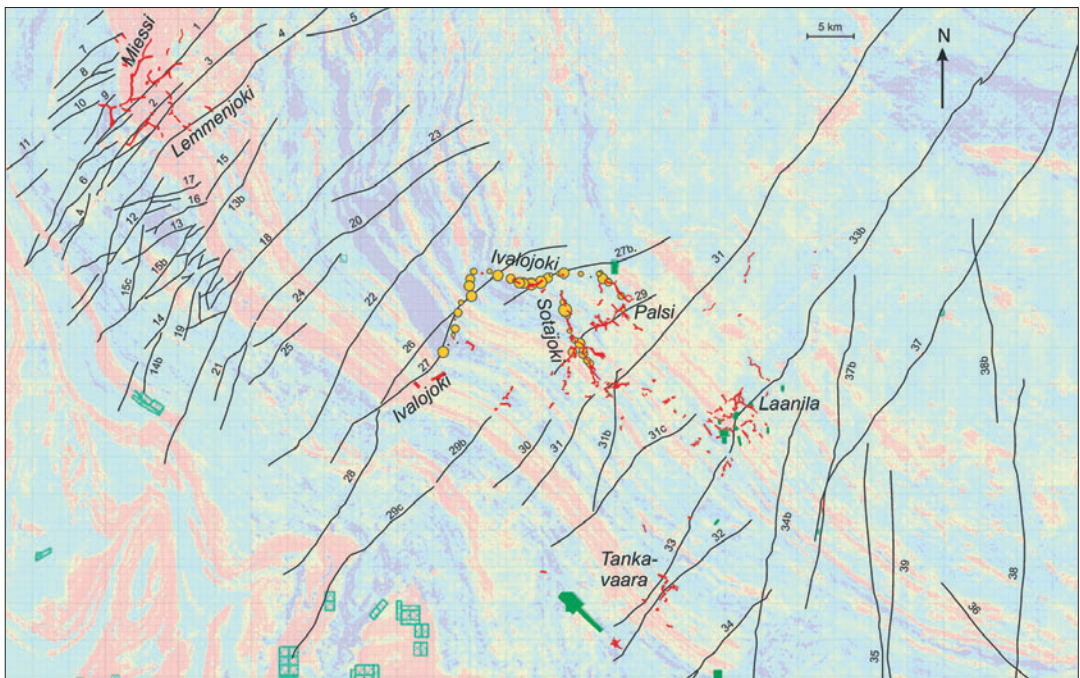
Kullan alkuperän selvittämiseksi on tarkasteltava sen maantieteellistä esiintymistapaa ja jakautumista, materiaalia, jossa kultaa esiintyy, irtokultaa liikuttaneita ilmiöitä, rapautumista sekä mahdollisen lähdealueen kallioperää ja kalliokultaesiintymien muodostumista. Alueen koko geologinen luonne ja historia pitää huomioida asian selvittämiseksi.

Ensimmäiset kultavaltaukset olivat sangen tuottoisia, koska kultaa huuhdottiin aluksi v. 1870–72 lähinnä Ivalojoen penkereiden jokisedimenteistä, mistä kultaa oli hyvin helposti erotettavissa ja missä se on rikastunut fluvi-aali- eli jokiprosesseissa. Tämän jälkeen huuhdonta siirtyi vastaaviin muodostumiin Ivalojoen sivuhaarojen Sotajoen ja Palsinojan varsille (Stigzelius 1987). Vuosina 1870–1875 on huuhdottujen jokisorien arvioitu sisältäneen yli 7 g kultaa kuutiometrissä ja enimmillään

n. 38 g/m^3 (Svedelius 1874, Mäkinen 1920). Nykyään kultaa huuhdotaan pääosin moreenista tai pesetyneestä moreenista, joissa pitoisuudet ovat alhaisempia, minkä vuoksi huuhdonta on pääosin kannattavaa vain koneellisesti. Kullanhuuhdontalupien ja -kaivospiirien kartta kuvaa hyvin kullan levinneisyyttä kulta-alueiden maaperässä, lähinnä moreenissa tai siitä johtuneissa sekundäärisissä kerrostumissa. Kulthaan ei kannata kaivaa paikoista, joissa sitä ei ole, ja harrastajankin alkuinnostus katoaa nopeasti tyhjän perässä juokse-

misessä. Kuvassa 1 on kulta-alueiden huuhdontapaikkojen sijainti sähköisellä matalalentokartalla. Lisäksi kuvassa on esitetty Stigzeliusen (1987) ilmoittamia kullan saantimääriä huuhtonnan alkuvuosina kuvaavat ympyrät.

Svedelius arvioi, että kullan emäkalliot olisivat lähellä paikkoja, missä kultaa on runsaasti ja se on karkeaa ja korkealla (Ivalo)joen rantatöyräessä. Kauempana emäkalliosta kulta olisi hienompaa ja kuluneempaa (Stigzelius 1987). Pääosin tällainen käsitys on muodostunut myös monille nyttemminkin asiaa sel-



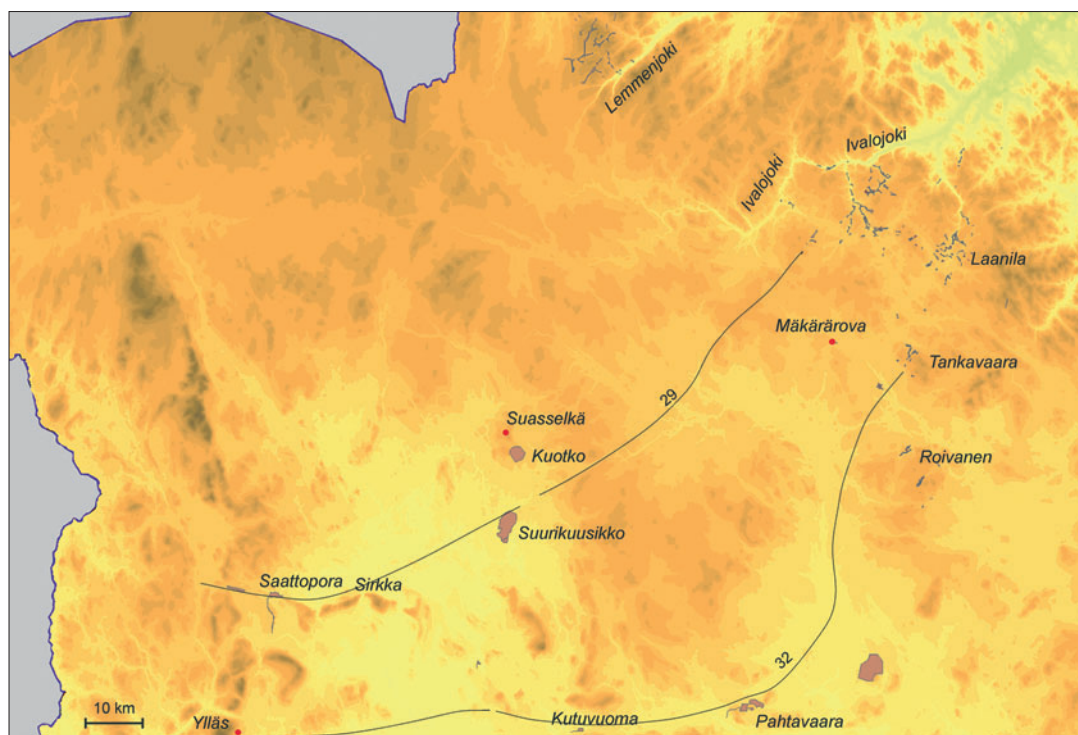
Kuva 1. Kullanhuuhdontaluvat, kaivospiirit ja hakemukset (punainen) ja rauenneet valtaukset (vihreä) aerosähköisellä (vaihekomponentti) matalalentokartalla, jossa punertava sävy tarkoittaa lähinnä hyvää johtavuutta kallioperässä. Johtavuusvyöhykkeet noudattavat Lapin granuliittijakson gneissimäistä raitaisuutta ja suurempimittaista kerrosrakennetta. Keltaiset ympyrät kuvaavat kullan suhteellista saantia 1800-luvun loppupuolella, kun helpoimmin eroteltava jokipenkkojen kulta huuhdottiin pääosin loppuun. Hau-raat ja osittain plastiset siirrokset on merkitty mustilla viivoilla. Lähde: Geologian tutkimuskeskuksen, Maanmittauslaitoksen ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston avoimet aineistot ja Stigzelius (1987).

Figure 1. Placer gold claims (red) and expired claims (green) on the airborne low altitude electromagnetic map of Geological Survey of Finland (in-phase component, red highest). The variation in electrical properties follows the primary gneissic banding and larger scale layering of the Lapland Granulite Belt (Korja et al. 1996, Tuisku et al. 2006). Yellow circles represent, in a logarithmic scale, the relative gold gain in the late 19th century, when the effortlessly attainable gold from the river banks was exhausted. Black lines are brittle and semi-brittle faults. Source: Open access resources of the Geological and National Land Surveys of Finland, the Finnish Safety and Chemical Agency, and Stigzelius (1987).

vittäneille etsijöille (mm. Saarnisto ja Tamminen 1985, 1987, Nenonen 2003). Tällainen ajattelu on yhtäpitävä useiden muidenkin kulta-alueiden tutkimustulosten kanssa (esim. Leake *et al.* 1998, Craw *et al.* 2017). Tosin asiasta on esitetty muunkinlaisia teorioita (Ervamaa ja Saarinen 1991, Forsström ja Tuisku 1990, 1993). Asiaa hankaloittaa se, että alueen kallioperästä löytyneet kultapitoiset esiintymät, lähinnä erilaiset juonimuodostumat, ovat niin köyhiä ja pieniä, etteivät ne riitä selittämään murto-osaakaan alueen maaperän

”anomalian” kultamäärästä (Airas 1984, Nenonen 2003, Keinänen *et al.* 2010). Muun muassa ns. Oiva-juonen loppuraportissa todetaan, ettei juoni voi olla alueen kullan ainoa lähde (Keinänen *et al.* 2010).

Useimmat jokilaaksojen väliset tasamaan kullanhuuhtomot Ivalojoen, Laanilan ja Tankavaaran alueella ovat korkeudella 280–320 m m.p.y. (kuva 2). Jokilaaksojen huuhtomot ovat alempina ja siellä voi esiintyä runsaasti kultaa, joka on rikastunut voimakkaasti sekundaarisesti joki- ja rinneprosessien seurauksena



Kuva 2. Huuhdantalupien sijainti suhteessa korkeusvyöhykkeisiin. Ivalojoen, Laanilan ja Tankavaaran huuhdot (tummat haarakkaat kuviot ko. alueilla) ovat pääosin tasolla 280–320 m, Lemmenjoen noin 360–440 m m.p.y. Punaiset täplät osoittavat kultaesiintymiä, joissa on gossanmaisia piirteitä. Mustat viivat ovat Palsiojan siirroksen 29 ja Tankavaaran siirroksen 32 osittain duktiileja jatkeita Keski-Lapissa. Tärkeimmät kultavaltaukset ja -kaivospiirit on nimetty. Lähde: Maanmittauslaitoksen ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston avoimet aineistot.

Figure 2. Relation of placer gold claims to elevation. Claims in the Ivalojoen, Laanila and Tankavaara areas are mainly 280–320 m and in the Lemmenjoki area 360–440 m above sea level. Red points are bedrock gold mineralization with gossan-type weathering. Black lines are semi-ductile extensions of the brittle Palsioja 29 and Tankavaara 32 faults, conformable with the pre-existing structures of the Central Lapland Mobile Belt. Source: Open access resources of the National Land Survey of Finland and the Finnish Safety and Chemical Agency.

nykypäivään asti. Lemmenjoen alueella valtausten korkeus on selvästi suurempi, noin 360–440 m. Siellä kultaesiintymiä on tämänkin yläpuolella esim. Jäkäläpäässä, mutta niiden hyödyntämistä haittaa veden niukkuus. Korkeustasoihin palaamme tuonnempana, kun keskustelemme rapautumisprosesseista ja sekundäärisestä kuljetuksesta.

Kalliokultaesiintymät Lapissa ja muuallakin

Geologian tutkimuskeskus on koonnut merkittävän tietokannan maamme kultaesiintymistä (Eilu 1999, Mineral Deposits and Exploration 2017). Lapissa valtaosa kultaesiintymistä on Keski-Lapin liuske- eli vihreäkivi- vyöhykkeen alueella. Lapin irtokulta-alueilta näitä esiintymiä ei ole kuitenkaan löydetty lukuun ottamatta joitain mitättömiä juonia (Keinänen *et al.* 2010).

Kullan rikastuminen mineralisaatioiksi tai jopa kannattaviksi malmiesiintymiksi liittyy Svekofennialaiseksi nimetyn vuorijononpoimutuksen pää- tai loppuvaiheen aikaiseen, 1,8–1,9 miljardin vuoden ikäiseen kallioperän mekaaniseen eli rakennegeologisen muokautumiseen. Näin syntyneissä halkeamissa ja hiertymissä on virrannut kuumia liuoksia eli fluideja, jotka voivat liuottaa ja kuljettaa huomattavia kultamääriä (Frietsch *et al.* 1997, Ojala 2007).

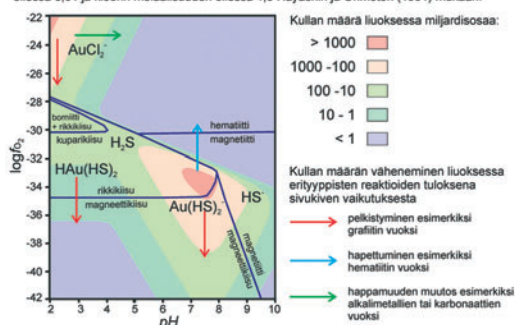
Kulta on fluideissa liuenneena ns. kompleksioinena joko klooriin tai rikkiin ja vetyyn yhtyneenä (Hayashi ja Ohmoto 1991). Vaikka liuoksissa on kultaa ehkä vain vajaan miljoonasosan verran, voi niistä syntyä huomattava kultaesiintymä, jos liuoksen koostumus muuttuu ympäröivän kiven kanssa tapahtuvissa kemiallisissa reaktioissa ja liuosta virtaa kiven läpi paljon. Kulta kiteytyy joko alkuaineiseksi kullaksi omina kiteinään ja muihin mineraalikiteisiin pieninä sulkeumina tai niiden kidehilaan piiloutuneina atomeina. Näin

syntyneissä kultaesiintymissä on tyypillisesti kvartsi- tai kvartsi-karbonaattijuonia tai -juoniverkostoja, joiden läheisyydessä ympäröivä kivilaji on muuttunut. Tällaista muuttumista kutsutaan metasomatoosiksi. Frietsch *et al.* (1997) esittivät, että Suomen, Ruotsin ja Norjan pohjoisosien kultamalmien muodostus liittyisi suurimittakaavaiseen natriumin ja kloorin lisäykseen kultapitoisista fluideista sivukiviin, jolloin niihin syntyisi mm. albiittia ja skapoliittia. Näitä mineraaleja esiintyy erittäin runsaasti useita Pohjois-Fennoskandian malmia ympäröivissä muuttumisvyöhykkeissä. Kulta olisi liikkunut klooriin yhtyneenä ja kloorin joutuessa sivukiviin ei kulta enää ole liukoista vaan kiteytyy.

On tosin mahdollista, että myös rikki ja vety ovat joissain tapauksissa olleet kultan kantajina fluideissa (Hayashi ja Ohmoto 1999). Tällaista liikkumista edesauttaa fluidin hiilidioksidipitoisuus (Phillips ja Evans 2004, Phillips ja Powell 2010), ja hiilidioksidin ja rikin saostuessa karbonaateiksi ja sulfideiksi kultan liukoisuus pienenee ja se kiteytyy. Näin syntyneissä juonissa on sulfidimineraaleja, karbonaattia ja vedettömiä kalkkisilikaattimineraaleja. Esimerkiksi Raahen Laivakankaan esiintymä voisi olla tällä tavoin syntynyt (Mäkelä 1984, Matikainen 2013). Hayashin ja Ohmoton (1991) laatima kuvaaja kertoo, millaisissa oloissa kultaa liukenee fluidiin paljon. Kuvas- sa 3 olemme täydentäneet sitä havainnollistamaan millaiset muutokset fluidissa aiheuttavat kultan saostumisen.

Maaperän kultaesiintymillä on aina kallioperässä oleva (tai ollut) lähde, josta käytetään myös nimitystä emäkallio. Lapin irtokulta-alueilla ongelmallista on, ettei emäkalliota ole löytynyt 150 tutkimusvuoden uurastuksesta huolimatta. Laanilan alueella on toki saatu viitteitä mitättömistä esiintymistä, joiden katsotaan liittyvän kallioperän ruhjevyyhykkeissä oleviin pääosin lounais-kaakkosuunta-

Kullan liukoisuus 300 °C:ssa hapen osapaineen ja happamuuden suhteen rikin molaalisuuden ollessa 0,01 ja kloorin molaalisuuden ollessa 1,0 Hayashin ja Ohmoton (1991) mukaan.



Kuva 3. Kullan liukoisuus erilaisina kompleksioneina fluidiin sen happamuuden (pH) ja hapetus-tilan ($\log fO_2$) mukaan. Nuolet osoittavat, kuinka kulan liukoisuus laskee nopeasti miljoonasosasta miljardiosaan fluidin koostumuksen muuttuessa erilaisten ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Mukailtu Hayashilta ja Ohmotolta (1991).

Figure 3. Schematic representation of how changes in fluid composition due to different wall rock buffers around the fluid channels will decrease the solubility of gold from ppm to ppb level, and result in almost complete crystallization of the gold carried by the fluid. Red arrows = reduction (graphite), blue = oxidation (hematite), green = alkalization (carbonates and other rocks rich in alkaline metals).

siin juoniin. Kairauksissa on saatu vain yhdestä pisteestä merkittävä 6,1 ppm:n eli miljoonasosan pitoisuus (Keinänen *et al.* 2010). Muita merkittäviä pitoisuuksia ovat tutkimusmonttujen pintanäytteistä esim. Hirvasojalla mitatut 4,7 ja 7 ppm (Airas 1984), ns. Oivan juonen montussa 20 ppm (Keinänen *et al.* 2010) ja Kultaojalla 1,6 ppm (Nenonen 2003). Pintanäytteiden ongelma on se, että rapautuneen kallion pintaan voi rikastua kultaa rapautumisprosessissa, joten em. tulokset eivät kiistatta kuvaa kallioperän pitoisuuksia. Tämä on havaittu, ennen kuin Lapissa alkoi edes ensimmäinen kultaryntäys (Calvert 1853). Tämä on selvää myös suhteellisen tarkoin tutkitussa Mäkäärövan esiintymässä, jossa parhaat kultapitoisuudet olivat tutkimusmontun pohjalta hematitirikkaassa aineksessa (Sarapää ja Sarala 2013, Vesilahti 2016)

Kullan suhde rapautumisprosesseihin, paleoilmastoon ja paleoeroosiotasoihin

Hyvin pitkäaikainen, jopa miljoonia vuosia kestävä kultapitoisen kallioperän rapautuminen rikastaa kultaa maaperään. Tämä tapahtuu vain kuumassa ja kosteassa ilmastossa. Kallioperän liukoiset aineosat kulkeutuvat veden mukana pois, ja paikalle jää vain liukene maton aines. Hyvin pitkälle edenneen rapautumisen tuotetta kutsutaan lateriitiksi, jos se sisältää runsaasti rautaa ja bauksiitiksi, jos se sisältää runsaasti alumiinia. Näiden kerrostumien alla on usein heikommin rapautunutta ainesta, josta voi usein erottaa entisen kallion piirteitä. Tätä kutsutaan rapakallioksi tai saproliitiksi. Malmiesiintymien päällä olevaa rapaamaa kutsutaan yleisnimityksellä gossan ja se voi olla erittäin kultapitoista, koska malmeissa on usein jo valmiiksi korkea kultapitoisuus. Esimerkiksi Espanjassa sijaitsevan Las Crucesin sulfidimalmiesiintymän yläpuolella olevassa n. 20 m paksussa gossanissa on keskimäärin 6 ppm (miljoonasosan) kultapitoisuus, kun pitoisuus alapuolisessa malmissa on vain 0,3 ppm. Gossanin pohjalla pitoisuus on jopa 350 ppm eli yli tuhatkertaisesti malmin alkuperäisestä pitoisuudesta rikastuneena (Yesares *et al.* 2015).

Kaikista edellä mainituista primääririkastumista kulta voi rikastua edelleen sekundäärisesti erilaisissa prosesseissa. Veden virtaus on näistä tärkein, koska vesi on tehokas keveitten aineiden, esimerkiksi alumiinirikkaitten mineraalien kuljettaja. Maaston suuret korkeuserot eli jyrkkä topografia helpottaa tätä rikastumista. Alkuperäiselle paikalle tai vain vähän siitä liikkuneeksi jää vain korkean ominaispainon mineraaleja eli ns. raskasmineraaleja. Tällaisista kerrostumista käytetään nimitystä upa (engl. placer). On ymmärrettävää, että parhaimmat upakultamalmit ovat poikkeuksetta

syntyneet primäärästi kullalla rikastuneiden kivien rapautumistuotteiden uudelleen kerrostamisesta (Knight *et al.* 1999a).

Hippitutkijoiden varsin yleinen käsitys on, että sekundääristen eli upaesiintymien kultahiput ovat syntyneet tällaisen kaksivaiheisen prosessin seurauksena kallioperän kultaesiintymistä. Tätä osoittaa niin hippujen pyöristymisasteen vaihtelu kuin niiden kemiallisen koostumuksen samankaltaisuus tiettyihin kallioperän esiintymiin (esim. Knight *et al.* 1999a,b). Hippujen koostumuksen ja sulkeumamineraalien perusteella on voitu jopa määrittää alkuperäisten kalliokultaesiintymien syntytapa (Chapman *et al.* 2002, 2011). Hippujen yhteys kallioperän kultaesiintymiin on tietysti selkeä esiintymissä, joissa rapautunut aines ei ole liikkunut sekundäärisesti paikaltaan (gossan, lateriitti) tai on liikkunut vain vähän ns. elluviaalisissa ja kolluviaalisissa kerrostumissa (Knight *et al.* 1999a,b, Larizzatti *et al.* 2008, Craw *et al.* 2017).

On myös esitetty, että suuret hiput olisivatkin syntyneet tai ainakin kasvaneet lateriittirapautumisen aikana sadeveten liuenneesta kullasta (Prospectors' & Miners' Association Victoria 2017). Perusteena on esitetty, että kallioperästä ei löydy niin suuria hippuja ja niin paljon kuin upa- tai lateriittiesiintymistä, ja tämä käsitys oli hyvin vallalla juuri Victorian kultakentillä Australiassa 1800-luvun lopulla. Sen ovat kuitenkin kumonnet mm. Weston (1992), Henry ja Birch (2007) sekä Hough *et al.* (2007). Vaikka suurin irtokulta-hippu Welcome Stranger sisälsikin noin 71 kg kulta, on kalliostakin Victoriassa toki löytynyt 19 kg painoinen Lady Don -kultakimpale (Dunn 1912, Henry ja Birch 2007).

Toinen peruste hippujen oletetulle syntymiselle maaperässä niiden löytöpaikalla eli ns. supergeeniselle synnylle on ollut hippujen puhtaus. Lapin ja muiden upaesiintymien kulta on sangen puhdasta verrattuna kalliope-

rän kultaan, joka on usein suhteellisen hopeaja/tai kuparipitoista. Kuitenkin esim. Tamminen (1986) on todennut, että Lapin hipuissakin puhtaus rajoittuu hippujen ohueen pinta-kerrokseen ja etenkin hippujen sisäosissa esiintyy erittäin helposti rapautuvia mineraaleja, joita ei voi syntyä supergeenisissä oloissa. Kun samojen hippujen pinnan epäpuhtauksina on runsaasti pitkälle menneessä lateriittirapautumisessa syntynyttä mineraaliainesta, on ilmeistä, että rakeet ovat syntyneet maan sisäisissä eli hypogeenisissä oloissa ja kultarikas kehä on lateriittituumisen aikainen sekundäärinen, supergeeninen piirre. Kehät voivat periaatteessa syntyä kullan saostumisella lateriittiin joutuneiden kalliosta peräisin olevien hippujen ympärille, hippujen pintaosien sähkökemiallisella uudelleen kiteytymisellä tai hopean ja kuparin liukenemisella pintaosasta (Larizatti *et al.* 2008). Kehien esiintyminen hippujen halkeamien ympärillä ja monikiteisten hippujen kiderajoilla näyttäisi todistavan viimeisen mahdollisuuden puolesta ainakin tutkituissa tapauksissa, joissa hippujen koko vaihteli mikroskooppisista yli 8 kg painoisiin (mm. Hough *et al.* 2007, Larizatti *et al.* 2008). Hippujen kuljetuksen aikaisen deformaation on todettu suosivan kultarikaiden kehien syntymistä, joten kullan puhtaus saattaa paremmin olla todiste hippujen pitkästä kulkutumishistoriasta kuin paikallisuudesta (Stewart *et al.* 2017).

Kulta voi kuitenkin sopivissa oloissa liueta pohjaveteen ja esimerkiksi Australian Victorian osavaltion eräiden kultamalmialueiden vesissä on selvästi normaalia korkeammat kultapitoisuudet (Arne *et al.* 2009). Kohtuullisen suuriakin kultahippuja voi syntyä kullan liukenemisella ja uudelleen kiteytymisellä, mutta tämä rajoittuu välittömästi rikkipitoisten sulfidikultamalmien rapautumavyöhykkeeseen (Craw ja Kerr 2017). Tutkimukses-
saan Mäkärrövan malmiaiheesta Lapista Sa-

rapää ja Sarala (2013) kuvaavat sekundaäri-
sesti kasvaneita, dentriittisiä noin 0,2 mm pi-
tuisia kultarakeita. Nämä voisivat edustaa
Mäkärärovan kvartsi-rikkikiisujuonen rapau-
tumisessa syntynyttä supergeenista kultaa,
mutta toisaalta tällaisessa rikkipitoisessa ympä-
ristössä nopeat hapetustilan muutokset ai-
heuttavat primäärienkin dentriittisten kulta-
rakeiden syntymisen (Chapman *et al.* 2002).
Kuvassa 6B esitetyn sekahipun kaltaiset rakeet
ovat toisaalta yleisiä Crawin ja Kerrin (2017)
kuvaamien sulfidimalmirapautumien super-
geenisessä rikastumisvyöhykkeessä, missä la-
teriittinen rapautuminen tuottaa runsaasti
Lapin kultahippujen pintaosissa esiintyvän
kaltaista ainesta (Tamminen 1986, Kangas
2012). Siksi monet piirteet Lapin kultahipuissa
sopivat siihen, että ne olisivat rikastuneet sul-
fidipitoisen malmin rapaumavyöhykkeeseen
osin malmin primäärihipuista, mutta ainakin
joltain osin rapaumasprosessien synnyttäminä.
Toisaalta etenkin kvartsipitoiset sekahiput
(Kinnunen 2000, Kinnunen *et al.* 2008, tä-
män artikkelin kuvat 5 ja 6A) viittaavat sii-
hen, että osa rakeista voisi olla hyvin primää-
riä kvartsijuonityyppisten esiintymien kultaa.
Hippujen luonteen perusteella on siis hyvin
mahdollista, että hipuilla on useita eri lähtö-
malmityyppejä kallioperässä. Lisäksi pieni osa
hipuista voi olla supergeenisesti sulfidipitoi-
sesta malmista syntynyttä. Tällaisia voisivat
ainakin osittain olla Sarapään ja Saralan (2013)
Mäkärärovan esiintymästä kuvaamat kultahip-
pujen pinnassa esiintyvät omamuotoiset, alle
0,1 mm:n kokoiset kultarakeet.

Kullan esiintyminen Lapin maaperässä

Maalajit

Ensimmäiset kulturalöydöt tehtiin Ivalojoen
hyvin lajittuneista soraesiintymistä. Kultaa
esiintyy kaikissa lajittuneissa maalajeissa, työn-

arvoisesti luonnollisesti kivikossa ja karkeassa
sorassa mutta joskus myös hienossa sorassa.

Vasta Tankavaaran kultaesiintymän tutki-
muksessa 1940-luvulla huomattiin, että hyö-
dynnettävää kultaa esiintyy myös moreenissa.
Kultaa on löydetty hyvin erilaisista moreeneis-
ta, kuten hienoainespitoisista pohjamoreeneis-
ta sekä lajittuneita kerroksia sisältävistä löysis-
tä ablaatiomoreeneista (kuva 4).

Useimmin kultaa kaivetaan erilaisista se-
kamaalajeista. Tyypillisiä sekamaalajeja ovat
hyvin huonosti lajittuneet sorat. Näiden raeko-
kojakaumaa ilmentävä seulontakäyrä on sa-
manlainen kuin moreenilla, mutta kultapitoi-
sten kerrostumien muodot ovat soraesiintymille
ominaisia, kuten uoman pohjia, särkkiä, del-
toja ja sandureita. Huonoa lajittumista selit-
tää lyhyen virran kuljetuksen lisäksi se, että
osa virtauksista on ollut hyvin vähän vettä si-
sältäviä massa- eli ns. debris flow -virtauksia.
Tällaisia ovat tyypillisesti mm. Palsiojan kul-
taesiintymät.

Samankaltainen sekamaalaji syntyy, kun
lajittunut maa morenisoituu. Aines on selväs-
ti geneettisesti moreenia, mutta siinä on sil-
miinpistävän paljon pyöristyneitä kiviä ja usein
myös poikkeuksellisen paljon granuliittika-
aren ulkopuolelta tulleita vihreäkivivyöhykkeen
kiviä. Hyviä esimerkkejä tästä ovat Tankavaa-
ran ylin moreeni ja Miessiojoen maa-aines.

Lemmenjoelle on lisäksi tyypillistä jyrk-
kien laaksojen täytteet, joiden raekokojakauma
on moreenille ominainen mutta jotka ovat sel-
västi rinneprosessien kerrostama. Rajanveto
moreeniin ja rinneprosessin kerrostamaan ai-
nekseen on yleisesti vaikeaa tai mahdotonta.

Muodostumat ja kullan asema muodostumassa

Aluksi kullankaivu keskittyi Ivalojoen ja sen si-
vujokien terasseihin, kallion pintaan, muina-
siin paleosärkkiin sekä nykyisiin särkkiin.
Esiintymät olivat hyvin rikkaita ja helposti



Kuva 4. Esimerkkejä kultapitoisista moreenimaalajimuodostumista. (A) Välittömästi rapakallion eli saproliitin yläpinnalla oleva kultarikas n. 10 cm paksu kerrostuma eli pay streak (*) Lauttaojan varresta noin 100 m Tankavaaran kultalöytömuistomerkistä alavirtaan (287 m m.p.y.). Sen yläpuolinen maalaji on huomasti lajittunutta, hyvin karkeaa moreenia. Sekä pay streak että moreeni ovat alueelle tyypillisesti lateriittistä peräisin olevan rautaoksidin punaiseksi värjäämää. (B) Laikukasta kultapitoista hienohkoa moreenia Suolaajalta (267 m m.p.y.). Moreeni sisältää lateriittisen omaisia hyvin pitkälle rapautuneita pehmeitä osueita, jotka ovat ilmeisesti olleet kulkeutuessaan jäässä, koska ne eivät ole sekoittuneet muuhun ainekseen.

Figure 4. Gold bearing tills from Lapland. (A) Approximately 10 cm thick pay streak immediately above saprolitic khondalite, covered by a boulder-rich coarse till, Lauttaoja at Tankavaara. Sorting of the material is poor and it contains boulders from highly variable source rocks. (B) Patchy heterogeneous gold bearing till from Suolaaja. Soft, red patches possibly represent lateritic soil fragments which were drifted frozen.

hyödynnettäviä mutta lopulta kooltaan pieniä.

Ohuissa särkissä ei ollut mahdollista erottaa pinta- ja pohjakultaa toisistaan, mutta paksummissa särkissä ja varsinkin terasseissa todettiin kansainvälisten oppien pinta- ja pohjakullasta toimivan (The Colliery Engineering Company 1897).

Pintakulta on yleensä hyvin ohut (5–30 cm) erittäin kultapitoinen kerros. Pintakulta on särkässä tai terassin laidassa oleva sorahuuhoutuma, joka on syntynyt, kun virta on kulluttanut muodostumaa ja kuljettanut ominaispainoltaan kevyempää ainesta pois.

Ivalojoen ja sen suurten sivujokien placearit ovat ainoita laajoja puhtaita virtaavan veden eli fluviaalisen ympäristön synnyttämiä kultapitoisia kerrostumia ja ne ovat selkeästi syntyneet viimeisen jäätiköitymisen loppuvaiheessa tai myöhemmin. Jäätikön peräydyttyä sulamisvedet virtasivat satojen vuosien ajan

Ivalojoen jokilaakson läpi, kunnes reitti etelään, Ounasjoen ja Kitisen suuntaan avautui. Tässä vaiheessa rikastui nykyisen tulvarajan yläpuolelle rikas ns. pay streak eli kerrostuma, mistä kultaa kannattaa kaivaa. Ivalojoki on ainoa joki, jossa on myös merkittävässä määrin täysin nykyaikaisia placereita – paikoin tulva rikastaa kultaa työnarvoisesti samoihin paikkoihin joka kevät. Ivalojoen alluviaalinen kulta on litteäksi takoutunutta, hyvin kullunutta ja erittäin tasarakeista. Saatu kulta on paikoin kuin seulottua.

Pintakullan alla on usein kullaton tai selkeästi vähemmän kultaa sisältävä kerros. Alla voi toki olla myös rikkaita, linssimäisiä välikerroksia, tai joskus koko laaja kerros voi olla hyvin kultapitoinen, mutta tällaiset tapaukset ovat harvinaisia.

Toinen todennäköinen rikastuma on kallion pinnassa. On tärkeää huomata, että pinta- ja pohjakultaesiintymät eivät liity toisiin-

sa. On paljon paikkoja, joissa on rikas pinta-kultaesiintymä, mutta ei lainkaan pohjakultaa. Ja paikkoja, joissa ei ole lainkaan pinta-kultaa, mutta pohjassa rikas esiintymä. Joskus esiintymät ovat päällekkäin, ja eniten on tietenkin tapauksia, joissa kultaa ei ole pinnassa eikä pohjassa.

Jos alueellisesti pinta- ja pohjakullasta pitäisi tehdä arvioita, niin Ivalojoen alueella on enemmän pintakultaesiintymiä ja Lemmenjoella enemmän pohjakultaesiintymiä. Tankavaaran alueella on enemmän moreenikultaesiintymiä. Kaikilla näillä alueilla on siis kuitenkin kaikenlaisia placereita.

Pohjakulta voi olla virran kuljettamaa ainesta, joka on rikastunut kalliopohjan sopiviin rakenteisiin – luonnon rihloihin. Tällaisessa tilanteessa pinta- ja pohjakultaesiintymät ovat syntyneet suunnilleen samaan aikaan, tyyppillisesti viimeisimmän jäätiköitymisen päättymisen yhteydessä. Usein on myös niin, että pintakultaesiintymä on viimeisimmän jäätikön sulamisvesien synnyttämä, mutta sen alla voi olla useita erilaisia kerroksia ja sorainen pohjakultaesiintymä on jonkin varhaisemman jäätikön sulamisvesien synnyttämä.

Pohjakultaesiintymä voi olla myös moreenia. Tankavaaran vanhalla kullanhuuhdonta-alueella on monin paikoin päällekkäin jopa kolme eri-ikäistä esiintymää. Ylinnä on rikas kultasora tai -kivikko. Sen alla kohtuullisesti kultaa sisältävä pay streak hiekkamoreenissa ja alimmaisena hyvin rikas kultaesiintymä hienoainesmoreenissa, jossa pääasiassa on ainoastaan rapakallioainesta.

Esimerkiksi Jäkälä-Äytsillä on jopa n. 14 metrin paksuisissa maakerroksissa selvästi havaittavissa useita eri patjoja, joita erottaa iskostuneet välikerrokset. Alimpien patjojen materiaali on hyvin rapautunutta, missä selvästi veden pyöristämät päällepäin kovan näköiset kivet saattavat olla niin rapautuneita, että ne hajoavat. Jäkälä-Äytsissä on ollut mi-

tätön pintakultaesiintymä ja lähes kullaton, paksu välikerros, jonka alla on suhteellisen ohut, vain n. 0,5 metrin paksuinen erittäin rikas kultaesiintymä. Ylin pay streak on syntynyt viimeisen jääkauden loppuvaiheessa ja on iältään vain n. 10 000 vuotta. Alimman kerroksen ikää emme tiedä, mutta se on vähintään 100 000 vuotta, mutta todennäköisemmin vanhempi.

Selperinojalla on vastaavanlainen kerrostuma. Ylinnä on jäätikköjoen osittain laaksojään päälle tuoma kumpuileva sorakerros, jossa on kultaa n. 0,1–0,2 g/m³. Sen alla on vaihtelevan paksuinen, lähes kullaton moreenipatja, minkä alla paikka paikoin on hyvin karkeasta ja pyöristyneestä sorasta syntynyt patja. Tämän sorapatjan kivet ovat rapautuneet hyvin tummaksi, ja suuri osa kivistä hajoaa jauhoksi niitä siirrettäessä. Kultapitoisuus tässä alimmassa kerroksessa on useita grammoja kuutiossa. Selperillä on aivan selvää, että sen kaksi eri pay streakia on syntynyt eri aikoina ja materiaalin rakeisuuseron perusteella myös täysin erilaisissa fluviaalisissa ympäristöissä.

Lapin kultahippujen koko, raekokojakauma ja sen vaihtelut

Lapin kultahipuista suurimmatkin ovat alle 400 g painoisia. Suurin osa kullasta esiintyy hyvin pieninä 0–1,5 mm:n pituisina hippuina, joiden paino jää yleensä alle 10 milligramman. Kullankaivajat saavat yleensä varsin hyvin talteen yli 0,75 mm kultahiput. Yli 0,15 mm hippujen saanto vaihtelee menetelmien mukaan, mutta se on viime vuosina parantunut. Alle 0,15 kokoisia hippuja saadaan talteen huonosti ja alle 0,05 mm hippuja vain satunnaisesti. Varsinkin pienissä hipuissa hipun muoto vaikuttaa saantoon hyvin paljon, niin että litteitä menetetään eniten.

Kullan raekoko- ja raekokojakauma vaihtelee valtavasti eri kulta-alueilla. Yksittäisen

esiintymän raekokojakauman perusteella ei voi tehdä mitään yleistyksiä laajemman alueen tai koko Lapin kulta-alueen kullan raekokojaumaista. Lisäksi täytyy muistaa, että kun on analysoitu saatua kultaa, käytetty rikastusmenetelmä vaikuttaa tulokseen. Varovainen lapiorännitys ja konekaivu antavat samalta paikalta toisistaan poikkeavan raekokojakauman, sillä konerännitys parhaimmillaankin hukkaa hienoa kultaa enemmän kuin varovainen lapiorännitys. Lisäksi on selvää, että viime vuosina kasvanut osaaminen ja parantuneet kullalan talteenottomenetelmät, kuten hydrauliset rihlat ja erityisesti expamed-ratkaisut, ovat parantaneet nimenomaan hienon kullan saantia.

Kullan rakeisuus vaihtelee saman esiintymän eri osissa. Usein pintakulta on selvästi hienompaa kuin pohjakulta. Fluviaalisen ympäristön pay streak -nauhaan kuuluu luonnostaan pitoisuuden ja rakeisuuden vaihtelut. Yksittäisen pay streakin alavirran puolen kulta on hienorakeisempaa. Ylävirtaan mentäessä kullan määrä kasvaa, ja kulta muuttuu huomattavasti karkeammaksi ja on karkeimmillaan juuri, kun pay streak päättyy. Ja seuraavassa pay streakissa on taas samanlainen sarja. Tämän ilmiön lisäksi saman placerin yksittäisten pay streakien keskimääräinen raekokojakauma vaihtelee virran eri alueilla. Lauttaoja on hyvä esimerkki tällaisesti paikasta. Jokaisessa pay streakissa on omat rakeisuuden vaihtelunsa, mutta kokonaisuudessaan kulta muuttuu alavirran suuntaan koko ajan hienommaksi, niin että jokilaakson alimmissa osissa suurimmat kultapartikkelit ovat n. 1 mm kokoisia, mitkä ovat vain n. 5 km ylempänä raekokojakauman pienimpiä partikkeleita.

Kaikissa osittainkaan fluviaalisissa ympäristöissä nimenomaan mikrokullan lajittuminen ja hienoimman osan katoaminen ovat selvästi havaittavia. Ivalojoella on paikkoja, missä ei lainkaan tavata esim. alle 1 mm kultaa ja

kaikkialla muuallakin fluviaalisessa ympäristössä hienon kullan ”häntä” katoaa kokonaan. Se mikä osa on noussut suspensioon, riippuu muinaisvirran energiasta ja vaihtelee sen vuoksi selvästi. Esimerkiksi joissakin Lemmenjoen esiintymissä, kuten Miessijoella ja Jäkälä-Äytillä, ei monin paikoin ole mikrokultaa lainkaan, vaikka kaivettava maalaji on useimmiten moreenia. Tähän lienee selityksenä se, että kysymyksessä on moreenisoitunut sora, josta hienokulta on huuhtoutunut jo aiemmin pois.

Heterogeenisestä esiintymästä on paras esimerkki palmikoiva jokilaakso, jossa eri vaiheiden palmikoivia joet ovat kasanneet nipun sedimenttipatjoja, joissa kussakin on palmikoivan ympäristön tuottamia mikro pay streakia. Tämänkaltaisen ympäristö on kuin kultapilkoista koostuva kolmiulotteinen palapeli, joka on lapiokaivajalle täysin mahdoton ymmärtää ja seurata. Kultaa voi muutamassa sadassa litrassa soraa olla kymmeniä grammoja, jonka jälkeen kaikkialla ympärillä on täysin kullatonta useiden päivien ajan. Konekaivussa kaivun mittakaava muuttaa tällaisen paikan kaivun helpommaksi – esiintymätyypin luotettava inventointi sen sijaan on erittäin vaikeaa. Hyviä esimerkkejä tällaisesta palmikoinneesta systeemistä ovat Tolosjoen latva-alueet ja Lauttaojan itäpuolen kultaesiintymät.

Moreeniesiintymät ovat kullan suhteen paljon soramuodostumia homogeenisempia, ja rakeisuuden vaihtelu on niissä suurinta: samassa esiintymässä on yhtä aikaa hyvin kookkaita hippuja ja toisaalta paljon pölykultaa, mikä vaihettuu silmin näkymättömäksi mikrokullaksi. On kuitenkin väärin ajatella, että kulta esiintyisi moreenissa täysin homogeenisesti. Toki se on paljon homogeenisempaa kullan suhteen kuin esimerkiksi sora, mutta kultapitoisuuden vaihtelut voivat moreenissakin olla suuria. Tilanne on jopa vaikeampi kuin edellä kuvatussa palmikoivan joen laaksontäytyksessä, jossa maalajin rakeisuusvaihteluista voi

joskus saada edes vähän osviittaa.

Moreenissa kultaa on paikoin erittäin paljon ja sitten se yllättäen loppuu ja alkaa jälleen aivan yhtä yllättäen. Todennäköisesti moreenin vaihteleva kultapitoisuus kertoo jääkautta edeltävän primääriesiintymän pitoisuusvaihteluista, olipa esiintymä sitten rapautunut kultapitoinen juoni(verkosto) saproliittissa, sulfidiesiintymän päälle syntynyt gossan tai rapautumispaikalla mekaanisesti rikastunut placer eli ns. residuaaliplacer. Tällaisia kullan suhteen ”laikukkaita” ovat Vuotson Mäkärän kultapitoiset moreenit. Sen sijaan Tankavaaran yläkaivoksen ja ennen kaikkea Lemmenjoen moreenit ovat homogeenisempia. Tämän voi tulkita johtuvan siitä, että niissä kysymyksessä on ns. välittäjä-placerista syntynyt moreeni eli moreeni, jonka kulta on peräisin moreenin kerrostumista edeltäneistä kullalla rikastuneista maalajeista.

Kultahippujen raekokojakaumasta ei ole juurikaan tutkimuksia. Saarisen (1981) Sotajoen Risto Vehviläisen valtaukselta tutkimasta yli 8000 hipun aineistosta alle 1,5 mm suuruisen hippujen yhteispaino oli noin 89 prosenttia hippujen kokonaismassasta. Seulomalla eritellyistä kultahipuista 0,5–0,75 mm kokoisten rakeiden joukko oli kaikista painavin, ja raekokoluokkien paino-osuus pieneni tästä raekokoluokasta hienompaan ja karkeampaan ns. normaalijakauman mukaisesti.

Lundgren (2015) keräsi käsinäytteenotolla moreeninäytteitä neljästä esiintymästä Finnmarkista Karasjoen läheisyydestä. Hän mittasi aineistossa kultarakeiden määrän eri raekokoluokissa. Olemme muuntaneet aineiston käyttökelpoisempaan raekokoluokkien kokonaispainojakaumaa kuvaavaan muotoon ja analysoineet jakauman. Se muodostuu kahdesta, keskikooltaan 1 mm:n ja 0,25 mm:n suuruisen rakeiden normaalijakauman mukaisesta joukosta. Tämä viittaa siihen, että kallioperälähteessä voisi olla esiintymistavaltaan kaksi

erilaista lähdemalmityyppiä, esimerkiksi karkearakeisempia (kvartsi)juonityypin esiintymiä ja hienompia pirotetyypin esiintymiä, joista lähtenyt materiaali olisi sekoittunut moreenin jäätikkökuljetuksen aikana.

Mielenkiintoista tässä aineistossa on, että molempien hippujoukkojen kokonaispaino on lähes samanlainen, joten malminetsinnällisessä mielessä alueella kannattaisi yhtä lailla hakea kultapitoisia pirotetyypisiä malmeja kuin juonityypisiä ns. orogeenisia eli vuorijononmuodostukseen liittyviä kultamalmeja. Kaiken kaikkiaan raekokojakaumatutkimuksia tarvittaisiin lisää, ja niissä pitäisi käyttää samaa näytteenkeräys ja -käsittelymenetelmää.

Lapin kultahippujen muoto ja koostumus

Hiput ovat yleensä reunoiltaan melko pyöristyneitä riippumatta hipun koosta. Suurimmista hipuista selvimmin pyöristyneitä ovat granulitiikivilajivyöhykkeen lounaisreunasta kaivumpaa löytäneet Aleksi, Evert (Laanilan alue, Saariselkä) ja Unna (Sotajoki). Etenkin jälkimmäisen pyöristymisen on tulkittu kertovan korostetusta jäätikkökuljetuksesta (Kinnunen *et al.* 2008). Lähempänä granulitiitijakson reunaa hipuissa on enemmän särmikkyyttä, joka on hyvin ilmeistä esim. Lemmenjoen alueelta kesällä 2017 löytyneissä isomuksissa (Lapin Kansa 14.8.2017 ja 15.8.2017) sekä samalta alueelta v. 2004 löytyneestä Tähtihipussa (Kinnunen *et al.* 2004). Lapin kultahippujen muoto vaihtelee lähes ellipsoidisista dentriittisiin eli haarakkaan oksamaisiin, mutta myös näissä kohtuullisen särmikkäissä hipuissa on yleisesti erilaisia kulumisen ja deformaation merkkejä kuten reunojen pyöristymistä (kuva 5). Tämä pitää paikkansa myös hyvin pienten hippujen suhteen.

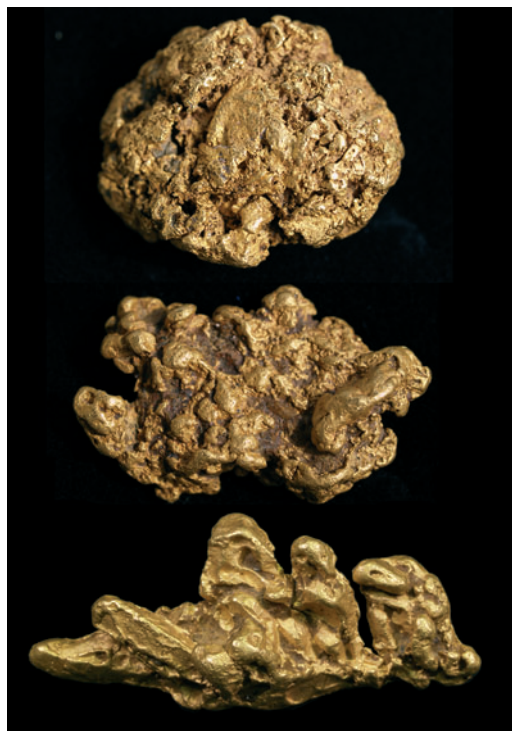
Hippujen muodossa on alueellisia erityispiirteitä. Tankavaaran ja Mäkärän hiput ovat yleensä pyöreähköjä ja särmikkäitä, jopa rei-

käisiä, Ivalojoen hiput ellipsoidisia, tiiviitä ja pyöristyneitä, tai litteiksi takoutuneita, Sotajoen ja Laanilan alueiden hiput ellipsoidisia, tiiviitä ja pyöristyneitä, sekä Lemmenjoen hiput dentriittisiä (litteähköjä) ja vaihtelevasti, yleensä vain vähän pyöristyneitä. Tästä on hyviä esimerkkikuvia yllämainituissa julkaisuissa sekä mm. Kinnusen (1996, 2000) tai Kinnusen *et al.* (2008) töissä, lukuisissa yleis-tajuisissa Lapin kultaa käsittelevissä teoksissa sekä useilla verkkosivuilla (esim. Hakku 2018). Elektronimikroskoopilla otettuja kuvia pienemmistä Lapin kultahipuista on mm. Saarniston ja Tammisen (1985), Niskan (2006) ja Sarapään ja Saralan (2013) töissä, joista kahdessa viimeksi mainitussa on esimerkkejä myös hyvin läheltä oletettua lähdekalliota moreenista tai rapautuneesta kalliosta kerättyistä hipuista, joita jäätikkö- tai muu kuljetus ei ole suuresti-kaan muokannut. Tällaisille hipuille on ominaista särmikkyys, dentriittinen muoto ja jopa

selvien kidepintojen esiintyminen.

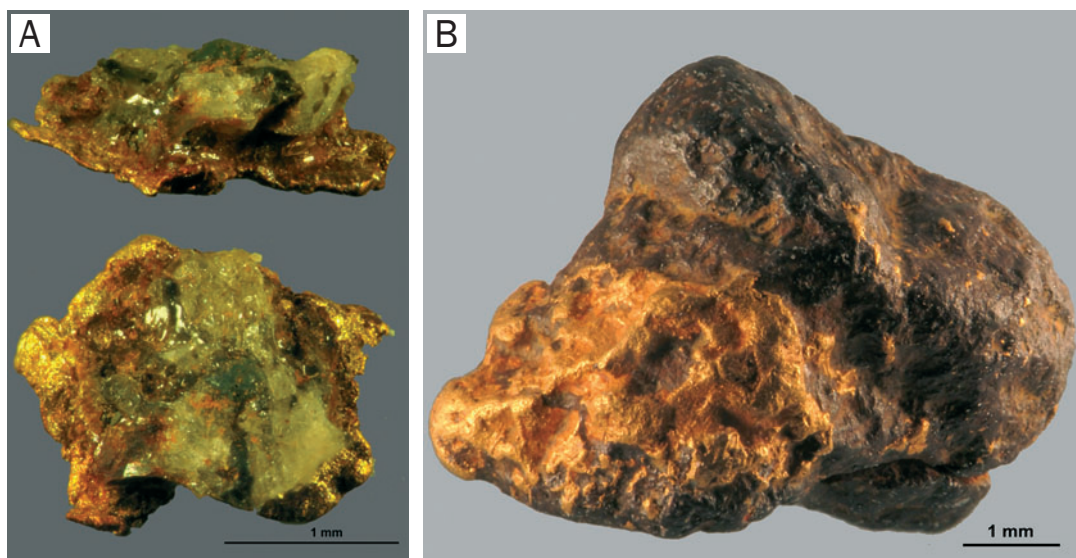
Samasta esiintymästä voi löytyä hyvin erilaisia kultapartikkeleita. Esimerkiksi Lauttaojan rakenteeltaan pesusienimäinen Aslakin uni (kuva 5) löydettiin paleosärkästä ja huomattava osa saman särkän kullasta oli selvästi tiivistä, pyöristynyttä ja kulunutta. Samoin esimerkiksi Jäkäläojalla on selvästi kahdenlaista kultaa: yläjuoksulla ainoastaan dentriittimäistä, hieman pyöristynyttä kultaa (vrt. Miessijoen kulta) ja Pihlajakurun alapuolella lisäksi pyöristyneitä, tiiviitä möykkyjä, joiden joukossa on paljon kullan ja rautamineraalien seka-hippuja (vrt. kuva 6). Kultahipun muoto kuvastaa selvästi sekä primäärilähteen kullan ulkonäköä että kulkeutumishistoriaa. Niskan (2006) työssä on hyviä kuvasarjoja kuljetuksen vaikutuksesta maaperän kultahippujen muotoon.

Lapin kultahiput ovat pintaosistaan yleensä varsin puhdasta kultaa (jopa yli 99 prosent-



Kuva 5. Lapista löytyneitä 17–30 g painoisia isomushippuja, joiden muoto vaihtelee ylimmän hipun (Janne Kannisto, Aslakin uni, Lauttaoja) lähes ellipsoidin muotoisesta alimman (Pekka Turkka, Miessijoki) oksamaiseen eli dentriittiseen. Kaikki ovat kuitenkin särmiltään pyöristyneitä, mikä osoittaa niiden joutuneen muiden kivikappaleiden kulluttamiseksi rapakalliosta irtautumisen jälkeisen, todennäköisesti kohtalaisen pitkän kulkeutumisen aikana. Hippujen, etenkin keskimmäisen (L. ja E. Ollila, J. Kangas, Miessijoki), koloissa on rapautumasta jäänteenä ruskeaa, lähinnä savimineraaleista koostuvaa ainesta, joka osoittaa rapautumisen edenneen hyvin pitkälle. Varsinkin ylimmän hipun pinnassa on joitain kvartsikiteitä jäänteenä mahdollisesta juonikvartsista.

Figure 5. 17–30 g nuggets, varying in shape from nearly perfect ellipsoid to dendritic. All are rounded at edges, indicating abrasion or malleation during erosion and transport. Brown soil in the pits usually has a chemical composition near that of the kaolinite polymorphs and is considered to be evidence of a prolonged weathering event during erasure from the parent rock. Some quartz grains in the surface of the nuggets probably indicate that the nuggets were mostly derived from quartz reef deposits in the bedrock.



Kuva 6. Pienehköjä sekahippuja. (A) Litteä, runsaasti kvartsia sisältävä hippu Köysihaaran latvoilta. (B) Götiittiä ja hematittiä sisältävä pyörästynyt hippu Miessijoenalta.

Figure 6. Small nuggets with relatively great amount of gangue minerals. (A) Quartz-bearing, flat jagged nugget from the headwaters of Köysihaara at Ivalojoen area. (B) Well-rounded, goethite and hematite bearing nugget from Miessijoki at Lemmenjoen area.

tia kulta). Ohuen pintakerroksen alla kultaan on kuitenkin yleisesti sekoittunut etenkin hopeaa ja kuparia, niin että kultapitoisuus voi jäädä alle 90 prosentin. Puhtaasta kullasta koostuvan ohuen, vain joidenkin kymmenien mikrometrien paksuisen kuoren ja enemmän muita aineita sisältävän sydämen raja on usein hyvin selkeä ja terävä (Tamminen 1986, Saarnisto ja Tamminen 1985, 1987, tämä tutkimus). Joistakin hipuista kultarikas kehä kuitenkin puuttuu kokonaan. Tällaiset, enintään 10 prosenttia hopeaa sisältävät hiput ovat yleisiä joissakin Lemmenjoen alueen irtokultasiintymisissä (Tuisku 2010, Kangas 2012).

Hippujen koloissa on yleensä epäpuhtautena rapaumamateriaalia, jonka alkuainekoostumus ja etenkin piin, hapen, ja alumiinin määräsuhteet viittaisivat rapautumisen koostuvan pääosin kaoliiniittiryhmän savimineraaleista. Hippujen pintaosissa esiintyy sulkeumina etenkin kvartsia, mutta sen lisäksi on tunnis-

tettu myös lukuisia muita silikaattimineraaleja. Kinnusen (1996) mukaan yleisimpiä ovat epidootti ja kloriitti ja epäsilikaateista vismutti ja vismuttitelluridit. Tämän lisäksi omista analyyseissämme on löytynyt mm. albiittimaa-sälpää, biotiitti- ja muskoviittikiilleitä sekä tremoliittiamfibolia. Korostettakoon tässä kuitenkin sitä, että hippujen pintaosien yleisin mineraali on ilmeisimmin kaoliiniittiryhmään kuuluva, trooppisissa ja subtrooppisissa ilmastossa tapahtuvalle lateriittiselle rapautumalle ominainen savimineraali. Rapautumiselle herkkiä mineraaleja kuten kiisuja on löytynyt vain hippujen sisäosista (Saarnisto ja Tamminen 1985).

Joissakin kultahipuissa on sivukiven mineraaliainesta. Yleisin mineraali sekahipuissa on kvartsi, jota esiintyy useissa isomuksissa kuten Virtasen ja Sotajoen sekahipuissa (Kinnunen 2000, Kinnunen *et al.* 2008). Pie-nissä hipuissa sekahiput ovat huomattavasti

harvinaisempia hippujen määrään suhteutettuna, mutta joissakin muutaman millimetrin mittaisissa hipuissa voi olla runsaastikin sivumineraaleja (kuva 6).

RapauMAProsessit kullan rikastajina Lapissa

Koska rapautumisprosessit rikastavat voimakkaasti kultaa, sulfidimalmien gossanmuodotuksessa syntyvä rikastumiskerros on yleensä paljon kultapitoisempi kuin primääri malmi. Hyvä esimerkki tästä on massiivisista sulfidiesiintymistään tunnettu Pyreneiden niemimaan ”rikkikiisu”-vyöhyke eli ”Iberian Pyrite Belt” (Velasco *et al.* 2013). Koska sulfidimalmit ovat yleensä huomattavasti kultapitoisempia kuin normaali kallioperä, tuottaa sulfidimalmeja sisältävän kallion rapautuminen irtaimiin maalajeihin runsaasti kultaa. Myös juonityyppisiä kultaesiintymiä sisältävä kallioperä tuottaa runsaasti kultaa maa-ainekseen. Australian Victorian osavaltion kultainen kolmio on erinomainen esimerkki tällaisesta alueesta (Weston 1992).

Kullan rikastumisen edellytyksiä ovat sopiva kallioperää rapauttava ja siitä aineksia liuottava ilmasto ja toisaalta tarpeeksi hidas rapautumisprosessi. Parhaimmin tämä toteutuu lämpimässä, trooppisessa tai subtrooppisessa ilmastossa, jossa kallioperä kohoaa hitaasti merenpinnan suhteen. Juuri Victorian alueella on todettu, että osavaltion läntiseen osaan on syntynyt paljon irtokultaesiintymiä, koska se on kohonnut hyvin hitaasti, kun taas itäisen nopeammin noussut osa ei sisällä lähellekään niin paljon irtokultaesiintymiä (Phillips *et al.* 2003, Henry ja Birch 2007). Victorian alueella alluviaalisen eli jokiupan pääasiallinen lähde on orogeeninen ns. mesotsonaalinen juonimalmityyppi, joka on syntynyt 6–12 km:n syvyydessä kallioperässä, joskin alueella esiintyy myös useita muita kultamalmien pää-

tyyppejä (Moore 2007, Lisitsin *et al.* 2010). Näiden seikkojen vuoksi Victoria on maailman rikkaimpia irtokulta-alueita.

Vaikka kallioperäkullan ikä on Victoriasa paljon nuorempi kuin Lapissa, on näiden alueiden rapauMAProsesseilla paljon yhteistä ja myös perimmältään yhteinen syy: mannerlaattojen liike ja niiden erkaneminen viimeisten noin 100 milj. vuoden aikana. Victorian kalliokultaesiintymät syntyivät paleotsooisena maailmankautena noin 455–370 milj. vuotta sitten nk. Lachlan-vuorijonon muodotuksessa (Willman 2019). Mesotsooisena aikana (252–66 milj. vuotta sitten) alueen kallioperä rapautui syvälle ja maisema tasoittui, jolloin kallioperän kulta joutui rapakallioon ja lateriittiin. Maan vaipan konvektiovirtaukset aiheuttivat Australian ja Etelänapamantereen erkanemisen toisistaan seuraavana eli varhaiskenotsooisena aikana noin 60 milj. vuotta sitten. Samalla maankuori alkoi kohota ja alueen topografia jyrkkeni. Ensimmäiset huomattavat upakultarikastumat syntyivät varhaiskenotsooisessa, jyrkenteessä ja suhteellisen loivalaaksoisessa maisemassa. Kun kallioperä edelleen kohosi keskikenotsooisena aikana, uurtui tähän maisemaan syvempiä jokilaaksoja, joissa sijaitsevat kultarikkaimmat, paikallisen käsitteistön mukaiset ns. shallow lead ja deep lead -upaesiintymät (Taylor ja Gentle 2002). Shallow ja deep tarkoittavat sitä, onko esiintymä laaksoissa lähellä maanpintaa vai peittyntä myöhemmillä kerrostumilla.

Samanlainen ja lähes samanaikainen kehitys tapahtui myös Lapissa, jossa kohoaminen alkoi noin 70 milj. vuotta sitten ja liittyy Norjan Kaledonidien sekundääriseen nousuun, kun Pohjois-Atlantin valtameri alkoi syntyä Grönlannin ja Pohjois-Euroopan irrotesa toisistaan (esim. Faleide *et al.* 2008). Tätä ja myös aikaisempaa maan kuoren kohoamista on selvitetty mm. radioaktiivisten alkuaineisotooppien hajoamisen tuottamien hiuk-

kasten apatiittimineraaliin aikaansaamalla kiderakenteen tuhoutumisjäljillä, jotka kertovat ajan, jolloin apatiittia sisältävät kivet ovat kohonneet maanpinnan lähelle (Hendriks *et al.* 2007). Fennoskandian maankuoren kohoamiskehitystä voidaan selvittää myös Maan pinnamuodoista ja sedimenttien, sedimenttikivien ja kalliorapaumien kerrosjärjestyksestä (Lidmar-Bergström 1995, 1996, Lidmar-Bergström *et al.* 1997, 1999, Olesen *et al.* 2012, 2013). Kohoamiskehitys paljastaa sen, koska kallioperä on ollut alttiina pitkäaikaiselle rapautumiselle ja koska maanpinnan nopea nousu on altistanut rapautumistuotteet mm. jokieroosiolle, joka on voinut rikastaa edelleen rapautumisessa kalliosta irronneita kultahippuja. Koska voimakasta kalliorapautumista tapahtuu vain hyvin lämpimässä ilmastossa ja vain veden pinnan yläpuolella, täytyy myös maapallon ilmaston kehitys, merenpinnan tason vaihtelut ja mannerlaattojen liikeradat tuntea (esim. Prokoph ja Veizer 1999, Pesonen *et al.* 2003, Scotese 2016).

Fennoskandian alueella on ollut useita pitkäaikaisia rapaumavaiheita. Suuri osa Fennoskandian kilven eteläosista kului lähes meren pinnan tasoiseksi tasangoksi jo kambrikautta edeltäneenä aikana yli 600 milj. vuotta sitten, ja myös Lapin kulta on alkanut rikastua jo tuon ajan rapautumisessa. Tätä nuorempana faneerotooisena aikana oli useita rapautumisvaiheita. Lapin kalliokultaesiintymien rapautumisen tärkein vaihe lienee ollut kuitenkin mesototooisena aikana n. 250–60 milj. vuotta sitten, kun ilmasto oli hyvin lämmin ja kostea. Tästä ns. esiliitukautisesta rapautumasta on hyviä jäänteitä Etelä-Skandinaviassa, liitukautisten n. 145–65 milj. vuotta sitten mereen kerrostuneiden kalkkikivien alla (Lidmar-Bergström 1995, 1996). Rapautumisen mahdollisti kuoren hidas kohoaminen varhais- ja keskimesototooisena aikana ennen liitukauden alkua (Rohrman *et al.* 1995).

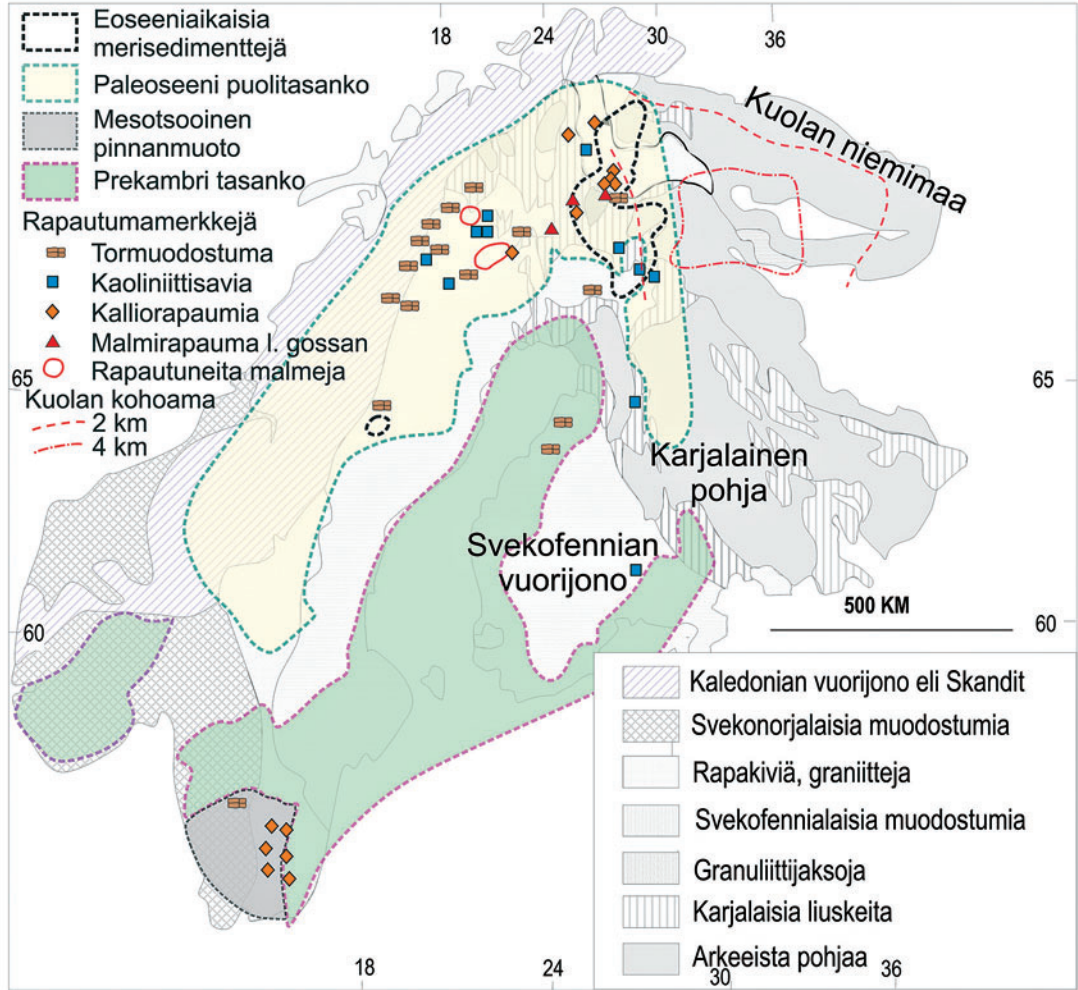
Kenototooisen (65–0 milj. v.) ajan alussa nk. paleoseeniaikana (n. 65–55 milj. v.) nykyisten Skandien eli Kõlivuoriston itäpuolelle oli kehittynyt Ruotsissa sijaitsevan kansallispuiston mukaan nimetty, Muddus-tasangoksi kutsuttu puolitasanko eli peneplaani, jonka jäänteet ovat nykyisin noin 300–550 m korkeudella merenpinnasta (Lidmar-Bergström ja Näslund 2002). Tällöin alue oli kutakuinkin silloisen merenpinnan tasossa, eikä siinä voinut siksi kehittyä syvemmälle menevää rapaamaa. Tasanko ulottui myös nykyisille Lapin kulta-alueille (Olesen *et al.* 2012), jotka sijaitsevat melko lailla tuossa tasossa (kuvat 2 ja 7). Muddus-tasangon kehittyminen lieneekin ollut ensimmäinen huomattava rapaumista peräisin olevan kullan rikastumisvaihe puolitasankomaisessa ympäristössä ja on ajallisestikin verrannollinen Australian Victorian vastaavaan vaiheeseen. Tertiäärikauden loppupuolella n. 30 milj. vuotta sitten peruskallion kohoaminen kiihtyi (Rohrman *et al.* 1995), ja Lapinkin kulta-alueille syntyi tyypillinen syvien jokilaaksojen verkosto, jossa alluviaalikullan parhaat esiintymät tuolloin sijaitsivat ja joka on havaittavissa alueen nykyisessäkin korkokuvasa (kuva 2). Victorian alueen topografiakarttakuvio on hyvin samankaltainen Lapin kulta-alueiden karttakuvan kanssa (Holdgate *et al.* 2006: kuva 2).

Lapin maastonmuodot ovat siten suurelta osin miljoonia vuosia jatkuneen rapautumisen ja eroosion synnyttämiä. Tästä todistavat lukuisat nuorempien jääkauden synnyttämien sedimenttien alla olevat voimakkaan kemiallisen rapautuman merkit kuten kaoliinitipitoiset rapakalliot (Islam *et al.* 2002), gossanmuodostumat ja kaoliiniittisavet, jotka ovat voineet syntyä vain lämpimässä ilmastossa (kuvat 4 ja 7). Kultahippujen pintaosien kaoliiniittiset epäpuhtaudet syntyivät tässä rapautumisessa. Näitä rapaumajälkiä on kaikkien kultahippujen pinnassa, mikä osoittaa hippu-

jen irtautuneen kiinteästä kalliosta tuon rapautumisen aikana. Hippujen pintaosien hyvin puhtaasta kullasta koostuva kuori osoittaa rapautumisen kestäneen miljoonia vuosia (Tamminen 1986, Henry ja Birch 2007).

Apatiitin säteilyjälkijäoituksen mukaan

kulta-alueiden kallioperän nykytaso oli kohonnut suhteellisen lähelle, noin 2,2 km syvyydelle maanpinnasta jo paleotsooisena aikana ennen mesotsooisien ajan alkua noin 250 milj. vuotta sitten (Hendriks *et al.* 2007). Esimerkiksi Inarinjärven pohjoisosa ja Muonion alue



Kuva 7. Fennoskandian vanhoja eroosiotasoja ja pitkäaikaisen rapautumisen merkkejä, joista osa liittyy jopa prekambriin rapautumiseen. Keltaisen alueen sisällä sijaitsevat rapautumisen merkit eli gossanit, rapakalliot, kaolinitisiiintymät ja tor-muodostumat. Punaiset pisteiviivat Kuolan niemimaan ja Lapin alueella kuvaavat maankuoren nousun määrää viimeisen noin 400 milj. vuoden aikana alueen alkali-kiven kuten Soklin syntymisen jälkeen (Arzamastsev *et al.* 2001, Hall 2015). Kartan piirteet liittynevät pääosin mesotsooisien rapautumiseen ja sitä tertiääriajana seuranneeseen eroosioon ja maan pinnanmuodostukseen. Kuva on laadittu useiden tutkimusten ja omien havaintojen avulla.

Figure 7. Major planation or peneplanation phases in Fennoscandia and deep weathering and erosion marks. Data collected from several literature sources and own studies of the authors.

Torniojokivarressa on ollut tuossa syvyydessä noin 290 miljoonaa vuotta sitten (Hendriks 2003).

Mesotsooisen ajan alussa noin 250–150 milj. vuotta sitten maankuori kohosi hitaasti ylemmäksi, ja juuri tuolloin ilmasto oli otollisin kaoliniittirapautumiselle (Rohrman *et al.* 1995, Prokoph ja Veizer 1999, Scotese 2016). Muiden Skandien vuorijonosta kaakkoon sijaitsevien alueiden (em. Muddus-tasanko) tapaan kulta-alueidenkin kallioperä kului tertiäärikauden alkupuoliskolla lähelle merenpinnan tasoa ja kohosi lopulta kauden loppupuoliskolla nykytasolle. Samalla rapautumasta peräisin oleva kulta rikastui syvenevien joki-laaksojen sedimenttikerrostumiin. Muinaisesta rapaumasta on vielä jäänteitä Ivalojoen ja Tankavaaran kulta-alueilla noin 270–320 m korkeudessa mm. rapakallioina tai sulfidien gossanrapaumina (Islam *et al.* 2002, Sarapää ja Sarala 2013, Vesilahti 2016), enemmän kohonneilla alueilla lähempänä Skandien vuorijonoa mm. Lemmenjoella ja Finnmarkissa korkeammallakin ja etelämpänä kallioperän kultaesiintymien päällä hieman alempanakin, noin 210–230 m korkeudessa (Hall *et al.* 2015). Kaoliniittisia esiintyy myös Itä-Lapissa ja etelämpänä Kainuussa, sielläkin yli 200 m korkeudella merenpinnasta, lähellä mesotsooisen rapaumahorisontin alapintaa (Laajoki 1975, Lintinen 2002, 2003). On tietenkin huomattava, että jääkausien aikana mannerjää painoi maankuorta alaspäin, mutta esimerkiksi Lapissa ja Kainuussa kuori on noussut kutakuinkin jääkautta edeltävään korkeuteen.

Joidenkin kultaa sisältävien sulfidiesiintymien päällä on hematiitti- ja götiittipitoinen ja kullasta rikastunut gossanrapaumajäännös, josta kultaa on levinnyt myöhemmin jäätikkösyntyisiin maalajeihin (Pulkkinen *et al.*, 2005, Sarapää ja Sarala 2013, Lundgren 2015, Vesilahti 2016). Paikoin esimerkiksi Yllästunturilla on rautaoksidien lisäksi jäljellä tyypilli-

siä sulfidien gossanrapaumatuotteita, kuten götiittiä, kuparihohdetta, malakiittia ja jopa atacamiittia (Korvuo ja Pelkonen 1984, Korvuo 1985). Lapin irtokultaesiintymistä on löydetty mineraaleja, kuten klorargyriittiä, mas-sikoa jne., joita syntyy tai voi syntyä ainoastaan sulfidipitoisten malmien rapautumistuotteissa lämpimässä ja kosteassa ilmastossa. Näissä erikoisissa hipuissa on yhteenkasvettuneena hienoa puhdasta kultaa, mikä osoittaa rapautuneen sulfidiesiintymän sisältäneen sitä kohtuullisessa määrin (Tuisku 2017, 2018).

Kullan sekundäärinen liikkuminen rapautumisen jälkeen

Upan eli placerin syntyyn tarvitaan sopivat olosuhteet, korkeuseroja ja riittävästi aikaa ilman häiriöitä (Peronius 2017). Ilman korkeuseroja syntyy primäärimalmin rapaumaan yhteydessä oleva paikallinen placer, joka voi olla rikaskin, mutta toisen kierroksen rikastumista ei tapahdu. Tässä kannattaa muistaa, että sekundääriset, esimerkiksi sulfidimalmien gossanin rikastumiskerroksessa olevat kultamalmi-ovut ovat usein rikkaimpia, mitä maapallolta on löydetty, mutta näitä ei vielä pidä luokitella placeriksi, koska ne syntyvät suurelta osin kemiallisten prosessien tuotteena. Suoraan entisen kultapitoisen kallion päälle syntyy paikallinen jäännös- eli ns. residuaalinen placer, kun tuuli- tai vesieroosio kuljettaa kalliorapautumasta muun aineksen pois ja kulta jää muuta ainesta painavampana jäljelle.

Mikäli alueella on tai sinne syntyy eroosioprosesseissa korkeuseroja, syntyy alkuperäisestä kalliokultaesiintymästä alarinteeseen ns. eluviaalinen placer. Korkeuserojen myötä rinneprosessit alkavat tehokkaasti kuljettaa rapauma-alaspäin ja mineraalit rikastuvat tiheys-erojen ja painovoimakuljetuksen vaikutuksesta. Eluviaaliset placerit ovat residuaalipacerei-

den tapaan yleensä hyvin paikallisia.

Eluviaalinen placer vaihtuu edelleen proluviaaliseksi placeriksi rinteiden alaosan viuhkamaiseen osaan. Näiden välissä on joidenkin luokittelujen mukaan ns. deluviaalisia eli keskirinteiden upakerrostumia. Termin käyttöä pitäisi tässä merkityksessä välttää, sillä deluviaalinen viittaa rinteiden huuhtoutumiseen esimerkiksi joen tulvimisen vaikutuksesta (Teisseyre 1991). Vaativimmillaan rinnekuljetus on hidasta vyöryntä eli creep-liikettä. Toisessa ääripäässä ovat erilaiset vyöryt ja vaihtumana varsinaisiin joki- eli alluviaalisiin prosesseihin erilaiset massaliikunnat, joissa on mukana vain hyvin vähän vettä mutta joissa maamassa käyttäytyy nesteen tavoin ja liikkuu nopeasti.

Rinneprosessit rikastavat kultaesiintymää. Jopa yksinkertaisessa rinteiden valumisessa kulta painuu syvemmälle ja rikastuminen on selvää. Rinneprosesseihin liittyy joskus erikoisuuksia, joissa kulta voi myös rikastua pintaan tai esimerkiksi tuulen tai sadeveden aiheuttamaa eroosiota, jotka myös rikastavat kultaa pintaan, mutta yleisesti rinneprosessit rikastavat kultaa pohjaan. Jos mukana on vähänkään vettä, rikastuminen moninkertaistuu.

Ennen tai myöhemmin kultapitoinen irtain aines eli kolluviaali päättyy jokiveden kuljetettavaksi, ja alkaa syntyä joki- eli alluviaalisia placereita. Virran dynamiikka rakentaa monimuotoisia kultaesiintymiä, joille yhteistä on se, että rikastuminen on huomattavaa. Tämä tarkoittaa siis samalla myös sitä, että suurin osa materiaalista muuttuu täysin kullattomaksi ja kulta keskittyy pienille alueille. Vanhemmasta geologisesta kirjallisuudesta voi löytää hyvinkin yksityiskohtaisia kuvauksia jokilaaksojen kerrostumien ja niiden upaesiintymien synnystä. Esim. Ferguson (1924) kuvaa hyvin tarkoin topografian ja jokisidementtien koko kvartaariaikaista (2,6–0 milj. vuotta) kehitystä Nevadassa, Yhdysvalloissa.

Alluviaaliset placerit ovat rikkaimpia ja yleensä helpoimmin hyödynnettäviä. Vaikka niiden syntyperiaatteet on helppo ymmärtää, yleensä joen dynamiikka on joen historian aikana vaihdellut niin paljon, että usein pay streakien seuraaminen on hyvin vaikeaa. Hyvin usein alluviaalinen placer on primäärimalmia rikkaampaa. Alluviaalisen prosessin kautta olemattoman huonosta primäärimalmista voi syntyä hyödyntämiskelpoinen esiintymä. Lapin kultaryntäyksen parhaat ja ensinnä hyödynnetyt paikat olivat juuri näitä jokiupaesiintymiä. Ilmiö on hyvin yleismaailmallinen. Esimerkiksi jo mainittu Australian Victorian paras, Ballaratin jokiplacer on tuottanut yli 340 tonnia kultaa, Siperian Sukhoi yli 1500 tonnia, Alaskan Yukonin Dawson City noin 300 tonnia ja nuorimmat Kalifornian kvartaarikautiset jokiuomaplacerit yli puolet koko alueen placeresiintymien kullantuotannosta (Jenkins 1964, Moore 2007). Nämä rikkaat alluviaalikerrostumat ovat myös syy siihen, että yksityiskohtaisimmat kuvaukset niistä ovat hyvinkin vanhoja eli juuri kultaryntäysten aikaisia. Koska kulta on niistä suurelta osin kaivettu ja maamassat liikuteltu, on niistä nykyään hankalampaa saada maastossa käsitystä.

Voidaan ajatella, että tertiäärikauden loppuvaiheessa ja pleistoseenian alussa, noin 2,5 miljoonaa vuotta sitten Suomen Lapissa on ollut hyvin kehittynyt rinneprosessien ja virtaavan veden prosessien synnyttämä placerien verkosto. Nämä placerit ovat olleet paljon nykyisiä placereita rikkaampia.

Näiden tertiääriplacereiden kehittyminen katkesi toistuviin jäätiköitymiseen pleistoseenian (2,6–0,01 milj. vuotta) loppupuolella. Maalajien jäätikkökuljetus on lähes ainoa eksogeeninen prosessi, joka ei rikasta kultaa tiettyihin pay streak -kerroksiin vaan pyrkii päinvastoin laimentamaan kultapitoisuuksia sekoittamalla pay streakit kullattomaan maa-ainekseen. Vaikka jäätiköitymisen loppuun liit-

tyvät sulamisvedet voivat rikastaakin kultaa ns. glasiofluviaalisiksi placereiksi, on prosessi toistuessaan yleisesti esiintymiä heikentävä. Huomattava osa Lapin tunnetuista placereista on juuri tällaisia jäätikön sulamisvesien synnyttämiä placereita. Tämän jäätikön laimentavan vaikutuksen vuoksi Lapin upakullan tuotto kallioperän esiintymien tuottoon verrattuna on melko vaatimatonta. Jäätiköitymättömillä alueilla kuten Australian Viktoriassa on upakullan tuotto ollut jopa merkittävämpää kuin kallioesiintymien tuotto (Weston 1992, Moore 2007).

Kulta-alueilla on tunnistettu useita eri moreenipatjoja. Pinnassa olevan patjan suuntaus vaihtelee ja sen tulkitaan olevan viimeisen jäätiköitymisen perääntymisvaiheen moreeni. Suunnan vaihtelu kuvaa jäätikön jakautumista kielekkeisiin ja jäätikön massan painopisteen vaihtelua sen pienentyessä. Tyypillisiä suuntia ko. patjalle on Ivalojoen–Vuotoson alueella 200–250 astetta (länsi, länsilounas, lounas).

Tämän alapuolella on tyypillisesti tiiviimpi moreeni, jonka suunta (200–210, lounas) ei juuri vaihtelee. Tämä suuntaus on tavallisin suuntaus kaikilla kulta-alueilla. Sen alapuolella on kulta-alueen eteläosissa (Tankavaara, Mäkäri, Roivainen) tavattu lähes poikittainen luoteinen suuntaus. Kullan esiintymisen kannalta vaihtelevat kuljetussuunnat ovat kohtalokkaita. Ensivaiheen kuljetuksessa rikas esiintymä laimenee pitkänomaiseksi viuhkaksi, joka laimenee toisessa vaiheessa edelleen laajaksi köyhäksi lakanamaiseksi kerrostumaksi. Kulta-alueen moreenien ja muiden maalajien kerosjärjestystä ovat kuvanneet mm. Saarnisto ja Tamminen (1985) sekä Hirvas (1991).

Granuliittikaaren ulkopuolelta tullutta kiviainesta on tavattu kaikilta kulta-alueilta, läheltä kaaren rajaa Lemmenjoelta ja Tankavaaran alueelta enemmän ja muualta vähemmän. Kauempaa kulkeutuneet kivet ovat eri-

laisia metavulkaniitteja ja mm. kvartsiitteja. Kaukokulkeutuneiden lohcareiden joukossa on myös yli 80 km päässä Kumputunturilla esiintyvää konglomeraattia. Tosin tämä ei välttämättä todista noin pitkää kulkeutumista, sillä kivilajia on voinut esiintyä aiemmin paljon laajemmalla alueella.

Joillakin paikoilla mm. Tankavaarassa näitä kulkeutuneita kiviä näyttäisi esiintyvän enemmän sellaisissa moreeneissa, joissa on enemmän kultaa. Jo 1950-luvulla havaittiin Tankavaaran tummien moreenien (ko. kivilajeja sisältävien) sisältävän enemmän kultaa kuin vaaleiden moreenien.

Toisaalta tällaista vaihtelua ei kaikilla kulta-alueilla ole. On olemassa erittäin hyviä kulta-alueita, joissa ei ole lainkaan tai juuri lainkaan granuliittikaaren ulkopuolelta kulkeutunutta tummempaa kivilajiaainesta (Palsi, Laanioja, Hangasoja). On huomattava, että granuliitti ei ole välttämättä paikallista, sillä granuliittialue on 400 km pitkä ja 90 km leveä ja kivilajistoltaan kauttaaltaan hyvin samanlainen. Ja toisaalta taas vielä lähempänä granuliittikaaren rajaa, missä moreenit ovat yleisesti paljon tummempia kuin Tankavaarassa, ei moreeneissa ole yleensä lainkaan kultaa.

Viimeisen jäätiköitymisen loppuvaiheessa sulamisvesitoiminta rikasti ja kuljetti kultaa. Tätä tapahtua jo vettyneiden moreenien tai muiden maa-ainesten massaliikunnoissa (debris flow) ja erityisesti sulamisvesien purkausomissa ja niiden jokiviuhkoissa. Tankavaaran monimutkainen jokiviuhkasysteemi on hyvä esimerkki jäätikkövesien aiheuttamasta kultan dispersiosta.

Jäätikköjoen toiminta näkyy mm. kulta-hippujen koon pienenemisenä viuhkan alkupäästä Purnuvaaran ja Tankavaaran välistä pohjoiskoilliseen, viuhkan leveämpään päähän päin. Alkuperältään viime vaiheessa rikastunut tai liikkunut kulta on osittain peräisin moreenin huuhtoutumisesta, mutta todennä-

köisesti myös moreenin syntyä edeltävistä upakultaesiintymistä (kuva 4). Tankavaaran alue on erityisen mielenkiintoinen, koska Lauttaojan uoman suoraviivainen osa kulkee lounaiskoillissuuntaisessa siirroksessa, joiden on tulkittu toimineen kallioperän kultapitoisten liuosten kulkureitteinä (Ojala 2017), ja toisaalta granuliitissa on sitä vastaan kohtisuorassa grafiittirikkaita kerroksia (Tuisku 2017). Alueella voisi siten olla myös primääri kallioperän kultaesiintymä. Liikuntoja on tapahtunut Tankavaaran siirrosta pitkin hyvin kauan, ja tarkalla laserkeilauskorkeusaineistolla niistä viimeisimpien on voitu osoittaa tapahtuneen jääkauden jälkeisenä aikana (Tuisku 2017).

Kullan seurassa etenkin moreenissa olevaa muuta hienompaa ainesta, erityisesti ns. raskasmineraaleja, voidaan käyttää moreenin ja ehkä myös kultan lähtöpaikan selvittämisessä. Tämä johtuu siitä, että nämä mineraalit esiintyvät usein vain tietyissä kivilajeissa tai kivilajiryhmissä. Esimerkiksi granuliittialueen kultanhuuhdonnassa vaskoolin pohjalle syntyvä ensimmäinen raskaampien mineraalien rikastuma on usein punaista, mikä johtuu alueen granuliittista peräisin olevan granaatin runsaasta esiintymisestä rikasteessa. Seuralaismineraalien runsaus johtuu tietenkin mineraalin runsaudesta kivilajeissa ja ko. kivilajien runsaudesta alueen kallioperässä, mikä pitää huomioida lähtömateriaaliselvityksessä. Mikäli granaattia ei esiintyisi kultanhuuhdontatuotteessa, osoittaisi se moreenin aineksen olevan täysin kymmenien kilometrien päästä kulkeutunutta. Käyttökelpoisimpia kulkeutumismatkaselvityksissä ovat kohtuullisen harvinaiset tai pieninä vaihtelevina määrinä erilaisissa kivissä esiintyvät mineraalit, joita on mm. joissakin malmiesiintymissä (Tuisku 2010, Kangas 2012, Peuraniemi 2018). Muun muassa Mies-sijoella kultaesiintymien yhteydessä on epätaivallisen runsaasti platinaryhmän alkuaineiden mineraaleja, joiden lähimmät sopivat kivilaji-

lähteet ovat yli 12 km päässä lounaassa (Nurmi *et al.* 1991). Samoissa Miessijoen esiintymissä on runsaasti niobiumin, tantaalin, volframamin ja harvinaisten maametallien mineraaleja, joita esiintyy mm. erikoisissa graniittipegmatiittikivissä. Lähimmät tämännäpaiset esiintymät on toistaiseksi löydetty noin 15 km:n päästä luoteesta. Korundi on varsin tavallinen sivutuote kultanhuuhdonnassa. Sitä ei voi esiintyä alueen granuliittikivissä, ja tutkimuksessaan korundin alkuperästä Lahtinen (2008) totesi sen olevan todennäköisimmin hyvinkin kaukaa kulkeutunutta. Hyvin usein ajatellaan, että jäätikkö on kuljettanut aineita laimenevana viuhkana vain lyhyen matkan päähän ns. emäkalliosta. McClenaghan ja Kjarsgaard (2001) huomasivat kuitenkin, että kimberliittiesiintymästä peräisin olevan granaatin määrän oli moreenissa 20 km:n päässä emäkalliosta suurempi kuin lähellä sitä.

Kultahippujen muoto heijastaa kuljetusmatkaa ja aikaa (Averill 2001). Voimakkaasti muokkautuneet rakeet ovat hänen mukaansa kulkeneet 1–10 km jäätikössä, nopeassa kuljetuksessa kuitenkin yli 5 km. Kultahippujen pintaosat kiteytyvät kuljetuksessa uudelleen. Samalla niiden puhtaus kasvaa ja niihin syntyy erilaisia muokkautumismerkkejä kuten taipumia ja uurteita (Kerr *et al.* 2017, Stewart *et al.* 2017).

Mistä siis kulta on peräisin?

Kirjoituksemme tarkoitus on pohtia kultan kokonaislähdettä eikä niinkään paikallisia ilmiselviä liikkumisilmiöitä, kuten Tankavaaran jäätikkövesivirtauksen aiheuttamaan viuhkan syntymistä. Näiden selvittäminen on tietenkin oleellista, ennen kuin kultan primäärilähteitä voidaan pohtia, ja käytännön kaivutyön kannalta nämä viimeiset liikkeet ovat tietenkin merkittäviä. Jotta uusia upakultaesiintymiä ja emäkallioita voitaisiin löytää, on tär-

keää saada kokonaiskuva koko kehityksestä kalliokultaesiintymien synnystä lähtien.

Vallitsevan nykykäsityksen mukaan kultahiput ovat peräisin kalliosta. Ne ovat irronneet kivistä, kun muu aines on rapautunut ympäriltä ja rikastuneet muun aineksen kulkeutuessa paikalta. Hiput ovat tämän jälkeen liikkuneet paikaltaan, kun paikalliset korkeuserot ovat kasvaneet maankuoren kohotessa, ja näin on syntynyt rikkaita jokilaaksojen upakultakerrostumia. Toistuvat jäätiköitymiset ovat sitten muokanneet sekä primäärejä rapauma-, jäännösupa- että jokiupakerrostumia. Rapaumakerrostumien jäätikkömuokkauksesta ja sen alkuperäistä kultarikastumaa huonontavasta vaikutuksesta on hyviä esimerkkejä (Niska 2006, Hulkki *et al.* 2011, Sarapää ja Sarala 2013), mutta muita kerrostumia tai niiden jäätikkömuokkausta on paljon hankalampi jäljittää.

Lapin upakultaesiintymien syntyvaiheet ovat esitetty pääpiirteissään kuvassa 8. Kalliokultalähteet ovat sulfidipiroitteisia tai massiivisesta sulfidimalmiesiintymiä (kuva 8Aa) sekä niitä hieman nuorempia juoniesiintymiä (kuva 8Ab). Molemmat ovat prekambrisia, yli 1800 milj. vuotta vanhoja. Juoniesiintymien on ajateltu liittyvän huuhtontakulta-alueen lounaiskoillissuuntaisiin pystyasentoihin siirroksiin (kuva 1), mutta ne voivat olla muunkin suuntaisia alueen ulkopuolella. Kuvassa 2 on esitetty kahden siirroksen jatkeet huuhtontakulta-alueesta lounaaseen. Siirroksista kulta on voinut siirtyä ympäristön kivilajeihin, joissa se on kiteytynyt olosuhteiden muuttuessa suosiolisiksi. Esimerkiksi kuvassa 1 punaisella sävyllä esitetyt grafiittipitoiset kerrokset ovat tähän sopivia, ja kullanhuuhtomoilla, grafiittikerroksilla ja siirroksilla näyttäisi olevan selkeä yhteys. Tämä tarkoittaisi sitä, että Lapin irtokulta on karkeasti ottaen suhteellisen paikallista ja kuljetusmatkat eivät olisi ainakaan useita kilometrejä. Emäkallioita pitäisi siksi

hakea hyvien upakultaesiintymien läheisyydestä käyttäen geologista tietämystä kultamalmien synnystä. Siirroksia pitäisi tutkia koko pituudeltaan myös tunnettujen upakultapaikkojen ulkopuolella.

Kaikki kultapitoiset esiintymät ovat rapautuneet syvälle liitukautta edeltävänä aikana yli 150 milj. vuotta sitten ehkä useammassakin vaiheessa, kun ilmasto on ollut lämmin ja kostea ja esiintymät ovat kohonneet merenpinnan yläpuolelle. Sulfidimalmista syntyi rapautumisessa gossan (Kuva 8Ba, punaisella rajattu alue), josta todisteena on nykyisistä upakultaesiintymistä löytyneitä, tämän tapahtuman tyypillisesti synnyttämiä sekundäärisiä kultapitoisia mineraaleja. Kulta rikastui lähelle pohjaveden pinnan tasoa, jota on kuvattu sinisen nuolen osoittamalla pisteviivalla. Juonimuodostumista puolestaan irtosi usein suurempia kultahippuja (kuva 8Bb), joissa voi olla juonten kvartsia jäänteinä (kuvat 5 ja 6B).

Maankuoren kohotessa tertiäärikaudella rapautunut kallioperä kului eroosion vuoksi syvemmälle puolitasankomaiseksi maisemaksi, jossa oli leveitä jokilaaksoja, tasaisia alueita ja näiden välisiä jäännösvuoria ja harjanteita. Mahdollisesti tertiäärikauden loppupuolella tämä maisema muuttui syvien jokilaaksojen uurtamaksi, kun maankuori kohosi jonkin aikaa nopeasti. Kullanhuuhtonta-alueen jokilaaksot näyttäisivät olevan jäännös tästä maisemasta (kuvat 2 ja 8C).

Syvimmät jokilaaksot, kuten Ivalojoen kanjoni Kruunun kulta-aseman kohdalla, näyttävät yhtyvän sekä kallioperän siirroksiin että granuliittijakson primääriarittaisuuteen ja kerroksellisuuteen, mutta muilla alueilla jokilaaksokarttakuva on paremminkin satunnaisen haarainen (kuva 2). Topografian jyrketyssä kulta lähti liikkeelle erilaisina rinnevyöryminä ja alkoi rikastua lähelle rapaumalähdettä. Jokilaaksojen virrat rikastivat, kuljettivat ja lajittelivat kultaa edelleen. Koska tätä tapah-

tui jatkuvasti laaksojen syvetessä ja laajetessa, muokkautuivat myös aiemmat kerrostumat ja kultaa rikastui useampaan rinne- ja jokikerrostumaan päällekkäisiksi kerrostumiksikin. Tämä aiheutti sen, että alluviaalikultaesiintymät ovat niin vaihtelevia ja niiden esiintyminen voi olla odottamatonta, mutta niissä on kuitenkin jokiprosessien tuotteille ominainen rakenne ja tietynlainen järjestys, kuten edellä on kuvattu.

Kvartääriaikaiset jäätiköitymiset muokkasivat sekä aiemmin syntyneitä tertiäärisiä jokikerrostumia että primäärejä lateriittirapaukia, joista kultaa joutui moreeneihin (kuva 8D). Se, että aiempaa rapaumaa ja primäärejä lateriittikultaesiintymiä oli vielä jääkausiensa alkaessa jäljellä, näkyy kallion pinnalla monin paikoin esiintyvänä kalliorapauksina, gossan-esiintyminä sekä etenkin siinä, että alueen moreenit ovat hyvin sotkevia ja sisältävät runsaasti rapaumaperäistä keltaisesta tai punaista savi- ja rautaoksidimateriaalia (kuva 4).

Kuten maalajikuvauksessa on mainittu, kultapitoisten moreenien hyvin vaihteleva hienojakoisen aineksen määrä kuvastaa moreenin ja sen kullan lähteen vaihtelua: osa on selkeästi suurelta osin suoraan rapaumasta peräisin mutta osa suurimmilta osin muokkautuneista tertiäärisistä jokikerrostumista peräisin ja osa tietenkin molemmista lähteistä. Jäätikkökulutus ja -kuljetus sotkee aina alun perin kultapitoisen aineksen kullattomaan, mistä seuraa moreenien pienempi kultapitoisuus kuin alkuperäisessä kultakerrostumassa (kuva 8C ja D). Tämä on hyvin selvää esimerkiksi Kerolaisen tutkimusmontussa, jossa moreenin kultapitoisuus laskee murto-osaan muutaman metrin matkalla (Hulikki *et al.* 2011: kuva 32) ja tietenkin siitä, että moreeneista kultaa kannattaa kaivaa pääosin vain koneellisesti.

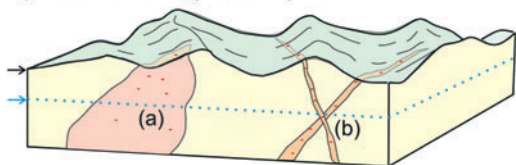
Jääkauden loppuvaiheessa ja sen jälkeen kulta alkoi paikoin kuitenkin rikastua uudelleen sulavesien ja jokivesien alluviaalikerros-

tumiin. Nämä ovat paikoin hyvinkin rikkaita ja muokkautuvat edelleenkin.

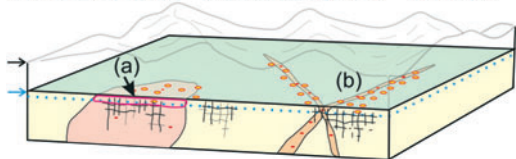
Tertiääriajanakin tapahtui kallioperän ja kultaesiintymien rapautumista, mutta se ei ollut niin voimakasta kuin aiemmin. Osa rapaumakullasta voi olla tuolta ajalta peräisin, ja se on voinut joutua melko nopeastikin eroosion kulutettavaksi ja rikastettavaksi. Kaiken kaikkiaan Lapin pinnanmuodot kuvastavat kuitenkin pääosin mesotsooisien voimakkaan kemiallisen rapaumakuoren pohjan muotoja, jotka paljastuivat tertiääriaikaisessa monivaiheisessa eroosiossa näkyviin. Tuon rapaumakuoren pohja näkyy paikoin edelleen kalliorapauksina, gossanmuodostumina, kaoliniittiesiintyminä, syvempinä laaksoina helpommin rapautuvien kivien kohdalla ja jäännösvuorina sekä niiden tormuodostumina ja ydinkiviröykkiöinä vaikeammin rapautuvien kivien esiintymisalueilla (kuva 7). Koska jäännösvuorten ja harjanteiden korkeusero voi olla satoja metrejä laaksoihin verrattuna, on selvää, etteivät tertiääriikautiset kylmenevän ilmanalan rapaumaprosessit ole voineen saada tällaista aikaan. Mikäli tertiääriaikana rapautuminen olisi ollut voimakasta, pitäisi rapauman pohjan ulottua lähelle merenpinnan tasoa, mutta se on kuitenkin noussut paikoin satojen metrien korkeuteen, mikä osoittaa sen vanhan, niin sanotusti fossiilisen luonteen.

Emäkalliosta kiinnostuneiden kannalta olisi tietenkin tärkeää selvittää, onko Lapin kulta lähi- vai kaukokulkeutunutta. Jotkut seikat puoltavat sitä, että kulta olisi ainakin osin kaukokulkeutunutta. Kultamoreenien kivilajistossa on granuliittien ohella muualta kuin granuliittialueelta peräisin olevia lohkarkeit – paikoin runsaastikin, kuten Tankavaran ns. tummassa moreenissa. Koska granuliittialue on hyvin laaja, eivät granuliittilohkareet osoita moreenin paikallisuutta mutta eivät tietenkään ole paikallisuuden suhteen poissulkeviaakaan. Joissain tapauksissa kullan seurassa esiintyvät

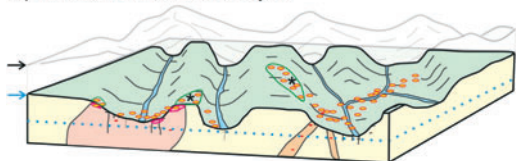
A) Prekambrikausi, yli 550 milj.v:



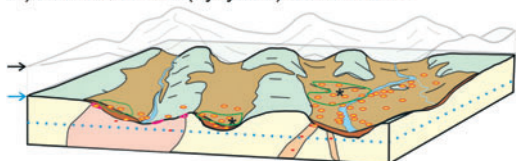
B) Prekambrikausi - preliitukausi, yli 550 - 150 milj.v:



C) Tertiäärikausi 65-2,6 milj.v:



D) Holoseenikausi (nykyaika) alle 10 000 v:



hienoaineksen raskasmineraalit ovat paremmin peräisin joko Lapin tai Kautokeinon liuskevyöhykkeiltä (platinamineraalit) tai reunavyöhykkeen eli ns. Tenojokivyöhykkeen granitoideista (niobium, tantaali, volframi, tina ja harvinaiset maametallit). Jotkin jopa kultahipuissa sulkeumina olevat mineraalit viittaavat samantapaisiin kultamalmin syntyprosesseihin kuin liuskevyöhykkeillä. Samoin kullan esiintymisen tyypillisissä trooppisen rapautumisen synnyttämissä mineraaleissa osoittaa osan kullasta olevan sulfidimalmin gossanrapaumasta peräisin. Tällaisia sulfidiesiintymiä tunnetaan toistaiseksi vain perinteisten kulta-alueiden ulkopuolelta. Kultahiput ovat useimmiten sangen deformatuneita ja litistyneitä. Kaukokulkeutunut kulta on voinut rikastua sulamisvesiprosesseista uudelleen jokiupaesiintymiksi.

Kuva 8. Lapin kultahippujen monivaiheista historiaa kuvaava kolmiulotteinen leikkauspiirustusarja. (A) Prekambriaikana, yli 1800 milj. v. sitten syntyi kultapitoisia esiintymiä kuten massiivisia sulfidirikkaita yksiköitä (a) ja kultapitoisia juonimuodostumia (b). Punaiset täplät kuvaavat kullan esiintymistä niissä. (B) Rapautumisen ja eroosion seurauksena alue madaltui ja muuttui puolitasangoksi eli peneplaaniksi tai tasangoksi. Kulta rikastui hippuina (keltaiset täplät) kultapitoisten kallioiden rapaumapaikoille tai niiden läheisyyteen, kun valtaosa muusta aineksesta kulkeutui paikalta. Sulfidiesiintymien päälle syntyi gossan (punaisella rajattu alue), muualle lateriittinen rapaumakuori. Puolitasanko- tai tasankovaiheita Fennoskandiasa oli ainakin kaksi, todennäköisesti prekambrian loppupuolella ja ennen liitukautta ja sen aikana. Liitukauden aikana kullan rikastumista ei ilmeisesti enää tapahtunut, koska meren pinta oli silloin äärimmäisen korkealla. (C) Tertiäärikaudella kallioperä alkoi hitaasti kohota Pohjois-Atlantin avautumisen seurauksena, jolloin maaston jyrkkyys suureni ja syntyi uurretasanko, kun joet hakivat uomiaan kohonneeseen maastoon. Lateriiteissa ja gossanissa oleva kulta rikastui lisää syntyneisiin kanjoneihin ja uomiin, kun muuta rapautunutta tai rapautuvaa ainesta kulkeutui virtojen mukana pois. (D) Jääkausien aikana jäljelle jääneet gossanit, lateriittirapaukset, saproliittirapaukset ja jo uudelleen kerrostuneet kultaesiintymät ja muut sedimentit muokkautuivat jäätikön kuljettaessa ja sekoittaessa materiaalia sekä kerrostaessa sitä uudelleen moreeneiksi. Jäätikköjen sulamisvedet ja myöhemmät joet rikastivat kultaa uudelleen kultapitoisista moreeneista ja muista maa-lajeista.

Figure 8. A scheme of generation of placer gold deposits in Lapland. (A) Precambrian primary bedrock deposits: (a) disseminated and massive sulfides with gold (red dots), (b) lode deposits. (B) Subcretaceous deep weathering crust with gossans derived from sulfides and loose gold from (quartz) veins. (C) Tertiary uplift, landform evolution and reworking of gold to form rich placers. (D) dispersion of gold from the weathered remnants and primary placers by glacial drift processes and re-enrichment into post-glacial secondary placers.

Useat jokiplacerit ovatkin selkeästi jääkauden jälkeisiä. On lisäksi huomioitava, että rapautunutta ainesta on suhteellisen vähän jäljellä. Onko se kulkeutunut pois ennen jääkautta vai sen aikana, jolloin kulta olisi liikkunut mukana?

Toiset seikat viittaavat siihen, että kulta olisi peräisin hyvinkin läheltä nykyistä löytöpaikkaa. Kullan jakautuminen (dispersio) moreeneissa rajoittuu ainakin joissakin esiintymissä mahdollisiin siirroksiin liittyviin juoniin, joista se olisi voinut sekundäärisesti liikua tiettyyn suuntaan kyseisestä rakenteesta (esim. rinneprosessit, jäätikkökuljetus tai sulamisvedet). Tällainen tilanne on mm. Kul-taojalla, missä upakultaesiintymä katkeaa aluetta halkovan kultapitoisen juonen kohdal-la. Kulta näyttäisi esiintyvän jäätikköjoki-uomarikastumista edeltävässä primääriasennos-saan eli nimenomaan moreenikultaesiintymis-sä keskittyvän suurelta osin tietyille tasoille merenpinnasta. Näissä tasoissa on kallistuma ylöspäin kohti Kōlivuoristoa. Se voisi tarkoittaa, että kulta esiintyisi hyvin lähellä muinais-ta rapauman rikastumisvyöhykkeen tasoa, joka olisi alavammilla mailla pyyhitty pois esimerk-siksi jäätikkövirtaeroosiolla ja -kuljetuksella. Tällöin esiintymät edustaisivat nimenomaan rikastumisvyöhykkeen paikallisesti jäljelle jää-neitä osia. Kulta-alueen pinnanmuodot muis-tuttavat samanlaista haarautunutta jokisysteemiä, joka on esimerkiksi Australiassa rikasta-nut ns. deep lead ja shallow lead -esiintymien kullon hyvinkin lähelle emäkallioita. Toisaalta tätä ei tosin voi pitää varmana, sillä useiden jäätiköitymisten levittämä kulta on voinut rikastua uudelleen peräkkäisiin jäätikköjokiver-kostoihin.

Asiaa pitäisi siis oikeasti tutkia. Nykytie-dolla ei voi varmaa ”emäkalliota” osoittaa. Kulta on kuitenkin niin paljon (suuri ano-malia), että sen lähteenkin täytyy olla kool-taan kohtalainen ja suhteellisen rikas tai pie-niä lähteitä täytyy olla runsaasti, mikä mal-minetsijöiden kannattaa pitää mielessä. Saisi-vatko Etelä-Suomen maalajeissa malmiluok-kaa olevat pitoisuudet etsijät liikkeelle? On myös muistettava, että mineralogiset todisteet osoittavat ainakin osan kullasta olevan sulfi-

diesiintymien rapautumisesta peräisin.

Tämän kirjoituksen tarkoituksena oli tar-kastella Lapin kullon alkuperää nykyään tie-dossa olevien seikkojen asettamilla kriteereil-lä. Emme siis tässä pyrkineet dogmaattiseen kannanottoon kalliokultalähteen tai lähteiden sijainnista. Toivomme, että tämä esitys kuiten-kin edesauttaa Lapin kullon alkuperän etsimis-tä ja että tulevat asian harrastajat ottaisivat kir-joituksessa esittämämme seikat huomioon ja käyttäisivät niitä työhypoteeseina. Uskomme, että näin Lapin kullon mysteeri saadaan vielä joskus ratkaistua ja ”emäkalliota” tai ”-kallioi-ta” kannattaa vaikeuksista huolimatta edelleen etsiä. On muistettava, että jääkaudet ovat kui-tenkin yleisesti ottaen laimentaneet placer-esiintymiä ja kalliolähteet voivat siten olla huomattavankin rikkaita. Samalla toivomme, että resursseja tähän tutkimukseen saataisiin lisää, sillä ilman tutkimusta emäkalliota ei voi löytää.

Kiitokset

Lapin kallioperää ja kultaesiintymien syntyä käsitteleviä tutkimuksia ovat rahoittaneet K.H. Renlundin säätiö, Suomen kulttuurirahasto ja Emil Aaltosen säätiö. Haluamme kiittää erityisesti Lapin kullankaiva-jia, jotka ovat pyyteettömästi jakaneet kovalla työllä kaivamaansa materiaalia ja työnsä ohessa keräämään-sä tietoa tutkimuskäyttöön.

PEKKA TUISKU

pekka.tuisku@oulu.fi

Oulun yliopisto

ANTTI PERONIUS

antti.peronius@gmail.com

P.T. on Oulun yliopiston geologian ja mineralogian do-sentti ja yliopistonlehtori. Hän on tutkinut Lapin geo-logiaa malminetsinnän ja yliopiston palveluksessa 1970-luvulta lähtien. A.P. on geologi ja kolmannen sukupol-ven kullankaivaja. Hänellä on ”elinkautinen” kokemus kullanetsinnästä ja hän on toiminut Lapin Kullankai-vajain Liitossa mm. edunvalvontatehtävissä sekä kul-lankaivuuta koskeissa asiantuntijatehtävissä.

Summary:

On the origin of the placer gold deposits in Lapland

The first gold rush in Lapland commenced 150 years ago when the Konrad Lihrs expedition found nuggets at Nulkkamukka, in the canyon of the Ivalojoiki River. In following few years, the best alluvial deposits of the river were sluiced down and excavation was transferred to tributaries of the river, Palsioja being one of the richest. Later, the second and third rushes expanded to still new areas such as Laanila to the east, Lemmenjoki farther to the NW and Tankavaara to the south of Ivalojoiki area. Recently, some new areas such as Roivanen have proved quite promising for sluicing, even further south from Tankavaara (Figs 1 and 2). The mother rock as well as the mode of formation of the placer has been studied since the first findings but the results have been surprisingly poor.

In this paper, we shortly review the recent knowledge regarding the gold bearing placers of Lapland. There definitely has to be a bedrock source (or sources) for the nuggets, as proven in other placer gold provinces of the world (Weston 1992, Knight *et al.* 1999a,b, Henry and Birch 2007, Hough *et al.* 2007). Numerous bedrock gold deposits have been found in Lapland during last decades, but they are located relatively far away from the placers (Fig. 2; Mineral deposits and exploration 2017). Only few small vein mineralizations with low Au content are found near the placers (Airas 1984, Keinänen *et al.* 2010).

The mode of occurrence of gold in the placers in Lapland is variable. This holds true for the size, shape, stratigraphic position as well as parent soil type. The total mass of the gold concentrate often consists of mm size nuggets and the distribution may be uni- or bimodal.

The grain size is known to often reduce downstream in alluvial placers and pay streaks may occur at the top of the beds, in intermediate layers and often also on the weathered bedrock surface (Fig. 4A), but this kind of sequence is not found in every claim. In Lapland, nuggets are also found in till, which makes Lapland different from many other known placers from lower latitudes. Till placers usually have a lower concentration of gold and their mining is only possible by machinery. Also, in till placers a complicated stratigraphic variation is observed and in some places the lower gold bearing till is Sub-Weichselian. Obviously, the glacial drift processes have in many cases dispersed and diluted the richer preglacial placers. In some cases, it is however possible that the till placer gold is derived from preglacial saprolite enriched in gold (Fig. 4B) or even an enrichment zone of a gossan deposit (e.g. Hulkki *et al.* 2011). The shape of the nuggets varies from dendritic to almost spherical and rounded, which is also seen in relatively large nuggets (Fig. 5). The dendritic nuggets possibly indicate a quartz lode type origin for them. Some of the nuggets contain side rocks minerals (Fig. 6), also suggesting a quartz lode type bedrock source (Fig. 6A) but relatively common hematite and goethite bearing nuggets suggest derivation from gossanized sulfide bearing deposits (Fig. 6B).

The richest placers were found above the recent upmost flood surface on glacial meltwater banks of Ivalojoiki and its largest tributaries, and were clearly postglacial. The gold was enriched partly from glacial drift (till), but there must have been preglacial alluvial placers which have been reworked during the latest glaciation. Because the river valleys follow the major bedrock structures, namely major banding and lithological layering of the Lapland granulite belt and the crosscutting sub brittle vertical faults (Fig. 1), it is quite probable

that the preglacial landscape was striped due to Tertiary uplift, and rich placers were formed at this stage in the valleys or “leads”, in similar way as in Victoria, Australia. Thus, the timing of primary placer deposition might be similar to that in Victoria, and also the plate-tectonic origin of the uplift could be in principle be the same, that is, the continental drift and upwelling of the rifted margins during the Tertiary. There are many similarities in the landscape evolution, paleoclimate and tectonics during mid-late Phanerozoic of Victoria and Fennoscandia (Lidmar-Bergström 1995, Taylor and Gentle 2002, Hendriks *et al.* 2007, Olesen *et al.* 2012, Hall 2015). Of course, the bedrock of Fennoscandia is older and it is probable that some placer deposition took place even in the Precambrian and some of the gold found as nuggets has suffered a prolonged evolution in Fennoscandia.

Some of the alluvial placers in Lapland precede the latest glaciation. They occur in lower sections in some claims. Also, locally some of the lowest till hosted placers are Pre-Weichselian in age. The repeated glaciations have generally diluted and at least to some extent drifted the primary Tertiary deposits, which is the major difference between Lapland and Victoria (Fig. 8D). This might also be the reason that makes the exploration for the mother rock of the surficial gold more challenging in Lapland. Traditional panning sites of Lapland lay above the relatively monotonous granulite bedrock. Gold bearing tills in Lapland often contain rock boulders and mineral grains foreign to the granulite belt (Lahtinen 2008, Tuisku 2010, Kangas 2012).

According to the multi-mineral nuggets, quartz vein lode deposits and the enrichment zone of gossans are the potential (bedrock) sources of the surficial gold. Gossans may form above many types of sulfide bearing rocks including massive sulfides, disseminated

sulfide ores and sulfide bearing veins, and accordingly there are several possible candidates for bedrock source type. Gossan-like features are evident for example in the Mäkärova vein (Vesilahti 2016) which, as well as some other vein prospects, has been found to contain elevated gold content in the gossaneous or saprolitic cover just below the glacial drift. Interestingly, some gossan occurrences, many saprolites and a majority of the placer gold claims (especially till dominated) occur at an elevation of approximately 300 m a.s.l. (Fig. 2). This might indicate that the major enrichment of gold took place above or near the base surface, due to intensive tropical or subtropical weathering, most probably during the Sub-Cretaceous hothouse. The base surface was elevated to at least 300 m during the Tertiary and gold was then enriched in placers, first in undulating landscapes with gently sloping river valleys probably during Paleocene plain development (Fig. 7) and in later Tertiary in striped landscape and steeper valleys (Fig. 8C). Several glaciations repeatedly drifted and diluted the original gold-rich placers (Fig. 8D).

It has been proposed that the crosscutting faults host the bedrock source of gold nuggets. Several prospects have accordingly focused on the faults and associated veins, but with depressing results. A quick look at Fig. 1 shows the correlation of claims and faults, but a closer inspection points to the correlation of claims with intersection of faults (or more closely, sub-brittle shear zones) and electrically conductive layers of the granulite belt. Shear zones could be the major channel for the Au-bearing fluid, but on a physicochemical basis, some lithologies would definitely work intensively to change the fluid composition to low Au solubility.

Kirjallisuus

- Airas, K., 1984. Kaivoslain 19 pyk. mukainen tutkimus-työselostus: Inari, Hirvasselkä 1, kaiv. rek. n:o 3211/1. Lapin Malmi Oy, Raportti 080/3831/KA/84/6. 1 s + 4 liitesivua.
- Arne, D.C., House, E., Turner, G., Scott, K. ja Dronseika, E., 2009. Exploration of deeply buried gold deposits in northern Victoria: soil regolith and groundwater geochemistry of the Lockington and Fosterville East gold deposits. *GeoScience Victoria Gold Undercover Report 10*, Department of Primary Industries, 54 s.
- Arzamastsev, A.A., Bea, F., Glaznev, V., Arzamastseva, L. ja Montero, P., 2001: Kola alkaline province in the Paleozoic: evaluation of primary mantle magma composition and magma generation conditions. *Russian Journal of Earth Sciences* 3:3–24.
- Averill, S.A., 2001. The application of heavy indicator mineralogy in mineral exploration with emphasis on base metal indicators in glaciated metamorphic and plutonic terrains. Teoksessa: McClenaghan, M.B., Bobrowsky, P.T., Hall, G.E.M. ja Cook, S.J. (toim.), *Drift Exploration in Glaciated Terrain*. Geological Society of London, Special Publication 185, 69–81.
- Calvert, J., 1853. The gold rocks of Great Britain and Ireland. Chapman and Hall, Lontoo, 324 s + 1 liite.
- Chapman, R., Leake, B. ja Styles, M., 2002. Microchemical characterization of alluvial gold grains as an exploration tool. *Gold Bulletin* 35:53–65.
- Chapman, R.J., Mortensen, J.K. ja LeBarge, W.P., 2011. Styles of lode gold mineralization contributing to the placers of the Indian River and Black Hills Creek, Yukon Territory, Canada as deduced from microchemical characterization of placer gold grains. *Mineralium Deposita*, 46:881–903.
- The Colliery Engineering Company, 1897. *Placer Mining, A Hand-book for Klondike and Other Miners and Prospectors*. Scranton, Pennsylvania, 146 s.
- Craw, D. ja Kerr, G., 2017. Geochemistry and mineralogy of contrasting supergene gold alteration zones, southern New Zealand. *Applied Geochemistry* 85:19–34.
- Craw, D., Hesson, M. ja Kerr, G., 2017. Morphological evolution of gold nuggets in proximal sedimentary environments, southern New Zealand. *Ore Geology Reviews* 80:784–799.
- Dunn, E.J., 1912. List of nuggets found in Victoria. *Memoirs of the Geological Survey of Victoria* 12, 66 s.
- Eilu, P., 1999. FINGOLD – a public database on gold deposits in Finland. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti* 146, 224 s + 2 liitettä.
- Ervamaa, P. ja Saarinen, V., 1991. Ajatuksia Lapin irtokullan alkuperästä. *Geologi* 43:55–56.
- Faleide, J.I., Tsikalas, F., Breivik, A.J., Mjelde, R., Ritzmann, O., Engen, Ø., *et al.*, 2008. Structure and evolution of the continental margin off Norway and the Barents Sea. *Episodes* 31:82–91.
- Ferguson, H.G., 1924. *Geology and ore deposits of the Manhattan district, Nevada*. United States Geological Survey, Bulletin 723, 163 s.
- Forsström, L. ja Tuisku, P., 1990. Missä on Lapin kullan emäkallio? *Geologi* 42:147–150.
- Forsström, L. ja Tuisku, P., 1993. Lapin irtokullan paikallisuudesta ja kulkeutumisesta. *Geologi* 45:71–76.
- Frietsch, R., Tuisku, P., Martinson, O. ja Perdahl, J.-A., 1997. Cu-(Au) and Fe ore deposits associated with Na-Cl-metasomatism in Early Proterozoic rocks of northern Fennoscandia: a new metallogenic province. *Ore Geology Review* 12:1–34.
- Hakku, 2018. <https://hakku.gtk.fi/fi/pictures> [30.5.2018]
- Hall, A.M., 2015. Phanerozoic denudation across the Kola Peninsula, Northwest Russia: implications for long-term stability of Precambrian shield margins. *Norwegian Journal of Geology* 95:27–43.
- Hall, A.M., Sarala, P. ja Ebert, K., 2015. Late Cenozoic deep weathering patterns on the Fennoscandian shield in northern Finland: A window on ice sheet bed conditions at the onset of Northern Hemisphere glaciation. *Geomorphology* 246:472–488.
- Hayashi, K. ja Ohmoto, H., 1991. Solubility of gold in NaCl-and H₂S-bearing aqueous solutions at 250–350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 2111–2126.
- Henry, D.A. ja Birch, W.D., 2007. The Occurrence and Origin of Gold Nuggets in Victoria, Australia. *Rocks & Minerals* 82:188–198.
- Hendriks, B., 2003. Cooling and Denudation of the Norwegian and Barents Sea Margins, Northern Scandinavia: Constrained by Apatite Fission Track and (U-Th)/He Thermochronology. *Academisch Proefschrift, Vrije universiteit, Amsterdam*, 173 s.
- Hendriks, B., Andriessen, P., Huigen, Y., Leighton, C., Redfield, T., Murrell, G., *et al.*, 2007. A fission track data compilation for Fennoscandia. *Norwegian Journal of Geology* 87:143–155.
- Hirvas, H., 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland. Bulletin* 354, 123 s.
- Holdgate, G.R., Wallace, M.W., Gallagher, S.J., Witten, R.B., Stats, B. ja Wagstaff, B.E., 2006. Cenozoic fault control on ‘deep lead’ palaeoriver systems, Central Highlands, Victoria. *Australian Journal of*

- Earth Sciences 53:445–468.
- Hough, R.M., Butt, C.R.M., Reddy, S.M. ja Verrall, M., 2007. Gold nuggets: supergene or hypogene? *Australian Journal of Earth Sciences* 54:959–964.
- Hulkki, H., Sarala, P. ja Karinen, T., 2011. Petäjäselkä gold occurrence. Teoksessa: Sarala, P. ja Ojala, V.J. (toim.), *Geochemical and indicator mineral exploration methods and ongoing projects in the glaciated terrains in northern Finland. Excursion guide in the 25th International Applied Geochemistry Symposium 2011, 22–26 August 2011, Rovaniemi, Finland. Vuorimiesyhdistys – Finnish Association of Mining and Metallurgical Engineers, Serie B 92-11, 39–44.*
- Islam, M.R., Peuraniemi, V., Aario, R. ja Rojstaczer, S., 2002. Geochemistry and mineralogy of saprolite in Finnish Lapland. *Applied Geochemistry* 17: 885–902.
- Jenkins, O.P., 1964. *Geology of placer deposits. California Division of Mines and Geology, Special Publication 34, 27 s.*
- Kangas, A., 2012. Pohjois-Lapin kultapitoisten moreenien raskasmineralogia. Julkaisematon pro gradu -tutkielma. Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto, 55 s + 3 liitettä.
- Kauranne, I.K., Gustavsson, N., Hyvärinen, L., Kortman, C., Osara, L., Väättäin, J., *et al.*, 2010. Ikuisesti nuori, Geologian tutkimuskeskuksen 125-vuotishistoriikki. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 185 s.
- Keinänen, V., Lahti, I., Sarala, P. ja Sarapää, O., 2010. Kultatutkimukset Inarin Laanilassa vuosina 2005–2009. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/3831/2010/26, 20 s + 19 liitesivua.
- Kerr, G., Falconer, D., Reith, F. ja Craw, D., 2017. Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand. *Sedimentary Geology* 361:52–63.
- Kinnunen, K., 1996. Classification scheme for surface textures of gold nuggets from Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 68: 18–33.
- Kinnunen, K., 2000. Tankavaaran Ruosteojalta nykyisen turistihuhtomon kohdalta heinäkuussa 1950 löytyneen Virtasen kultasekahipun (187 g) tutkimus. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/3742/2000/1, 7 s.
- Kinnunen, K., Johansson, B. ja Karhunen, P., 2004. Miessijoelta heinäkuussa 2004 löydetyn 282 g painoisen kultahipun petrografian, mineraaliekemian ja löytöhistorian dokumentaatio Geologian tutkimuskeskus, Raportti M 19/3812/2004/2, 13 s.
- Kinnunen, K., Johanson, B. ja Leino, M., 2008. Sotajoen 192 g kultasekahippu. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/3813/2008/60, 7 s.
- Knight, J.B., Morison, S.R. ja Mortensen, J.K., 1999a. The relationship between placer gold particle shape, rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada. *Economic Geology* 94: 635–648.
- Knight, J.B., Mortensen, J.K. ja Morison, S.R., 1999b. Lode and placer gold composition in the Klondike District, Yukon Territory, Canada; implications for the nature and genesis of Klondike placer and lode gold deposits. *Economic Geology* 94:649–664.
- Korja, T., Tuisku, P., Pernu, T. ja Karhu, J., 1996. Field, petrophysical and carbon isotope studies on the Lapland Granulite Belt: implications for deep continental crust. *Terra Nova* 8:48–58.
- Korvuo, E., 1985. Kaivoslain 19 pyk. mukainen tutkimustyöselostus. YLLÄS 1, kaiv.rek.nro 2916/1, YLLÄS 2, kaiv.rek.nro 2957/1. Lapin Malmi, tutkimustyöselostus 080/27 32/EK/8 5/1, 2 s + 14 liitettä.
- Korvuo, E. ja Pelkonen, R., 1984. Ylläksen Fe-Cu-Au-mineralisaation jatkokatkimukset. Lapin Malmi, raportti 001/2732/EK, RP/84/14, 103 s.
- Laajoki, K., 1975. On the stratigraphic position of kaolin in Väyrylänkylä, South Puolanka area, Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 47: 83–91.
- Lahtinen, K., 2008. Lapin korundin alkuperä. *Res Terrae Series B*, nro. 19, 60 s. + 12 liitettä.
- Lapin Kansa 14.8.2017. Lemmenjoen Puskuojalta löytyi 60-grammainen kultahippu – Piileksiikö hipun isovelji lähistöllä?
- Lapin Kansa 15.8.2017. Jälleen kulturalöytö: Nyt löytyi oikea jätti!
- Larizzatti, J.H., Oliveira, S.M.B.D., ja Butt, C.R.M., 2008. Morphology and composition of gold in a lateritic profile, Fazenda Pison “Garimpo”, Amazon, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 25:359–376.
- Leake, R.C., Chapman, R.J., Blanda, D.J., Stone, P., Cameron, D.G. ja Styles, M.T., 1998. The origin of alluvial gold in the Leadhills area of Scotland: evidence from interpretation of internal chemical characteristics. *Journal of Geochemical Exploration* 63:7–36.
- Lidmar-Bergström, K., 1995. Relief and saprolites through time on the Baltic Shield. *Geomorphology* 12:45–61.
- Lidmar-Bergström, K., 1996. Long term morphotectonic evolution in Sweden. *Geomorphology* 16:33–35.
- Lidmar-Bergström, K. ja Näslund, J., 2002. Landforms

- and uplift in Scandinavia. Teoksessa: Doré, A.G. (toim.), Exhumation of the North Atlantic margin: timing, mechanisms and implications for petroleum exploration. Geological Society of London, Special Publication 196, 103–116.
- Lidmar-Bergström, K., Olsson, S. ja Olvmo, M., 1997. Palaeosurfaces and associated saprolites in southern Sweden. Teoksessa: Widdowson, M. (toim.), Palaeosurfaces: Recognition, Reconstruction and Interpretation. Geological Society of London, Special Publication 120, 95–124.
- Lidmar-Bergström, K., Olsson, S. ja Roaldset, E. 1999. Relief features and palaeoweathering remnants in formerly glaciated Scandinavian basement areas. Teoksessa: Thiry, M. ja Simon-Coinçon, R. (toim.), Palaeoweathering, palaeosurfaces and related continental deposits. International Association of Sedimentologists (IAS) Special publication 27, 275–301.
- Lintinen, P., 2002. Kaoliinitutkimukset Sallan Mato-vaarassa, Sadinmaassa ja Husumaassa vuosina 1999–2001. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/4621/2002/1/82, 8 s + 3 liitettä.
- Lintinen, P., 2003. Kaoliinitutkimukset Pelkosenniemen Mätäsaavalla ja Sallan Vittikossa 1999–2001. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/3731,3643, 3644/2003/1/82, 12 s + 4 liitettä.
- Lisitsin, V.A., Moore, D.H., Olshina, A. ja Willman, C.E., 2010. Undiscovered orogenic gold endowment in Northern Victoria, Australia. Ore Geology Reviews 38:251–269.
- Lundgren, T., 2015. Karasjoen vihreäkivivyöhykkeen kultarakeiden ominaispiirteet. Julkaisematon pro gradu -tutkielma. Maantieteen ja geologian laitos, Turun yliopisto, 108 s + 3 liitettä.
- Matikainen, K., 2013. Raahen Laivakankaan South Shear Zone –hiertovyöhykkeen kullan mineralogia. Julkaisematon luonnontieteiden kandidaatin tutkielma, Oulun yliopiston geologian laitos, 37 s.
- McClenaghan, M.B., ja Kjarsgaard, B.A., 2001. Indicator mineral and geochemical methods for diamond exploration in glaciated terrain in Canada. Teoksessa: McClenaghan, M.B., Bobrowsky, P.T., Hall, G.E.M ja Cook, S.J. (toim.), Drift Exploration in Glaciated Terrain. Geological Society of London, Special Publication 185, 83–123.
- Mineral Deposits and Exploration, 2017. <http://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html> [31.08.2017]
- Moore, D.H., 2007. Classifying gold-bearing deposits in central and western Victoria, Australia. Geo-Science Victoria Gold Undercover Report 1, Department of Primary Industries, 32 s.
- Mäkelä, M., 1984. Raahen Laivakankaan kvartsi-arseenikiisukultaesiintymä. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopiston geologian laitos, 105 s.
- Mäkinen, E., 1920. Tietoja Suomen mineraaliteollisuuden nykyisestä tilasta ja kehitysmahdollisuuksista. Geoteknillisiä tiedonantoja 26, 67 s.
- Nenonen, J., 2003. Maaperätutkimukset Inarin Palsinojalla ja Sodankylän Kultaojalla. Geologian tutkimuskeskus, Raportti P 23.4.020, 23 s + 55 liitesivua.
- Niska, L., 2006. Maaperägeologisia kultatutkimuksia Ruosellässä Sodankylän kunnassa. Julkaisematon liseniaattityö, Oulun yliopisto, Geotieteiden laitos, 89 s + 8 liitettä.
- Nurmi, P.A., Huhta, P. ja Hakala, P., 1991. Rapakallio- ja moreeninäytteenoton jalometallitulokset Inarin Naukussuon alueella vuonna 1991. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M 19/3812/-91/1, 14 s + 22 liitettä.
- Ojala, V.J. (toim), 2007. Gold in Central Lapland Greenstone Belt. Geological Survey of Finland, Special Paper 4, 269 s.
- Ojala, V.J., 2017. Kulta ja poikittaissiirrokset. Esitelmä Lapin Kullankaivajien Liiton seminaarissa 26.–28.1.2017. <https://www.kultahippu.fi/wp-content/uploads/2017/01/Tranfer-%E2%80%93Siirtym%C3%A4-Kulta-ja-poikittaissiirrokset.pdf> [17.11.2018]
- Olesen, O., Bering, D., Brönnner, M., Dalsegg, E., Fabian, K., Fredin, O., *et al.*, 2012. Tropical weathering in Norway, TWIN Final Report. Geological Survey of Norway, Report 2012.005, 188 s.
- Olesen, O., Kierulf, H.P., Brönnner, M., Dalsegg, E., Fredin, O. ja Solbakk, T., 2013. Deep weathering, neotectonics and strandflat formation in Nordland, northern Norway. Norwegian Journal of Geology 93:189–213.
- Partanen, S.J., 1999. Sankareita, veijareita ja huijareita, Lapin kultan tarina. Edita, Tampere, 248 s.
- Peronius, A., 2017. Placer-kultaesiintymän synty. Esitelmä Lapin Kullankaivajien Liiton seminaarissa 26.–28.1.2017. <https://www.kultahippu.fi/wp-content/uploads/2017/01/Placer-kultaesiintym%C3%A4n-synty.pdf> [17.11.2018]
- Pesonen, L.J., Elming, S.-Å., Mertanen, S., Pisarevsky, S., D’Agrella-Filho, M.S., Meert, J.G., *et al.*, 2003. Palaeomagnetic configuration of continents during the Proterozoic. Tectonophysics 375:289–324.
- Peuraniemi, V., 2018. Eräitä näkökohtia moreenin raskasmineraalitutkimusten käytöstä malminetsinnässä. Geologi 70:35–42.
- Phillips, G.N. ja Evans, K.A., 2004. Role of CO₂ in the formation of gold deposits. Nature 429:860–863.
- Phillips, G.N. ja Powell, R., 2010. Formation of gold

- deposits: a metamorphic devolatilization model. *Journal of Metamorphic Geology* 28:689–718.
- Phillips, G.N., Hughes, M.J., Arne, D.C., Bierlein, F.P., Carey, S.P., Jackson, P., *et al.*, 2003. Gold. Teoksessa: Birch, W.D. (toim.), *Geology of Victoria*. Geological Society of Australia special publication 23, Geological Society of Australia (Victoria Division), 377–433.
- Prokoph, A. ja Veizer, J., 1999. Trends, cycles and non-stationarities in isotope signals of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology* 161:225–240.
- Prospectors' & Miners' Association Victoria, 2017. Triangle Gold. <http://pmav.org.au/articles/triangle-gold> [30.11.2018]
- Pulkkinen, E., Keinänen, V., Salmirinne, H., 2005. The Sakiatieva gold prospect in the Central Lapland Greenstone Belt, Finland. *Geological Survey of Finland, Report CM06/3741/2005/1/10*, 29 s.
- Rohrman, M.H.E.J., van der Beek, P.A., Andriessen, P.A.M. ja Cloetingh, S., 1995. Meso-Cenozoic morphotectonic evolution of southern Norway: Neogene domal uplift inferred from apatite fission-track thermochronology. *Tectonics* 14:704–718.
- Saarninen, V., 1981. Raportti R. Vehviläisen kultatutkimusalueelta Sotajoella vuonna 1981. *Geologian tutkimuskeskus, Raportti P13.52.2.020*, 9 s + 21 liitettä.
- Saarnisto, M. ja Tamminen, E., 1985. Lapin kultaprojektin loppuraportti. Lapin kultaprojekti, raportti no. 3, Oulun yliopiston geologian laitos, 88 s.
- Saarnisto, M. ja Tamminen, E., 1987. Placer gold in Finnish Lapland. Teoksessa: Keanu, R. ja Saarnisto, M. (toim.), *INQUA Till Symposium, Finland 1985*. Geological Survey of Finland, Special Paper 3, 181–194.
- Sarapää, O., ja Sarala, P., 2013. Rare earth element and gold exploration in glaciated terrain: example from the Mäkäri area, northern Finland. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 13:131–143.
- Scotese, R.S., 2016. A new global temperature curve for the Phanerozoic. *GSA Annual Meeting in Denver, Colorado, USA – 2016*, Geological Society of America Abstracts with Programs 48, nro 7.
- Stewart, J., Kerr, G., Prior, D., Halfpenny, A., Pearce, M., Hough, R., *et al.*, 2017. Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geology Reviews* 88:43–56.
- Stigzelius, H., 1987. Kultakuume, Lapin kullan historia. *Suomen matkailuliitto, Jyväskylä*, 259 s.
- Svedelius, G., 1874. Kaavamainen esitys kullan esiintymisestä Ivalojoella. Vuorihallitus. Piirros. <https://hakku.gtk.fi/fi/maps> [17.11.2018]
- Tamminen, E., 1986. Ivalojoen alueen kultahippujen kemiallinen koostumus, mineralogia ja geologinen tausta. *Julkaisematon pro gradu -tutkielma*. Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto, 84 s.
- Teisseyre, A.K., 1991. The deluvial (slopewash) system: a proposal. *Bulletin – Polish Academy of Sciences: Earth Sciences* 39:381–388.
- Taylor, D.H. ja Gentle, L.V., 2002. Evolution of deep-lead palaeodrainages and gold exploration at Ballarat, Australia, *Australian Journal of Earth Sciences* 49:869–878.
- Tuisku, P., 2010. Heavy minerals from gold sluicings in the Lapland Gold Rush areas, and their bearing on the origin of gold bearing tills. Teoksessa: Tuisku, P. ja Nemliher, J. (toim.), *Proceedings of the 5th Annual Meeting of the Nordic Mineralogical Network, Tallinn, 14th–18th June 2010*. *Res Terrae Series A*, nro 31, 33–37.
- Tuisku, P., 2017. Kultahippujen alkuperä. Esitelmä Lapin Kullankaivajien Liiton seminaarissa 26.–28.1.2017. <https://www.kultahippu.fi/wp-content/uploads/2017/01/Kullan-l%C3%A4hteet.pdf> [17.11.2018]
- Tuisku, P., 2018. Indicator minerals obtained by gold sluicing in Lapland, a clue to possible deposit types in the area. *Abstract Volume, 33rd Nordic Geological Winter Meeting, 10th–12th January, Copenhagen*, 107–108.
- Tuisku, P., Mikkola, P. ja Huhma, H., 2006. Evolution of Migmatitic Granulite Complexes: Implications from Lapland Granulite Belt, Part I: Metamorphic geology. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 78:71–105.
- Velasco, F., Herrero, J.M., Suárez, S., Yusta, I., Alvaro, A. ja Tornos, T., 2013. Supergene features and evolution of gossans capping massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt. *Ore Geology Reviews* 53:181–203.
- Vesilahti, V., 2016. Petrographic, mineralogical and geochemical study of the Mäkäri Au-Fe mineralization, Tanaelv belt, northern Finland. *Julkaisematon pro gradu -tutkielma*. Kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto, 90 s + 19 liitettä.
- Weston, K.S., 1992. Minerals of Victoria: 1: 1 000 000 Map Report. Geological Survey of Victoria, Report 92, 68 s.
- Willman, C.E., 2010. Gold Undercover – summary of geological findings. *GeoScience Victoria Gold Undercover Report 24*, Department of Primary Industries, 62 s.
- Yesares, L., Sáez, R., Nieto, J.M., De Almodovar, G.R., Gómez, C. ja Escobar, J.M., 2015. The Las Cruces deposit, Iberian Pyrite Belt, Spain. *Ore Geology Reviews* 66:25–46.