Fennoskandiasta viidakkoon – rapakiviä "Brasilian Lapissa"

Ivete Sangalon sambatahdit raikuvat maasturin kopissa ja ilmastointi puskee viileätä ilmaa tropiikin kuumentamalle takapenkille. Hiki virtaa puhurista huolimatta vuolaana. Vihreät seinät nousevat tien molempia reunoja kohti parinkymmenen metrin korkeudessa huojuvia täysin tunnistamattomien

UNESCO:n International Geoscience Programme -ohjelman A-tyypin graniittien ja niihin liittyvien kivien projektin (IGCP-510; Frost et al. 2007) puitteissa ja Suomen Akatemian rahoittamana tehtiin Helsingin yliopiston, Parán valtionyliopiston (Belém) ja CPRM:n (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil) Rio de Janeiron sekä Amazonasin aluetoimistojen yhteistyönä kenttätöitä tammikuussa 2008 Pohjois-Brasilian - syrjäiseksikin luonnehditussa - Roraiman osavaltiossa (kuva 1.B). Roraimassa sijaitseva Mucajaíkompleksi (kuva 1.A; Fraga 2002, Fraga et al. 2006) on ainoa Etelä-Amerikasta tunnettu proterotsooinen AMCG-assosiaatio (anortosiitti-mangeriitti-charnockiitti-graniitti), joka on verrattavissa klassiseen anorogeenisten ympäristöjen anortosiitti-mangeriitti-graniitti-kolmiyhteyteen (kuva 2; vrt. Anderson 1983). Kompleksi liittyy Guyanan kilven länsiosissa sijaitsevaan, noin 700 km:n pituiseen luode-kaakkosuuntaiseen rapakivivyöhykkeeseen (ns. Parguaza tapahtuma 1550–1530 Ma; Mendoza 1975).

Rapakivigraniitteja sisältävän Mucajaí-kompleksin kiteytymisikä on n 1,55 Ga (Fraga 2002), mikä on lähellä myös suomalaisen rapakiviassosiaation ikää (1650–1540 Ma; Rämö ja Haapala 2005). Näiden samankaltaisuuksien vuoksi se on myös otettu mukaan Suomen Akatemian tutkimusprojektiin "Anortosiittien ja sedimenttialtaiden merkitys proterotsooisten A-tyypin graniittien synnyn kannalta" (2007–2010, vast. joht. T. Rämö), jossa vertaillaan erityisesti näissä kivilajiseurueissa esiintyviä anortosiittisia kiviä kolmella prekambrisella kilpialueella (ks. Heinonen 2007). Amazonian Mucajaí-kompleksin lisäksi tutkimuksessa on mukana Fennoskandiasta Ahveniston rapakivi-anortosiittikompleksi (mm. Alviola et al. 1999) ja Laurentian eteläosasta Uusi Meksiko ja lähialueet (mm. Rämö et al. 2003). Tutkimuksen tarkoituksena on Mucajaí-kompleksin osalta tarkentaa erityisesti intruusiofaasien geokronologiaa määrittämällä ID-TIMS U-Pb -iät yhteistyössä GTK:n isotooppilaboratorion kanssa.

Tammikuun tutkimusmatka keskittyi ikänäytteiden hankintaan ja kompleksin yleisten kallioperägeologisten piirteiden kartoitukseen. Tämän parin puiden latvuksia. Urakaan ei oikeastaan ole mutaista kärrypolkua kummempi, mutta kummasti neliveto-Hilux jaksaa lampi toisensa jälkeen kahlata. Hitaasti mutta varmasti se ryömii kohti tien päässä odottavaa palkintoa; anortosiitit odottavat katsojaansa.

viikon täsmäiskun mahdollisti paikallisten yhteyshenkilöiden vankka kenttätyökokemus vaativissa viidakko-olosuhteissa. CPRM:n edustajina mukana kenttätöissä olivat Pohjois-Amazonian viidakoissa toistakymmentä vuotta työskennellyt Lêda Maria Fraga sekä Amazonian alueen geologisesta tutkimuksesta ja kartoituksesta vastaava aluepäällikkö Nelson Joaquim Reis. CPRM:n Amazonian aluetoimisto asetti myös käyttöömme erittäin kokeneista kenttäavustajista koostuneen 6-miehisen logistiikkaryhmän, jonka tuki mahdollisti kenttätutkimukset Rio Repartimentolla (kuva 3). Lisäksi Parán yliopistolta seuraamme liittyi ensimmäiseksi viikoksi paikallinen graniittiutkimuksen veteraani, professori Roberto Dall'Agnol.

Kenttätyöt tehtiin kahdessa viikon mittaisessa osassa. Ensimmäinen viikko muistutti hyvin paljon normaalia ekskursio- tai kenttätyötoimintaa, jonka aikana majoituimme kompleksin tuntumassa sijaitsevan Iraceman kylän (kuva 1) tienvarsimotellissa. Kohteet olivat helppopääsyisiä tienvarsipaljastumia, jotka alueen geologiasta parhaiten perillä oleva Lêda oli etukäteen valinnut vierailukohteiksi. Viikon aikana tutustuttiin kompleksin ja sen ympäristön yleiseen geologiaan, nähtiin anortosiittisia kiviä, kvartsi-fayaliitti mangeriitteja ja lopulta myös ihan oikeita rapakivigraniittejakin.

Toisesta viikosta muodostui retken haasteellisin osuus. Viikon alkajaisiksi ajoimme syvällä Mucajaín viidakossa sijaitsevaan Rio Repartimenton "kalasatamaan" (kuvat 4 ja 5), jossa meitä odottivat CPRM:n jokilaivurit. Tarkoituksena oli laskeutua ulkolaitamoottoreilla varustetuilla veneillä Rio Repartimentoa pitkin etelään, kohti Repartimentoanortosiitin kontaktivyöhykettä ja samalla kartoittaa joen varrella paljastuneen anortosiitin eri tyyppejä. Tutkimusmatkan tammikuinen ajankohta oli suunniteltu niin, että vesi olisi tarpeeksi matalalla mahdollistaen paljastumien tarkastelun (kuva 6), mutta kuitenkin sen verran ylhäällä, että matkanteko veneillä olisi edelleen mahdollista. Vajaan viikon ajan majoituimme CPRM:n kenttämiesten joen länsirannalle rakentamassa viidakkotukikohdassa (kuva 7). Rio Repartimento on myös Roraiman



osavaltion luoteisosat kattavan Yanomami-intiaanien reservaatin raja, joten vastarannalle ei –varsinkaan geologeilla – ollut rantapusikkoa pidemmälle mitään asiaa.

Mucajaí-kompleksin geologiaa

Mucajaí-kompleksi koostuu kolmesta litologisesti toisistaan eroavasta intruusiofaasista, jotka muodostavat käänteisesti vyöhykkeisen, kehämäisen rakenteen. Uloin vyöhyke koostuu biotiitti-sarvivälkegraniitista (BSG), joka kompleksin uloimpiin koillisosiin vaihettuu kehittyneemmäksi biotiittigraniitiksi (BG). Kompleksin pääkivilaji on harmaa, pääosin pyterliittinen monzo- ja syenograniittisista kvartsimonzoniittisiin koostumuksiin vaihteleva rapakivigraniitti (kuva 8). Kompleksin lounaisreunaan tunkeutuneen Repartimento anortosiitin ja graniittisen osan väliin jää kvartsi-fayaliittimangeriitista (kuva 9) ja -syeniitistä koostuva vyöhyke (FMS). Tämän kivet muistuttavat pyrokseeneja, sarvivälkettä ja fayaliittia sisältävän mafisen mineraaliseu-



Kuva 2. Eräiden anorogeenisissä ympäristöissä tavattavien kivilajien luokittelu Streckeisenin (1976) mukaan. A. Anortosiittiset kivet (M<35) luokitellaan mafisten mineraalien (oliviini-ortopyrokseeni-klinopyrokseeni) määräsuhteiden perusteella. Varsinainen anortosiitti on plutoninen kivi, joka sisältää yli 90 % plagioklaasia. B. Charnockiittisten kivien QAP-kolmiota käytetään luokiteltaessa sellaisia syväkiviä, joiden mafisena mineraalina tavataan ortopyrokseenia. Figure 2. Classification of some of the rocks in anorogenic environments (following Streckeisen 1976). A. Anorthositic rocks (M < 35) are classified based on the relative amounts of mafic minerals (olivine-orthopyroxene-clinopyroxene) present. True anorthosite is a plutonic rock that consists of more than 90% of plagioclase. B. QAP-triangle of charnockitic rocks may be used in classification of plutonic rocks containing orthopyroxene as a mafic mineral.



rueensa puolesta lähinnä Etelä-Suomesta kuvattuja tiriliittejä. Varsinainen Repartimento-anortosiitti on paljastunut noin 90 km²:n alueella ja koostuu paikoin hyvinkin karkearakeisesta, silmiinpistävän leukokraattisesta anortosiitista ja leukogabroideista. Se näyttäisi olevan tunkeutunut kompleksin felsisempien osien ja sivukivien kontaktiin. Anortosiitti (M<10; kuva 10) on intruusion pääkivilaji, mutta pyrokseenien ja ilmeniitin määrä kasvaa yleisesti kohti pohjoista kontaktia, jonka tuntumassa tummemmat (10<M<25) leukogabroidiset kivet ovat yleisempiä kuin etelässä. Kivilajien tai kompleksin ja sivukivien välisiä kontakteja ei tunneta alueen vaikeakulkuisuuden ja paljastumien vähäisen määrän vuoksi, joten intruusiovaiheiden väliset suhteet on tulkittu lähinnä geofysikaalisen aineiston ja kivistä tehtyjen aiempien ikämääritysten perusteella (BG: 1544 ± 44 Ma, Gaudette et al. 1996; FMS:1538 ± 5 Ma, Fraga 2002; anortosiitti:1527 ± 7 Ma, Santos et al. 1999). Kontaktien luonteesta ei ole varmuutta, joskin graniittisten faasien on ainakin aiemmin oletettu olevan samankantaisia ja FMS-sarjan sekä anortosiitin näistä erillisiä, omia intruusiovaiheitaan.

Rapakivigraniitit (BSG ja BG)

Rapakivitekstuuri ei Mucajaín graniiteissa ole kovin hyvin kehittynyt. Suurin osa mafisemmistakin granitoideista on pyterliittisiä kiviä, joissa kalimaasälpäkiteiden plagioklaasikehiä tavataan vain paikallisesti. Mielenkiintoisena seikkana mainittakoon, että kompleksin granitoidit ovat harmaita, mistä johtuen paikalliset oppaamme olivat kirjaimellisesti järkyttyneitä nähdessään värikuvat kirkkaanpunaisista Etelä-Suomen viborgiiteista.

GEOLOGI 60 (2008)

Kuva 3. Rio Repartimenton kenttäryhmä: Tapani Rämö (vas.), Aku Heinonen, Luis Ramires, Lêda Fraga, Nelson Reis, kuljettaja Marcos, José Carneiro, Luis Rodrigues, Aluísio Ramos ja Valdir Nogueira. Kuva: Nelson Reis.

Figure 3. The Rio Repartimento field team: Tapani Rämö (on left), Aku Heinonen, Luis Ramires, Lêda Fraga, Nelson Reis, driver Marcos, José Carneiro, Luis Rodrigues, Aluísio Ramos ja Valdir Nogueira. Photo: Nelson Reis.

Muuten pääfaasin biotiitti-sarvivälkegraniitti (BSG; kuva 8) ja tätä kehittyneempi biotiittigraniitti (BG) ovat normaaleja pyterliittisiä rapakivigraniitteja, joita leimaavat A-tyypin kiviin yleisesti liitettävät laatansisäisten magmakivien luonteenomaiset geoke-

mialliset piirteet: per/metalumiinisuus, korkeat K/ Na, Rb/Sr ja Fe/Mg sekä LREE-rikastuminen (Fraga *et al.* 2006). Biotiitti-sarvivälkegraniitti sisältää hajarakeina karkeita kalimaasälpäovoideja, pisarakvartsia sekä plagioklaasista, sarvivälkkeestä ja biotiitista koostuvan vierasmuotoisen välitilaparageneesin. Biotiittigraniitin hajarakeet ovat useammin omamuotoisia kalimaasälpäkiteitä, pienikokoisempia kuin biotiitti-sarvivälkegraniitissa. Lisäksi biotiittigraniitin biotiitti on koostumukseltaan erilaista pääfaasin graniittiin verrattuna – fluoriitti ja allaniitti esiintyvät siinä yleisemmin aksessorisina mineraaleina.

Kvartsi-fayaliittimangeriitti ja -syeniitti (FMS-sarja)

Kompleksin mangeriittinen osa ei suoranaisesti vastaa mitään Etelä-Suomen rapakiviassosiaatiosta tunnettua kivilajia, vaikka sen mafinen mineraalikoostumus onkin hyvin pitkälti tiriliittien kaltainen. Tiriliiteistä poiketen näissä mangeriittisissa kivissä (kuva 9) tavataan yleisesti plagioklaasikehällisiä kalimaasälpäkiteitä ja kivien SiO₂-pitoisuus on myös kautta linjan alle 60 p-%; suomalaiset tiriliitit ovat tätä felsisempiä (SiO₂ yleisesti yli 62 p-%, mm. Rämö 1991). Mangeriittiset kivet eivät myöskään vastaa Viipurin batoliitin eteläosissa tavattuja tummia viborgiitteja, koska ne eivät sisällä sekaantumisprosessista todistavaa labradoriittista plagioklaasia (ks. Turkki 2005).

A-tyypin ympäristöistä tunnetaan yleisesti myös volyymiltään bimodaalisen seurueen granitoideja ja anortosiittisia kiviä vähäisempiä intermediäärisiä kivilajeja. Tämän ferrodioriittisen "välijäsenen" kiviä ovat muun muassa Ahveniston kompleksin yhteydestä tunnetut kvartsimonzodioriitit. Joidenkin havaittujen piirteiden perusteella saattaisi olettaa, että FMS-sarjan kivet voisivat vastata näitä kvartsimonzodioriittisia kiviä. Tämän yhteyden tutkimiseksi kivistä otettiin lisänäytteitä CPRM:ssa tehtäviä geokemiallisia analyysejä varten.

Anortosiittiset kivet

Repartimento-anortosiitti on kokonaisuudessaan hyvin leukokraattinen ja monotoninen. Anortosiitti koostuu miltei kokonaan (>90%) omamuotoisista plagioklaasiliistakkeista, joiden välitiloissa on yleensä vain vähäisissä määrin pyrokseeneja.



Kuva 4. Repartimento-anortosiitti ja Rio Repartimento. Veneet laskettiin joelle tien päässä sijainneesta paikallisesta "kalasatamasta". Viidakossa tehtyjen kenttätöiden ajan tukikohta sijaitsi Repartimenton anortosiitti-intruusion keskivaiheilla. Eteläisimmät havainnot FMS-sarjan ja anortosiitin kontaktin tarkentamiseksi tehtiin karttaan merkityn sijainnin tuntumassa. Selitteet kuten kuvassa 1, koordinaatit Córrego Alegre järjestelmässä. Karttapohja: Lêda Fraga.

Figure 4. Repartimento anorthosite and the River Repartimento. The river was entered via a local "fishing harbour" in the north. The encampment during the field work in the jungle was located in the middle part of the anorthosite intrusion. The southernmost location marked on the map is where the most remote observations were made to determine the contact between the anorthosite and the country rocks. Legend as in figure 1, co-ordinates in Córrego Alegre reference system. Base map: Lêda Fraga. Joissain anortosiitti-intruusion pohjoisosan kivissä tavattiin myös pieniä määriä interstitiaalista kalimaasälpää ja kvartsia. Miltei kaikki kompleksin anortosiittiset kivet sisältävät myös jonkin verran ilmeniittiä. Lisäksi melkein jokaisella kartoitetulla paljastumalla anortosiitissa havaittiin vaihtelevia määriä sekundääriseksi tulkittua biotiittia.

Vaikka anortosiitit ovatkin mineraalikoostumukseltaan melko yksitoikkoisia, on niiden rakenteissa ja tekstuureissa havaittavissa merkittävää vaihtelua. Täysin massiivista ja suuntautumatonta anortosiittia kompleksista ei juuri löydy. Suurin osa anortosiiteista sisältää plagioklaasimegakiteitä, joiden koko vaihtelee muutamista senteistä kymmeniin sentteihin. Miltei kaikissa anortosiiteissa plagioklaasikiteet ovat myös suuntautuneita, paikoin hyvin voimakkaastikin (kuva 9). Myös joitain mineraalikoostumusvaihtelun aiheuttamia, toistaiseksi selvittämättömiä kerrosrakenteita havaittiin joella tehtyjen kartoitusten yhteydessä.

Joitain satelliitteina kompleksin ympäristössä esiintyviä gabronoriittisia kiviä on aiempien tutkimusten yhteydessä tulkittu Repartimento-intruusioon liittyviksi. Satelliiteista suurin on noin neljäkymmentä kilometriä kompleksista kaakkoon sijaitseva Caracaraí-gabronoriitti (kuva 1). Tekstuuriltaan paljolti diabaasin oloisen, klinopyrokseenia melko runsaasti sisältävän gabronoriitin iäksi on K-Ar menetelmällä saatu 1664 Ma (Montalvão et al. 1975). Ikä on siitä erikoinen, että saman ikäisiä kiviä ei muualta kompleksin läheisyydestä tunneta. Kuitenkin selkeästi sivukiviä nuoremman ikätuloksen vuoksi Caracaraí-gabronoriitin on laskettu kuuluvan samaan ryhmään mesoproterotsooisten rapakivien ja anortosiitin kanssa. Gabronoriitin yhteys anortosiittiin on siis vielä varmistamatta, ja kysymyksen selvittäminen kuuluukin yhtenä osana käynnissä olevaan ajoitusprojektiin.

Sivukivet

Mucajaí-kompleksin sivukivet ovat paleoproterotsooisia (n. 1940 Ma) A- ja C-tyypin synkinemaattisia granitoideja ja gneissejä sekä näiden yhteydessä esiintyviä mafisia kiviä. Graniittigneissit on luokiteltu A-tyyppisiä kiviä sisältäviin Igarapé Branco ja Igarapé Miracelha ryhmiin sekä C-tyypin Serra da Prata -ryhmään. Sivukivet ovat voimakkaasti suuntautuneita, ja niissä voidaan havaita mielenkiintoisia tunkeutumisen aikaisiksi tulkittuja autometamorfisia piirteitä (Fraga 2002). Granitoideista ja gneisseistä on aiempien tutkimusten yhteydessä tehty lukuisia ikämäärityksiä Pb-Pb-evaporaatiomenetelmällä (ks. Fraga 2002), mutta mafisten sivukivien ikäarvio perustuu vain rakenteellisiin havaintoihin. Muita sivukiviä leikkaavana faasina niiden ikäsuhteiden tarkempi selvittäminen on olennaista myös mesoproterotsooisten Mucajaín kivien geokronologiaa tutkittaessa.

Anortosiittien petrogenesis tutkimuksen polttopisteessä

Aiempien tutkimusten (Fraga 2002) tulosten perusteella Mucajaí-kompleksin kivilajien ikäsuhteet ovat päinvastaiset suomalaiseen vastineeseensa, Ahveniston kompleksiin, verrattuna. Ahveniston kompleksin faasien iät ovat virherajoissaan jotakuinkin samat (~1640 Ma) ja kivilajien ikäsuhteet on tulkittu kenttähavaintojen perusteella (Alviola et al. 1999). Tilanne on instrumentaalisen määritystarkkuuden osalta Mucajaíssa samankaltainen: olemassa olevat ikätulokset eri kivilajeille ovat virherajoissaan yhtenevät. Kivien huonon paljastuneisuuden vuoksi kenttäsuhteita ei kuitenkaan tunneta ja tulkittu faasien intruusiojärjestys perustuu pelkästään oletukseen eri menetelmillä (U-Pb TIMS, U-Pb SHRIMP, Pb-Pb evaporaatio) mitattujen ikätulosten keskiarvojen edustavuudesta. Nyt tehtävien uusien ikämääritysten avulla pyritään vahvistamaan tämä kivilajien ikäero. Tämä on mahdollista tarkkojen zirkonin ja baddeleyiitin U-Pb ID-TIMS -analyysien avulla.

Ikämääritysprojektin tuloksista toivotaan ratkaisua paitsi kompleksin sisäisten ikäsuhteiden selvittämisongelmaan, myös laajemmin tarkennusta koko Parguaza-tapahtuman geokronologiaan. Mielenkiintoista tulee myös olemaan Mucajaín ja Ahveniston intruusiohistorioiden vertailu ja tulosten laajempi merkitys anorogeenisten ympäristöjen magmaattisten prosessien tutkimukselle. Geokronologiset tutkimukset toimivat samalla pohjana muille radiogeenisiä isotooppisysteemeitä hyödyntäville tutkimuksille, jotka edellyttävät tutkittavien kivilajien tarkkojen kiteytymisajankohtien tuntemista.

Yleisimmin hyväksytyn petrogeneettisen mallin mukaan proterotsooiset massiivityyppiset anortosiitit ovat peräisin vaihtelevissa määrin köyhtyneestä vaippalähteestä (mm. Ashwal 1993, Rämö 1991). Anortosiittiset ja muut anorogeenisten ympäristöjen mafiset kivet ovat tämän mallin mukaan vaippalähteen fraktionaatteja ja assosiaatioissa esiintyvät, usein rapakivigraniiteiksi luokiteltavat felsiset kivet kuoren osittaissulien tuottamia. Anortosiittien köyhtynyt vaippalähde mahdollistaa niiden radiogeenisten isotooppien initiaalisuhteiden tarkan määrittämisen ja genesikseen vaikuttaneiden komponenttien isotooppisormenjälkien mittaamisen. Näiden tutkimusten perusteella voidaan tehdä päätelmiä kuorellisen tunkeutumisympäristön luonteesta ja kontribuutiosta assosiaation petrogenesikseen. Isotooppigeologisina menetelminä tutkimuksissa käytetään kokokivien ja mineraaliseparaattien Pb-Pb-, Rb-Sr-, Sm-Nd- ja Lu-Hf-isotooppikoostumusta. Magmaattisten prosessien mallintamiseen käytetään myös kiven mineraaleihin tallentuneita stabiilien happi-isotooppien määräsuhteita, joiden perusteella voidaan havaita suprakrustisten prosessien vaikutus niiden lähdemateriaaliin ja täten ottaa kantaa mahdollisten kuorellisten komponenttien luonteeseen.

Mucajaí-kompleksin kivilajien isotooppikoostumuksia tullaan vertaamaan muiden tutkimusalueiden (Ahvenisto ja Uusi Meksiko) vastaaviin kivilajeihin. Isotooppitutkimuksia varten brasilialaiset yhteistyötahot CPRM ja UFPA tulevat tarkentamaan Mucajaí-kompleksin geokemiaa ja kivilajien mineraalikoostumusta. Tällä kenttäkaudella otetuista valikoiduista geokemiallisista näytteistä tehdään myös kokokiven ID-TIMS Sm-Nd isotooppimäärityksiä yhteistyössä GTK:n isotooppilaboratorion kanssa. Ikämäärityksiä varten separoitavista raskasmineraalifraktioista on lisäksi suunnitteilla zirkonin laserfluorinaatiomenetelmää hyödyntäviä happi-isotooppitutkimuksia.

Mucajaí-kompleksin rapakivistä tehtyjen mineralogisten havaintojen ja kenttähavaintojen perusteella voidaan päätellä, että graniittisten kivien magmaattinen ympäristö on todennäköisesti ollut Mucajaíssa pelkistävämpi kuin esimerkiksi Etelä-Suomessa. Tämä luultavasti kuvastaa tunkeutumisympäristön vaikutusta magmaattisen ympäristön hapetusasteeseen. Etelä-Suomessa sivukivet



Kuva 5. Tien pää ja Rio Repartimenton veneiden laskupaikka. Kuva: Aku Heinonen. *Figure 5. End of the road and entrance to the River Repartimento. Photo: Aku Heinonen.*

GEOLOGI 60 (2008)



Kuva 6. Kenttätöitä Rio Repartimentolla. Nelson Reis (vas.), Luis Ramires ja Luis Rodrigues kartoitus- ja näytteenottotöissä anortosiittipaljastumalla. Kuva: Aku Heinonen. Figure 6. Field work on the River Repartimento. Nelson Reis (on left), Luis Ramires and Luis Rodrigues mapping and sampling an anorthosite outcrop. Photo: Aku Heinonen.

ovat vaihtelevampi sekoitus suprakrustista ja magmaattista alkuperää, kun Mucajaíssa ne taas koostuvat pääasiassa granitoideista ja ortogneisseistä. Näiden havaintojen perusteella on syytä olettaa, että myös tulevien isotooppitutkimusten tulosten vertailussa tullaan näkemään samankaltaisia eroja kompleksien välillä.

English summary: From Fennoscandia to jungle – rapakivis in the "Brazilian Lapland"

In January 2008, field work to study the Proterozoic Mucajaí-AMCG-complex in Roraima, Northern Brazil was undertaken by a joint research team from the CPRM (Companhia de Pesquisa de Re-

Kuva 7. Rio Repartimenton viidakkotukikohta. Malariahyttysiltä ja muilta metsän eläviltä paettiin yöksi hyönteisverkon (mosquitero) suojaamaan riippumattoon. Kuva: Aku Heinonen.

Figure 7. Jungle campment on the River Repartimento. Sleeping in hammocks covered by insect nets (mosquiteros) is the only way to escape the malaria-mosquitos and other creatures during the nights in the jungle. Photo: Aku Heinonen.



GEOLOGI 60 (2008)



Kuva 8. Mucajaíkompleksin pääfaasin pyterliittinen biotiitti-sarvivälkegraniitti. Tuore pinta. Kuva: Tapani Rämö. *Figure 8. A pyterlitic biotite-hornblende granite. The main phase of the Mucajaí-complex. Fresh surface. Photo: Tapani Rämö.*



Kuva 9. FMS-sarjan pääkivilaji: kvartsi-fayaliittimangeriitti. Rapautumispinta. Kuva: Tapani Rämö. *Figure 9. The* main rock type of the FMS-series: a quartz-fayalite mangerite. Weathered surface. Photo: Tapani Rämö.

GEOLOGI 60 (2008)



Kuva 10. Voimakkaasti suuntautunut, karkearakeinen Repartimento-anortosiitti intruusion keskiosista, Rio Repartimenton varrelta. Kuva: Tapani Rämö.

cursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil) offices of Rio de Janeiro and Amazonas, the Federal University of Pará, and the University of Helsinki. This research was part of an Academy of Finland funded project concerning the tectonic environments and significance of anorthositic rocks in the petrogenesis of A-type rapakivi granites. In the project, three key areas around the world are compared (southeastern Finland, southern New Mexico and its vicinity, and central Roraima) and their isotopic properties are determined. The January field work comprised two week-long periods, of which the second one was conducted in the remote jungle river Rio Repartimento to map an anorthosite that crops out along the river.

The ca. 1.55 Ga Mucajaí-complex includes a biotite-hornblende granite (BHG) that grades in the northeast to a more evolved biotite granite (BG), a separate intrusion of anorthosite (Repartimento), and a series of quartz-fayalite-mangeritic and syenitic rocks (FMS) between the granites and anorthosite. The granites are mainly pyterlitic, reduced rapakivi granites. The mangeritic rocks Figure 10. A strongly lineated anorthosite from the middle parts of the Repartimento intrusion, along the River Repartimento. Photo: Tapani Rämö.

resemble in some respects the tirilites of the Wiborg batholith and they are also in some respects aking to the quartz monzodioritic rocks found in the Ahvenisto complex. The Repartimento anorthosite is a very leucocratic and mineralogically homogeneous intrusion comprising mostly of true anorthosite with varying amounts of interstitial pyroxenes, ilmenite, quartz, and alkali feldspar. The complex intrudes Paleoproterozoic (~1.94 Ga) Aand C-type granitoids and orthogneisses.

The project involves dating all the representative rock types with the U-Pb ID-TIMS method utilizing zircon and baddeleyite, and measuring the Sm-Nd isotopic signatures in order to reveal the source characteristics of the rocks of the Mucajaí-complex. Especially the characteristics of the crustal component presumably involved in the contamination of mantle derived anorthosites will be examined. By comparing results on corresponding occurrences in three different crustal environments (Fennoscandia, Amazonia, Laurentia) it will be possible to better constrain the petrogenesis of massif-type anorthosites in general.

Kirjallisuus

- Alviola, R., Johanson, B.S., Rämö, O.T. ja Vaasjoki, M. 1999. The Proterozoic Ahvenisto rapakivi-massif-type anorthosite complex, southeastern Finland; petrography and U-Pb chronology. Precambrian Research 95:89–107.
- Anderson, J.L. 1983. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. Teoksessa: Madaris, L.G.Jr., Byers, C.W., Mickelson, D.M. ja Shanks, W.C. (toim.). Proterozoic geology. Geological Society of America Memoir 161:133–154.
- Ashwal, L.D. 1993. Anorthosites. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 422 s.
- Fraga, L.M. 2002. A Associação Anortosito-Mangerito Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central e suas encaixantes paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia. Väitöskirja, Universidade Federal do Pará, Belém, 351 s.
- Fraga, L.M., Dall'Agnol, R., Batista Sena Costa, J. ja Macambira, M. 2006. The Mucajaí anorthosite-mangerite-rapakivi granite association, North Amazonian craton, Brazil. Teoksessa: Dall'Agnol, R., Rosa-Costa, L.T. ja Klein, E.L. (toim.). Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Abstracts Volume and Field Trips Guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, (CD-ROM).
- Frost, C.D., Rämö, O.T. ja Dall'Agnol, R. 2007. IGCP project 510 – A-type Granites and Related Rocks through Time. Lithos 97:vii-xiii.
- Gaudette, H.E., Olszewski, J.R. ja Santos, J.O.S. 1996. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. Journal of South American Earth Science 9:183–195.
- Heinonen, A. 2007. The Origin of Massif-type anorthosites and their relation to Proterozoic Atype (rapakivi) granites – Tutkimusprojektin esittely. Teoksessa: Kultti, S., Kaakinen, A., Salonen, V.P. ja Rämö T. (toim.). Geologian 5. tutkijapäivät 6.–8.3.2007 Ohjelma ja esitysten tiivistelmät, University of Helsinki, Publications of the Department of Geology A2:50–51.
- Mendoza, V.S. 1975. Estudios geoquímicos del no-tectonizado granite del Parguaza, Noroeste Guyana Venezuelana. Teoksessa: 10th Conferência Geológica Interguianas, Belém, 628–656.

- Montalvão, R.M.G. de, Muniz, M.C., Issler, R.S., Dall'Agnol, R., Lima, L.I.C., Fernandes, P.E.C.A. ja Silva, G.G. 1975. Geologia. Folha NB.20 – Boa Vista e parte das Folhas NA.21 – Tumucumaque, NB.20 – Roraima e NB.21. Teoksessa: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RAD-AMBRASIL*. Rio de Janeiro: DNPM.
- Rämö, O.T. 1991. Petrogenesis of the Proterozoic rapakivi granites and related basic rocks of southeastern Fennoscandia: Nd and Pb isotopic and general geochemical constraints. Geological Survey of Finland, Bulletin 355, 161 s.
- Rämö, O.T. ja Haapala, I. 2005. Rapakivi granites. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier, Amsterdam, 533–562.
- Rämö, O.T., McLemore, V.T., Hamilton, M.A., Kosunen, P.J., Heizler, M. ja Haapala, I. 2003. Intermittent 1630–1220 Ma magmatism in central Mazatzal province: New geochronological piercing points and some tectonic implications. Geology, 31:335–338.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews, 12:1–33.
- Santos, J.O.S., Hartman, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J. ja Fletcher, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. Gondwana Research 3:453–488.
- Turkki, V. 2005. Pyhtään Ristisaaren kallioperä ja sen tumma viborgiitti. Julkaisematon sivulaudaturtutkielma, Helsingin yliopisto, 66 s. ◆

Aku Heinonen

Geologian laitos PL 64, 00014 Helsingin yliopisto aku.heinonen@helsinki.fi

Tapani Rämö

Geologian laitos PL 64, 00014 Helsingin yliopisto tapani.ramo@helsinki.fi

GEOLOGI 2008		
Lehti numero	Aineisto toimituksessa	Lehti ilmestyy
4	19.05.	29.08.
5	01.09.	17.10.