

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia



Kuva: Henrik Kalliomäki

20.8.2021 Evgenia Salin,
Turun yliopisto

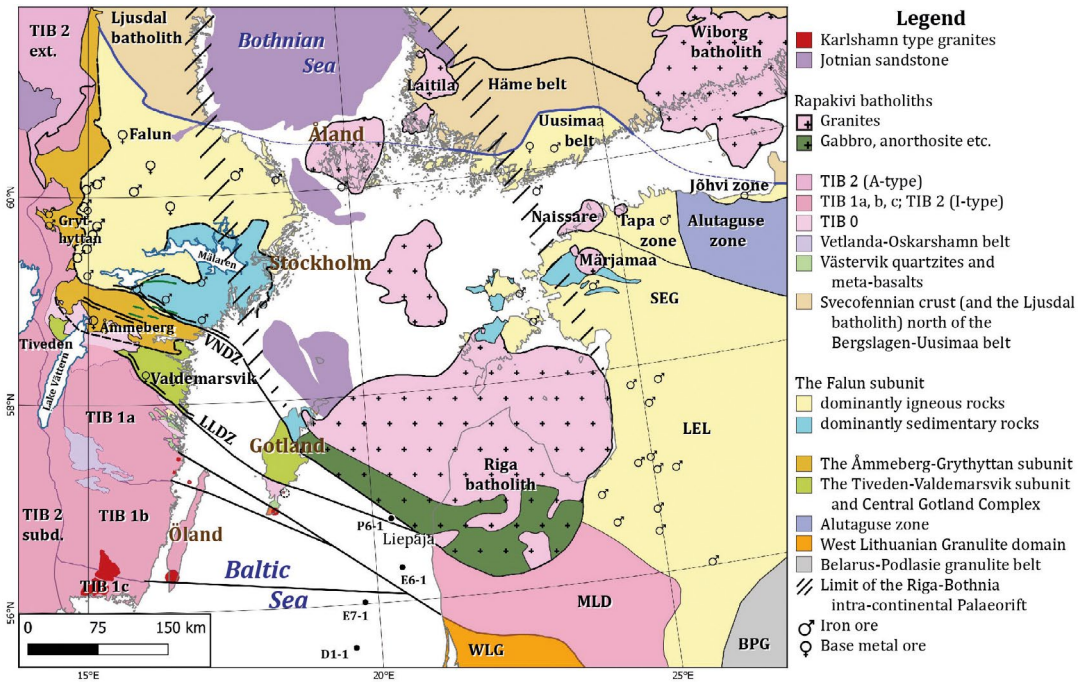
Paleoproterotsooinen kuoren kehitys lounaisessa Fennoskandiassa Itämeren alueella (Palaeoproterozoic crustal evolution in SW Fennoscandia, Baltic Sea region)

Fennoskandian kilven paleoproterotsooiseen evoluutioon liittyy merkittävä kuoren kasvu vanhemmasta koillisosasta nuorempaan lounaisosaan. Svekofennistä 1,96–1,86 miljardia vuotta vanhaa kallioperää luoteisosassa leikkaavassa Transskandinaavisessa 1,85–1,65 miljardia vuotta vanhassa magmaattisessa vyöhykkeessä (TIB) on samankaltainen kehitys. Svekofenninen kallioperä ja TIB ovat hyvin paljastuneena Kaakkois-Ruotsissa, mutta Itämeren alueella merenpohjassa olevat fanerotsooiset paksut (jopa 2,5 km) sedimenttikerrokset ja merivesi vaikeuttavat alueiden laajuuden arviointia. Tämän tutkimuksen petrologinen, geokemiallinen ja geokronologinen aineisto

osoittavat, että paleoproterotsooinen kuoren kehitys voidaan esittää sarjana nuorenevia vyöhykkeitä Itämeren keskiosasta (Pohjois-Gotlanti) kohti Pohjois-Puolaa (kuva 1):

1. Svekofenniset metasedimentit muodostavat Gotlannin pohjoisosan kallioperän. Metasedimenttikivien detritaaliset zirkonit edustavat kolmea ikäpopulaatiota: 2,11–1,96 miljardia vuotta vanha, 2,95–2,63 miljardia vuotta vanha ja 3,29 miljardia vuotta vanha, jotka viittaavat Svekofennistä kallioperää vanhempiin lähteisiin. Svekofenninen amfiboliitti-granitoidikompleksi Keski-Gotlannissa koostuu 1,90–1,88 miljardia vuotta vanhoista ortogneiseistä ja amfiboliiteista, jotka ovat koostumukseltaan saarikaari-tyyppisiä. Keski-Gotlannin kompleksi voidaan korreloida Fennoskandian kilvellä eteläiseen Bergslagenin alueeseen, ja se on tunnistettu avomereltä kairatusta Liepajasta luoteeseen sijaitsevasta kairareiästä. Lounais-Latvian ja -Liettuan rannikolta Keski-Gotlannin kompleksi kuitenkin puuttuu.

2. Västerviikissä Svekofennisen alueen reunalla sijaitseva kilometrin paksuinen sarja



Kuva 1. Itämeren alueen keski- ja pohjoisosien prekambriin geologia. BPG = Belarus-Podlasie granuliitti-vyöhyke, LEL = Latvian-Itä-Liettuan vyöhyke, MLD = Keski-Liettuan vyöhyke, SEG = Etelä-Viron vyöhyke, WLG = Länsi-Liettuan vyöhyke. TIB 2 subd. ja TIB 2 ext. viittaavat TIB 2 granitoideihin liittyvään subdukioon. Sininen viiva merkitsee Bergslagenin alueen pohjoisrajaa ja sen jatkoa Uudenmaan ja Jöhvin vyöhykkeelle. LLDZ = Linköping-Loftahammar deformaatiovyöhyke ja VNDZ = Vingåker-Nyköping deformaatiovyöhyke.

Figure 1. The Precambrian geology in the central and northern parts of the Baltic Sea region. BPG = Belarus-Podlasie granulite belt, LEL = Latvian-East Lithuanian domain, MLD = Mid-Lithuanian domain, SEG = South Estonian domain, WLG = West Lithuanian domain. TIB 2 subd. and TIB 2 ext. refer to the subduction respective extension related of the TIB 2 generation. The blue line marks the northern limit of the Bergslagen region and its continuation into the Uusimaa belt and Jöhvi zone. LLDZ = Linköping-Loftahammar Deformation Zone and VNDZ = Vingåker-Nyköping Deformation Zone.

(n. 1,87 miljardia vuotta vanha) metamorfisia, runsaasti kvartseja sisältäviä joki-, tulva- ja turbidiittisedimenttikiviä, joiden koostumus on laatansisäisten mafisten metavulkaniittien välissä.

3. 1,85 miljardia vuotta sitten revennyt merellinen vulkaaninen kaari on havaittu Vetlanda–Oskarshamn-vyöhykkeellä ja on yhtenevä iältään mannerreunan TIB-granitoidien ja Keski-Liettuan vyöhykkeen granitoidien kanssa.

4. Vulkaanisten kaartien kasautumisen jälkeen Svecofenniseen mannerreunaan asetui

kolme eri ikäryhmää granitoideja (TIB 1 a-c). Näistä vanhimmat, TIB 1a -granitoidit, ovat iältään 1,81–1,79 miljardia vuotta. Tämän jälkeen, 1,79–1,77 miljardia vuotta sitten, TIB 1a -granitoidit asettuivat Svecofenniseen kuoreen leikaten TIB 0 granitoideja, ja TIB 1b -granitoidit asettuivat leikkaamaan Vetlanda-Oskarshamn-vyöhykettä. Viimeisenä, 1,77–1,75 miljardia vuotta sitten, TIB 1c -granitoidit asettuivat kuoreen leikaten TIB 1b -granitoideja. Granitoidien perusteella mannerreuna on vaiheittain liikkunut etelämmäksi Itämeren keskiosasta.

5. Itämeren alueella proterotsooisen kuoren myöhempään evoluutioon luetaan Etelä-Gotlannissa ja Öölannissa sijaitsevat 1,5 miljardia vuotta vanhat intruusiot, jotka ovat osa Danopolonian vuorenuodostusta.

Väitöskirja verkossa: https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/152418/AnnalesAII382_SalinDISS.pdf

27.8.2021 Kimmo Kärenlampi, Oulun yliopisto

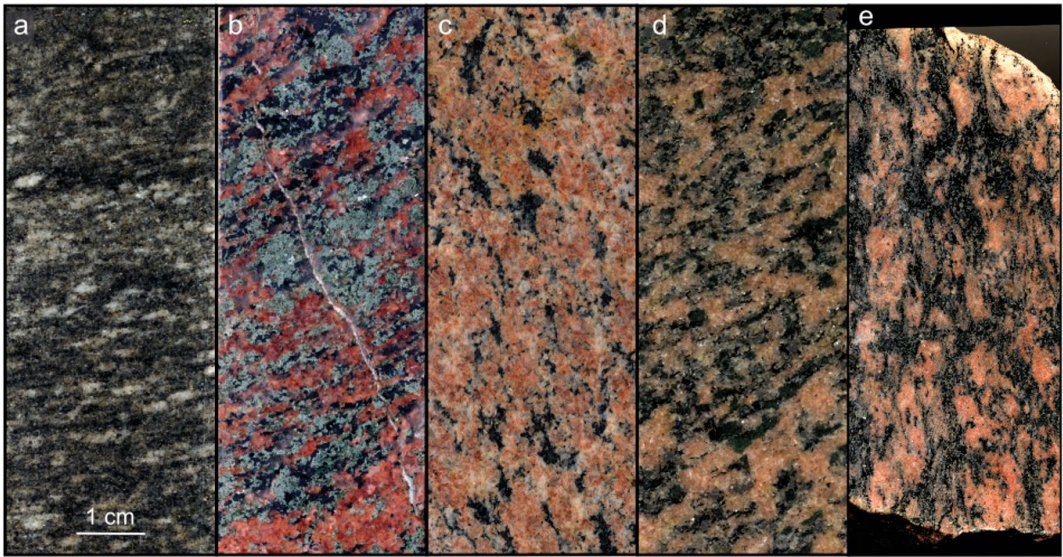
Keski-Suomessa Otanmäen alueella esiintyvien varhaisproterotsoisten A1-tyyppin intermediääristen ja felsisten intrusiivisten magmakivien ja niihin liittyvän REE-HFSE-mineralisaation geokronologia ja synty (Petrogenesis of Paleoproterozoic A1-type felsic to intermediate igneous rocks and co-genetic REE-HFSE mineralization in central Finland, Fennoscandian Shield: Evidence from whole-rock geochemistry, Sm-Nd and U-Pb isotope data and thermodynamic modeling)

Tämä väitöskirja käsittelee Otanmäen alueella, Keski-Suomessa esiintyvien 'alkaligraniittien' alkuperää, kehitystä ja mineraalipotentialia. Näitä Otanmäen seurueeseen kuuluvia graniitteja on käsitelty muutamissa 1950–1990-luvuille ajoittuvissa tutkimuksissa johtuen niiden A-tyyppin graniiteille ominaisista hivenalkuainekoostumuksista sekä preorogeenista syntyä indikoivista ikämäärittäytuloksista (1,96–2,05 miljardia vuotta), mutta seurueen geologinen merkitys ja alkuperä on jäänyt huonosti ymmärretyksi. Seurueen graniitit esiintyvät lähellä arkeaisen Karjalaisen kratonin ja paleoproterotsooisen Svekofennisen oro-

geenisen vyöhykkeen rajaa ja myös lähellä 1,95 miljardin vuoden ikäistä Jormuan ofoliittikompleksia. Otanmäen seurueen graniitit ovat myös taloudellisessa mielessä mielenkiintoisia, sillä niistä tunnetaan kaksi mineralisoitunutta vyöhykettä (Katajakangas ja Kontioaho), jotka sisältävät korkeita pitoisuuksia harvinaisia maametalleja (engl. *rare earth element, REE*), kuten lantaania (La), ceriumia (Ce), neodyymiä (Nd) ja yttriumia (Y), sekä korkean kenttävoimakkuuden alkuaineita (engl. *high-field strength elements, HFSE*), kuten zirkoniumia (Zr), niobia (Nb), toriumia (Th) ja urania (U). Osa näistä metalleista on ns. *high-tech*-metalleja, joita käytetään laajasti monissa korkean teknologian käyttökohteissa.

Väitöskirjatyössä tutkitaan Otanmäen seurueen kivilajeja (kuva 2) ja niiden alueellista esiintymistä käyttäen kenttä- ja kairasydänhavaintoja, petrografiaa ja mineraalikemiallisia määrittäyksiä, zirkonin U–Pb-ikä-määrittäytuloksia, kokokivien pää- ja hivenalkuainekoostumuksia ja Sm–Nd-isotooppianalyysyjä sekä termodynaamista numeerista mallinnusta Magmakammiosimulaattori-mallinnusohjelmistolla. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Otanmäen seurueen magmatismien kemiallisia ominaispiirteitä, geotektonista ympäristöstä ja alkuperää. Lisäksi tutkimuksessa arvioidaan seurueen ja REE-HFSE-mineralisaation geneettistä suhdetta ja sen *high-tech*-metallipotentialia. Uutta tietoa voidaan käyttää malminetsinnän lähtöaineistona.

Tämän vuosituhannen alussa aloitetut kenttätutkimukset ovat osoittaneet, että Otanmäen seurueen esiintymisalue on laajempi kuin aikaisemmin luultiin. Tässä tutkimuksessa osoitetaan, että se sisältää korkean Fe/Mg-suhteen omaavia, peralumiinisia ja peralkalisia graniitteja ja lisäksi siinä on aikaisemmin tunnistamatta jääneitä intermediäärisiä magmakiviä, kuten syeniittia ja montsodioriittia-montsoniittia. Otanmäen seurueen magmakivet muistuttavat geokemiallisilta ominaispiirteiltään mantereisten repeämäympäristöjen



Kuva 2. Otanmäen seurueen kivilajeja kiillotetuilla pinnoilla. a) Biotiittia ja maasälpähajarakeita sisältävää peralumiinista graniittia, b) egiiriiniä ja alkali-amfibolia sisältävää peralkalista graniittia, c) egiiriini-augiittia ja amfibolia sisältävää peralkalista graniittia, d) klinopyrokseenia ja amfibolia sisältävää syeniittia, e) biotiittia ja amfibolia sisältävää montsoniittia. Mittakaava kaikissa kuvissa (a–e) kuten kuvassa (a). Kuva: Kimmo Kärenlampi.

Figure 2. Photographs of polished slabs of typical Otanmäki suite granites and related intermediate rocks. a) Peraluminous granite containing biotite and feldspar phenocrysts, b) peralkaline granite containing aegirine and alkali amphibole, c) peralkaline granite containing aegirine-augite and amphibole, d) syenite containing clinopyroxene and amphibole, e) monzonite containing biotite and amphibole. Scale in all photos (a–e) as in a). Figure: Kimmo Kärenlampi.

A1-tyyppin graniitteja, joiden alkuperä yleensä liitetään koostumukseltaan merellisten saarten basaltteja muistuttavien vaippaperäisten sulien differentioitumiseen. Seurueen kivet metamorfoituivat amfiboliittifasieksen olosuhteissa Svekofenniseen orogeniaan liittyvissä tektonotermissä tapahtumissa ja pilkkoutuivat tektonisesti ylityöntölaatoiksi (nappe), jotka rajautuvat siirroksilla arkeisiin tonaliittitrondhjemiitti-granodioriittikomplekseihin (TTG-komplekseihin) ja Kainuun liuskejaksion paleoproterosoosiin suprakrustisiin yksiköihin.

Uudet ikämääritykset ovat tarkentaneet aiemmissä tutkimuksissa epäselväksi jäänyttä Otanmäen seurueen magmatismien ikää ja osoittaneet, että magmatismi tapahtui 2,04–2,06 miljardia vuotta sitten. Samanlaisen

koostumuksen ja iän omaavia kiviä ei tunneta muualta Karjalan kratonin länsiosista eikä koko Fennoskandian kilpialueelta. A1-tyyppin kivien harvinaisuutta selittää tulkinta, jonka mukaan ylityöntölaatat ovat työntyneet nykyiseen asemaansa kaukaisesta, Svekofennisen orogenian alkuvaiheesta poisleikatusta Karjalan kratonin läntisestä reunaosasta.

Otanmäen seurue on hyvä kohde tarkastella magmaattista systeemiä, joka sisältää koostumukseltaan laajasti vaihtelevan valikoiman erilaisia A-tyyppin kiviä. Seurueen intermediaärinen kivien initiaalinen ϵNd -arvot ovat juveniilisiä (+1,3–+2,6) ja vain vähän matalampia kuin samanaikaisella köyhtyneellä vaipalla arvioidaan olleen, mutta paljon korkeampia kuin ympäröivän kallioperän arkeisilla TTG-gneisseillä (ka. –10), mikä tukee

tulkintaa seurueen intermediääristen kivien synnystä vaippaperäisen mafisen kantasulan differentoitumisen kautta. Seurueen peralkalisten ja peralumiinisten graniittien osin päällekkäiset $\epsilon\text{Nd}(2050 \text{ Ma})$ -arvot ($-0,9$ – $+0,6$ ja $-3,2$ – $+0,9$) ovat alhaisempia kuin intermediäärisillä kivillä, mikä osoittaa, että graniittien mafiset kantasulat todennäköisesti ovat assimiloineet arkeista kuorta. Tätä tulkintaa tukevat myös graniittien keskimääräistä mantereista yläkuorta ja arkeisia TTG-gneissejä muistuttavat Nb/U- ja Th/Nb-suhteet.

Geokemialliseen ja termodynaamiseen mallinnukseen perustuen Otanmäen seurueen kivilajikirjo edustaa kumulusmineraalien ja jäännössulien seoksia ja jäännössulista kiteytyneitä kiviä, jotka syntyivät valtamerten saarten basaltteja muistuttavista vaippaperäisistä mafisista kantasulista fraktioivan kiteytymisen ja samanaikaisen arkeisten TTG-gneissien assimiloinnin kautta. Differentiaatioprosessit tapahtuivat ylä- ja keskikuoren olosuhteissa ($\sim 4 \text{ kbar}$, ~ 7 – 15 km), ja niiden seurauksena on täytynyt syntyä suuria määriä mafisia kumulaatteja. Fraktioivan kiteytymisen ja assimilaation mallinnuksen tulokset tukevat, paitsi aikaisempia käsityksiä korkean Fe/Mg-suhteen omaavien A-tyypin graniittien magmojen synnystä, myös sitä olettamusta, että niiden koostumukset muuttuvat peralumiinisemmiksi assimiloimalla mantereisen kuoren kvartsi- ja maasälpäriikkaista kivistä, kuten arkeisista TTG-gneisseistä peräisin olevia osittaissulia.

Mallinnus osoittaa myös, että erot kantasulien koostumuksissa vaikuttavat myöhäisessä kehitysvaiheessa kiteytyvän plagioklaasin määrään, mikä selittää graniittien alkalisuuden ja alumiinisuuden vaihteluita myös sellaisissa tapauksissa, joissa assimiloitun mantereisen kuoren määrät ovat samansuuruisia.

Katajakankaan ja Kontioahon REE-HFSE-mineralisoituneet vyöhykkeet esiintyvät siirrosten rajaamassa lohossa, joka koostuu lähinnä Otanmäen seurueen peralumiinisesta graniitista (2,06 miljardia vuotta) ja rajautuu siirroksin Otanmäen seurueen peralkaliseen graniittiin ja syeniittiin. Katajakankaalla REE-HFSE-rikastumat sijoittuvat isäntägraniittiin tunkeutuneisiin, terävästi rajautuneisiin ja 0,1–1,4 metrin paksuisiin felsisiin juoniin ja Kontioahossa 30–50 metriä paksuun, levymäiseen intruusioon. Ne sisältävät Cerikasta allaniittia, zirkonia, titaniittia ja erilaisia Nb-REE-Th-U-oksiedeja. Allaniitti-(Ce) on merkittävin lantanidien kantajamineraali molemmissa mineralisoituneissa vyöhykkeissä. REE-HFSE-mineralisaatio liittyy läheisesti Otanmäen seurueen noin 2,04–2,05 miljardin vuoden ikäiseen peralkaliseen magmatismiin ja mineralisoituneet juonet ja intruusio edustavat REE-HFSE- ja volatiilirikkaiden (esim. F, CO_2 ja S) peralkalisten felsisten magmojen pitkälle kehittyneitä lopputuotteita.

Väitöskirja verkossa: https://www.oulu.fi/res-terr/jutut/A41_Karenlampi.pdf

Ohjesääntö

Veistoksen symboliikka

1 § Väittelijä yrittää kavuta tieteen huipulle, missä on vähän tilaa, sillä siellä on jo suuri tutkija.

Hallussapito-oikeus

2 § Veistoksen ja siihen liittyvän kunniakirjan hallussapito-oikeus on vain viimeksi geologiasa väitelleellä tohtorilla.

3 § Hallussapito-oikeus lakkaa sinä päivänä, jolloin joku muu yrittää julkisesti kavuta tieteen huipulle.

Luovutus

4 § Toiseksi nuorin tohtori luovuttakoon kunniakirjan ja veistoksen nuorimmalle tohtorille a. karonkassa henkilökohtaisesti, b. karonkassa välitysmiehen kautta, c. muuten mahdollisimman nopeasti.

Tulkinnallisia huomautuksia

5 § Hallussapito-oikeuden keinotekoinen jatkaminen tulkittakoon joko seuraavan yrittäjän tieteellisen panoksen aliarvioimiseksi tai oman panoksen yliarvioimiseksi



Kuva: Henrik Kalliomaäki