

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia



Kuva: Henrik Kalliomäki

31.5.2021 Radoslaw Michallik,
Helsingin yliopisto

Chemical evolution and origin of the Luumäki gem-beryl pegmatite (SE Finland) (Kaakkois-Suomessa sijaitsevan Luumäen pegmatiitin kemiallinen evoluutio ja alkuperä)

The Luumäki gem-beryl bearing pegmatite belongs to the miarolitic pegmatites, a comparatively rare and little studied pegmatite class. However, it is the miarolitic pegmatites that give raise to the scientific hypothesis about the involvement of aqueous fluids during pegmatite formation. The controversy regarding the involvement of a separate aqueous fluid was renewed in view of recent interpretations of giant crystal growth and graphic granite textures, which are both quite unique for pegmatites. Recent understanding favors a model where pegmatites are being formed by rapid cooling and crystallization from a volatile-rich melt, instead of very slow cooling of an undercooled, water-saturated granite melt.

Some argue that H_2O is essential for reducing the viscosity of granite melts and the element transport to form giant crystals in pegmatites, based on fluid inclusion studies and the water-saturated melt model proposed by Richard Jahns and Wayne Burnham. Recently this model has been redefined by studies on melt and fluid inclusions suggesting a melt-melt immiscibility with subsequent aqueous fluid exsolution, as suggested by Rainer Thomas. Others reason that refining of a melt, similar to the metallurgical process of zone refining, is key for pegmatite consolidation, and a separate H_2O phase plays a minor role if any at all. The proposed model is the constitutional zone refining (CZR) by David London.

My study supports the view of a separate aqueous phase in the late stage of pegmatite crystallization and demonstrates that in the case of the Luumäki pegmatite, an aqueous phase separated at the onset of pocket formation at about 380 °C and 1.2 kbar. Furthermore, it is shown that a pegmatite melt is very heterogeneous and within the same pegmatite body one miarolitic pocket can clearly show

evidence for a hydrothermally dominated system, while another represents a magmatic dominated process of formation without clear evidence of the involvement of an aqueous fluid. Also, pegmatite bodies within the same geological framework can differ in their appearance, showing that within a small area of just a few hundred of meters one pegmatite body can show extensive hydrothermal activity whereas the other lacks any evidence of an aqueous fluid separation.

The research of pegmatites and their fluid inclusions is a somewhat complicated endeavor, similar to solving a puzzle, in which most pieces appear very similar to one another, and many more studies need to be conducted to solve such a puzzle. Powerful analytical methods such as in-situ fluid inclusion analysis by means of LA-ICP-MS is a step in the right direction and will hopefully encourage many more to engage in this tedious, yet gratifying search for the bigger picture by looking at the small individual pieces in greater detail as ever before.

Väitöskirja verkossa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/329582>

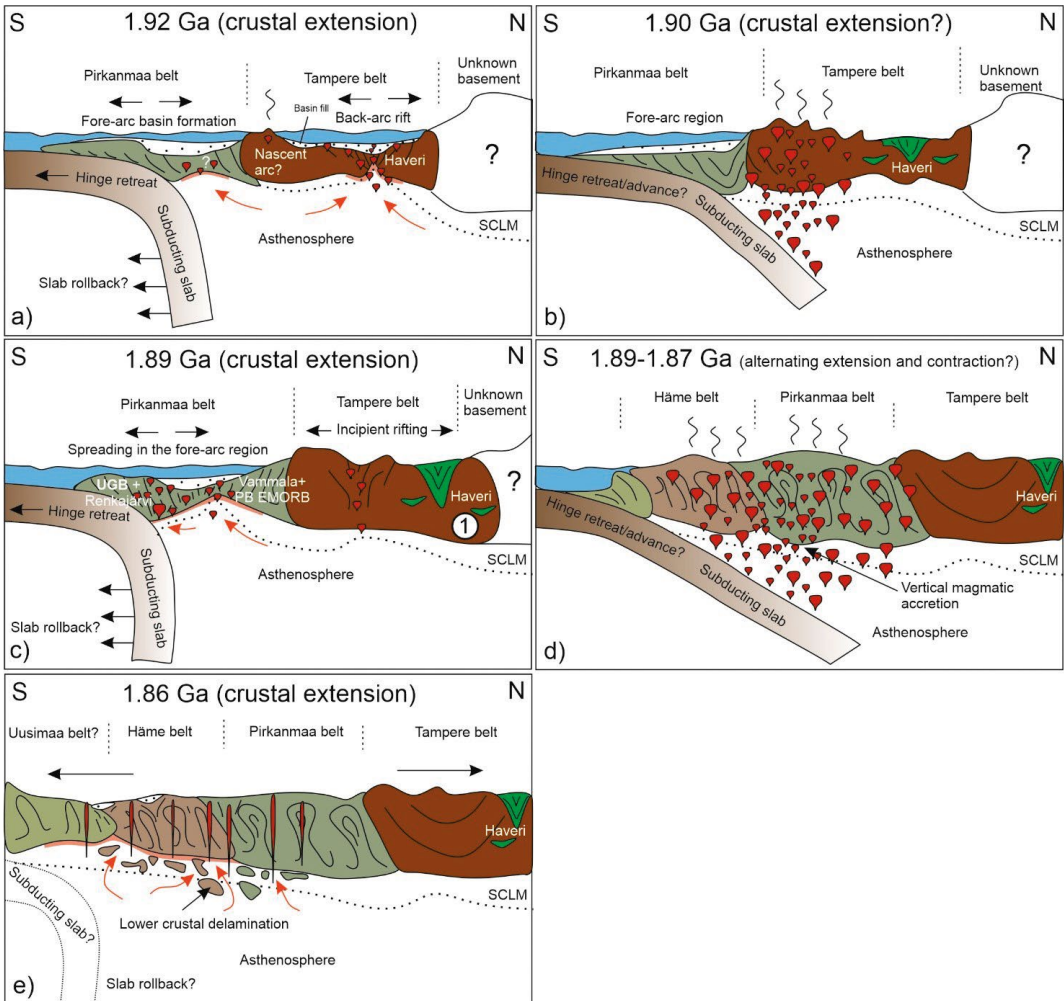
23.6.2021 Jaakko Kara,
Turun yliopisto

Svekofennisen kallioperän evoluutio Etelä-Suomessa – Vaippaperäisen magmatismien sekä vaipan ja kuoren vuorovaikutuksen alueelliset ja ajalliset muutokset (Evolution of the Svecofennian Bedrock in Southern Finland – Spatial and temporal changes in the mantle-derived magmatism and mantle-crust interaction)

Fennoskandian kilven keskiosassa sijaitseva Etelä-Suomen kallioperä syntyi Svekofennisen

vuorijonon poimutuksen eli orogeenian aikana 1,96–1,77 miljardia vuotta sitten. Tämä tutkimus keskittyy orogeenian alkuvaiheessa syntyneiden, 1,92–1,86 miljardia vuotta vanhojen, vaippaperäisten magmojen luonnehdintaan sekä vaipan ja kuoren vuorovaikutuksen tutkimiseen. Näiden perusteella luon magmatismia ja sen alueellista sekä ajallista muutosta kuvaavan mallin Etelä-Suomesta.

Magmakivet luokiteltiin niiden (i) kiteytymisiän, (ii) kemiallisen koostumuksen ja (iii) Sm-Nd ja zirkonien Lu-Hf isotooppikoostumuksen perusteella seuraaviin luokkiin: 1,89 miljardia vuotta vanhat kuoren repeytymiseen liittyvät kivet, 1,89–1,87 miljardia vuotta vanhat vulkaanisen kaaren kivet, 1,86 miljardia vuotta vanhat kuoren sisäisen magmatismien kivet, sisältäen korkean Nb-pitoisuuden gabroja (HNB), korkean Mg-pitoisuuden gabroja (HMG) ja adakiittisia kiviä. 1,89 miljardia vuotta vanhat kuoren repeytymiseen liittyvät kivet sisältävät E-MORB-tyyppisen geokemiallisen koostumuksen ja ehdotan niiden syntyneen kaaren edusta-altaan repeämisen seurauksena. 1,89–1,87 miljardia vuotta vanhat vulkaanisen kaaren kivet ovat selkeästi yleisimpiä ja ne sisältävät selkeän subduktiovyöhykkeen sormenjäljen. Harvinaista 1,86 miljardia vuotta vanhaa magmakiviseuruetta voidaan luonnehtia seuraavasti: HNB-kivet sisältävät OIB-tyyppisen geokemiallisen koostumuksen, positiivisen ϵ_{Nd} -arvon ja kondriittisen zirkonien ϵ_{Hf} -arvot; HMG-kivet sisältävät korkean MgO-, Cr- ja Ni-pitoisuuden, korkean ϵ_{Nd} -arvon ja positiiviset zirkonien ϵ_{Hf} -arvot; adakiittiset kivet ovat rikastuneita Sr:in ja La:in ja köyhtyneet HFSE-alkuaineista, sisältävät positiivisen ϵ_{Nd} -arvon ja hieman negatiiviset zirkonien ϵ_{Hf} -arvot. HNB-kivet ovat syntyneet arclogiittien (engl. arclogite), eli alakuoren rutiilipitoisten granaatti-pyrokseeniititikumulaattien osittaissulamisen seurauksena. HMG-kivet ovat syntyneet subduktion rikastaman peridotiitin (ylävaippa) osittaissulamista, kun taas adakiittisten kivien lähde on mafinen alakuori.



Kuva 1. Luonnosmainen etelä-pohjoissuuntainen kuoren poikkileikkaus Tampereen, Pirkanmaan ja Hämeen vyöhykkeiltä, joka esittää alueen magmaattista kehitystä 1,92–1,86 miljardia vuotta sitten. a) Venyminen, kaaren edusta-altaan muodostuminen ja nuoren Tampereen kaaren tausta-altaan repeäminen; b) (venymisen aikaista?) kaarityypin magmatismia Tampereen kaarella; c) venymiseen ja repeämiseen liittyvää magmatismia Tampereen kaaren edusta-altaan alueella; d) puristus ja mahdollista venymistä sekä kaarityypin magmatismia Tampereen ja Pirkanmaan vyöhykkeillä; e) venyminen, alakuoren arclogiitin vajoaminen ylävaippaan ja siihen liittyvää kuoren sisäistä magmatismia Hämeen, Pirkanmaan ja Uudenmaan vyöhykkeillä. Ei mittakaavassa, SCLM = kuoren alla oleva litosfäärinen vaippa, UGB = Uunimäki gabro.

Figure 1. Schematic N-S cross section of the magmatic evolution on the Tampere, Pirkanmaa and Häme belts at 1.92–1.86 Ga: a) extension, fore-arc formation and back-arc rifting of the nascent (?) Tampere arc; b) subduction related magmatism in the Tampere belt (during extension?); c) extension and rift-related magmatism in the forearc region of the Tampere belt; d) thrusting (and possible extension?) and subduction related magmatism in the Pirkanmaa and Häme belts; e) extension, lower crustal delamination and related within plate-type magmatism in the Häme, Pirkanmaa and Uusimaa belts. Not in scale, see text for discussion. SCLM = Sub continental lithospheric mantle, UGB = Uunimäki gabbro.

Tulosten perusteella E-MORB/kuoren sisäinen magmatismi liittyy kuoren ekstensioon (kuoren oheneminen), kun taas kaarityypin magmatismi voi liittyä sekä orogeenian puristusvaiheeseen (kuoren paksuuntuminen)

että ekstensioon. Kuoren puristusvaiheet ovat mahdollista ikämäärittää kaarityypin magmojen tunkeutuessa pystyn poimutuksen akselitasoon. Kivien kiteytymisiät sekä koostumuksellinen syklinen vaihtelu vastaa hyvin niin

sanottua tectonic switching -mallia, jossa lyhytikäiset kuoren puristus/lyhentymisvaiheet ja pidempi-ikäiset ekstensiovaiheet vaihtelevat (kuva 1). Tämä voi tarjota uuden mekanismin nopealle kuoren kasvulle Paleoproterotsooisella ajalla. Lisäksi malli tiheän arclogiittikerroksen muodostumisesta, hajoamisesta ja osittaisulamisesta selittää muutoksen 1,88 miljardia vuotta vanhasta kaarityypin magmatismista 1,86 miljardin vuoden ikäiseen kuoren sisäiseen magmatismiin. Mallissa rutiilipitoinen arclogiittikerros muodostui 1,89–1,87 miljardia vuotta sitten yleisen kaarityypin, pääasiassa felsisen, magmatismin seurauksena. Tätä seurasi tiheän arclogiittikerroksen osittainen vajoaminen ylävaiheeseen paksuuntuneen kuoren ekstension aikana ja arclogiittien osittaisulamisesta. Tämä malli selittää harvinaisen 1,86 miljardia vuotta vanhan kivilajijassosiation geokemialliset piirteet, kuoren paksuuntumisen mekanismin sekä suuren tiheyden omaavan alakuoren syntymisen Fennoskandian kilven alueella sekä mahdollisesti muissa Paleoproterotsooisissa orogenioissa.

Väitöskirja verkossa: <https://www.utupub.fi/handle/10024/152123>

19.8.2021 Annika Åberg,
Helsingin yliopisto

**Geologisten 3D-mallien käyttö
Veiksel-jääkauden tutkimuksessa
Keski-Lapissa ja niiden
hyödyntäminen pohjaveden
virtausmalleissa (The use of geological
3D models to unravel Weichselian
glacial history in Central Finnish
Lapland and their application in
groundwater flow modelling)**

Laaja riskinarvio on oleellinen osa kaivosprojektia sen eri vaiheissa, malminetsinnästä kaivoksen sulkemiseen. Kaivostoiminnan ve-

den kiertoon ja pohjavesisysteemeihin liittyvät ympäristöriskit ovat merkittäviä. Näihin kohdistuvia riskejä voidaan tutkia pohjaveden virtausmallinnuksen avulla. Nämä pohjaveden virtausmallit pohjautuvat tutkimusalueelta tuotettuun 3D-geologiseen malliin.

Tässä väitöskirjatyössä tutkittiin jäätiköitymishistoriaa Sodankylässä sijaitsevan Sakan Cu-Ni-PGE-esiintymän alueella sekä tuotettiin tutkimusalueelta 3D-geologinen malli numeeristen pohjaveden virtausmallien pohjaksi. Tutkimusaineisto koostui kattavasta maatutka-aineistosta, leikkaushavainnosta, OSL-ajoituksista sekä alueen LiDAR-korkeusmalleista. Lisäksi hyödynnettiin aiemmin julkaistua monipuolista kairaus- ja leikkaushavaintoaineistoa.

Yksinkertaisuusperiaatteen mukaisesti yksinkertaisin malli on todennäköisimmin toimiva havaintojen lisääntyessäkin. Tämä tutkimus kuitenkin osoitti, että monimutkaiset ja yksityiskohtaiset geologiset mallit ovat hyödyllisiä erityisesti alueilla, joilla on suuri hydraulinen gradientti, useita vedenjohtavuusominaisuuksiltaan vaihtelevia sedimenttiyksiköitä ja eriasteisesti rapautunutta sekä rakoillutta kalliota. Tämän lisäksi on olennaista tunnistaa matalan vedenjohtavuuden yksiköt kuten hienoainesmoreenit sekä vettä hyvin johtavat raot ja siirrokset, jotka vaikuttavat pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueiden sijainteihin hydrostratigrafisissa virtausmalleissa. Sodankylän tutkimusalueelta tuotetut geologiset 3D-mallit osoittavat rapautuneen ja rakoilleen kallion ylimmän vyöhykkeen olevan merkittävä piirre tutkimusalueella. Rakoilleen kallion ylin vyöhyke yltää paksuimmillaan yli 50 metrin syvyyteen; grus-typin rapaamaa on keskimäärin 6 metriä ja savisen rapaaman keskipaksuus on 2,5 metriä. Heikko jäätikkökulutus on mahdollistanut myöhäis-Veikseliä edeltävien kvartaarisedimenttien säilymisen, mahdollisesti jopa Saale-jäätiköitymisen ajalta. Kvartaarikerrostumien paksuus tutkimusalueella on keskimäärin 8 metriä. Alueen klas-tisista kvartaarikerrostumista voidaan erottaa

kolme erillistä moreeniyksikköä ja neljä lajittuneen sedimentin yksikköä. Jatkuvin ja paksuin moreeniyksikkö on korreloitu Varhais-Veikseliin (MIS 5b). Keski-Veikselin (MIS 4) jäätiköitymiseen liitetty moreeni on puolestaan hyvin ohut ja pienialainen. Myöhäis-Veikselin jäätiköityminen (MIS 2) kerrosti melko ohuen moreenipeitteen, joka erodoitui osittain joki-toiminnan vaikutuksesta deglasiation aikana.

Tutkimusalueen jäätikkösyntyisten muodostumien suuntaus on yhteneväinen moreenin suuntauslaskuista havaitun varhais-Veikselin jäätikön virtaussuunnan kanssa.

Keski-Veikselin jäätiköitymisellä puolestaan vaikuttaa olleen heikko vaikutus alueen sedimentaatioon. Jäätikön virtaussuunta-analyysi moreenien suuntauslaskuista osoitti pohjoista–luoteista sijaintia jäänjakajalle varhais- tai keski-Veikselin aikana ja läntistä sijaintia myöhäis-Veikselin aikana. Eolisista sedimenteistä saatu OSL-ikämääritys viittaa alueen olleen ainakin osittain jäätön jo Bølling-Allerød -vaiheessa.

Väitöskirja verkossa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/332212>

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 Kalliomäki