

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia

20.3.2020 Paavo Nikkola,
Helsingin yliopisto

Osittaisesta sulamisesta laavan paikalleen asettumiseen – Islannin basalttien petrogenesistä (From partial melting to lava emplacement: the petrogenesis of some Icelandic basalts)

Tämä väitöskirja käsittelee Islannin basalttisten laavojen syntyä ja kehitystä. Väitöskirjan ensimmäisessä osassa käytän laavoissa esiintyvien oliviinihajarakeiden koostumuksia Islannin alaisen maapallon vaipan sulamisolosuhteiden indikaattorina, toisessa selvitän Eyjafjallajökull-tulivuoren ankaramiitti-laavojen purkautumista edeltäviä säilytysolosuhteita maankuoressa, ja kolmannessa tutkin basalttisen magman differentiaatioprosesseja päohoe-laavapatjasta Hafnarhraun-laavakentällä.

Islannin basalttien oliviinihajarakeiden koostumus viittaa yleensä oliviinirikkaiden (lherzoliittisten) vaipan kivien sulamiseen Islannin alla. Tähän ainoa poikkeus ovat eteläisen Islannin Eyjafjallajökull- ja Vestmannaeyjar-tulivuorten laavoissa esiintyvät oliviinihajarakeet, joissa on paitsi korkea nikkeli- ja matala mangaanipitoisuus, myös alhainen skandium ja vanadium, sekä korkea kromi, titaani, sinkki, kupari ja litium.



Kuva: Henrik Kalliomäki

Oliviiiniharakeiden korkea nikkeli- ja matala mangaanipitoisuus voidaan nähdä oliviinista köyhän pyrokseenittisen vaipan indikaattorina. Tästä huolimatta eteläisen Islannin poikkeavat oliviinikoostumukset selittyvät parhaiten vaipan syvällä sulamisella korkeassa lämpötilassa. Esitän näin sillä (i) korkea nikkeli- ja matala mangaanipitoisuus oliviinissa voi olla myös seurausta vaipan korkeasta sulamislämpötilasta, (ii) Sc-, V-, Ti- ja Zn-pitoisuudet eteläisen Islannin oliviiniharakeissa viittaavat oliviinirikkaaseen vaipan lähteeseen, ja (iii) uusimpien vaipan sulamisen mallien mukaan pyrokseenittivaipan sulat reagoivat helposti ympäröivän lherzoliittivaipan kanssa ja näin ne tuskin säilyvät muuttumattomina noustessaan kohti maapallon kuorta. Eteläisen Islannin magmat ovat luultavasti lähtöisin yli 45 km syvyydestä maan vaipasta ja ne nousevat nopeasti litosfääriin läpi.

E erityisen voimakas syvän vaipan sulamisen signaali (oliviinin korkea nikkeli- ja matala mangaanipitoisuus) havaittiin kahdesta ankaramiitti-laavasta Eyjafjallajökull-tulivuoren

rinteiltä. Selvittääkseni näiden laavojen purkautumista edeltävät säilytysolosuhteet maan-kuoressa, analysoin niistä oliviini-, klino-pyrokseeni-, spinelli- ja sulasulkeumakoostumuksia. Näiden analyysien perusteella arvioin, että tutkittujen ankaramiittien hajarakeet kiteytyivät yllättävän matalassa $3 \pm 1,4$ kbar paineessa, mikä vastaa $10,7 \pm 5$ km syvyyttä maapallon kuoressa. Nämä hajarakeet ovat luultavasti peräisin keskikuoren wehrlittisistä tai plagioklaasi-wehrlittisistä kidepuuroista ja ne nousivat maanpintaan vain muutaman viikon sisällä.

Jotta ymmärtäisin basalttisen magman differentiaatioprosesseja, analysoin päohoe-laavapatjan sisäisiä rakenteita Hafnarhraun-laavakentältä. Selvisi, että laava sisältää kolmen tyyppisiä segregaatorakenteita (sulasegreaatioita): rakkulapiippuja (VC) laavapatjan ytimessä ja kahden tyyppisiä horisontaalisia rakkulapatjoja (HVS1 ja HVS2) laavapatjan yläosissa. VC-koostumukset eivät vastanneet laavan mallinnettuja jäännössulia, mutta ne voitiin selittää kaksivaiheisella syntyhistorialla, jossa VC:t ensin erottuvat isäntämagmasta lähellä laavan pohjaa ja tämän jälkeen niihin kertyy oliviini- ja plagioklaasikiteitä laavapatjan keskiosassa. HVS1-rakkulapatjat muodostuivat, kun nousevat rakkulapiiput levittäytyivät laavan kiteytyvän yläkuoren alapintaa vasten. HVS2-rakkulapatjat ovat puolestaan pitkälle fraktioituneita isäntälaavan jäännössulia, joita tihkui laavan yläkuoreen muodostuneisiin aukkoihin ja rakoihin. Näiden sulasegreaatioiden erottumista muistuttavat prosessit voivat edesauttaa kehittyneiden basalttisten magmojen muodostumista myös maanpinnan läheisissä magmasäiliöissä.

Väitöskirjatutkimukseni korostaa eteläisen Islannin ainutlaatuisuutta verrattuna Islannin muihin magmaattisesti aktiivisiin alueisiin ja valaisee sulasegreaatioiden kehitystä päohoe-laavoissa. Toivon, että löydökseni inspiroivat Islannin vaipan sulamisolosuhteita ja

magmaattisen differentiaation prosesseja selvittävää tutkimusta.

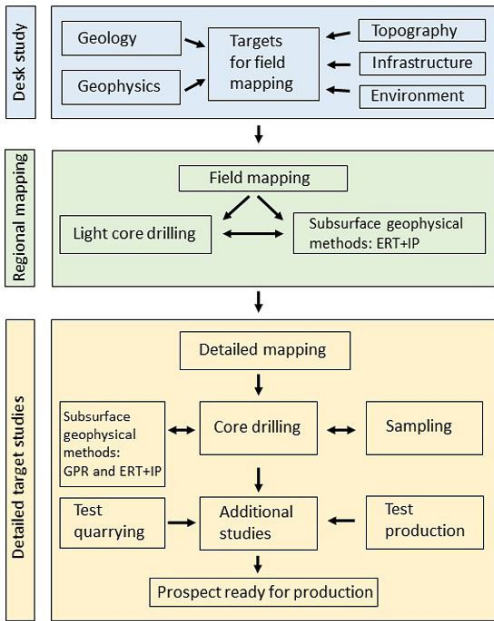
Väitöskirja verkossa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/312229>

27.5.2020 Paavo Härmä, Helsingin yliopisto

Luonnonkiven etsintä Kaakkois-Suomessa sijaitsevan Viipurin rapakivigraniittibatoliitin alueella – uusia näkemyksiä luonnonkiven etsinnästä litologian, rakenteen ja geofysiikan antaman tiedon perusteella (Natural stone exploration in the classic Wiborg rapakivi granite batholith of southeastern Finland – new insights from integration of lithological, geophysical and structural data)

Väitöstyössä tutkittiin Kaakkois-Suomen rapakivigraniittialueen eli ns. Viipurin rapakivibatoliitin kalliopaljastumien pintarapautumista ja sen vaikutusta luonnonkiven etsintään. Väitöskirjassa määritellään batoliitin kivilajit, kallioperän rakoilu sekä kalliopaljastumien rapautumisen vaihtelu. Lisäksi kokeiltiin myös geofysikaalisten menetelmien soveltuvuutta kallioperän rapautumisvyöhykkeiden määrittämiseen luonnonkiven etsintätöiden yhteydessä. Väitöksessä esitetään myös arvioita eri rapakivigraniittien hyödyntämispotentiaalista luonnonkivenä.

Viipurin batoliitin kivilajit jaettiin tutkimuksessa seitsemään päägraniittityyppiin: viborgiitti, tumma viborgiitti, pyterliitti, porfyrynen rapakivigraniitti, tasarakeinen rapakivigraniitti, tumma rapakivigraniitti ja porfyrynen apliitti. Rapakivigraniittien rakoilun todettiin olevan tyybiltään vallitsevasti kuutiollista, mutta batoliitin kaakkoisosassa pääosin kiilamaista. Rapakivigraniittipaljas-



Kuva 1. Uudistettu luonnonkivien etsintäprosessi, joka soveltuu käytettäväksi erityisesti Viipurin rapakivigraniittibatoliitin alueella. ERT = sähköinen vastusluotausmittaus, IP = indusoitu polarisaatio, GPR = maatumkaus. Ympäristöllisiä näkökohtia ei ole huomioitu kaaviossa.

Figure 1. A revised exploration process for natural stone, especially applied to the rapakivi granites of the Wiborg batholith. ERT = Electrical resistivity tomography, IP = induced polarization, GPR = ground penetrating radar. Environmental aspects are omitted.

tumien havaittiin olevan vaihtelevasti rapautuneita ainakin 1–2 metrin syvyyteen asti. Lisäksi todettiin, että rapautuneiden rapakivigraniittipaljastumien pintaosien väri ei edusta syvemmällä olevan rapautumattoman rapakivigraniitin oikeaa väriä. Rapautuneen kiven eheys on myös huono.

Timanttikairauksella voidaan varmuudella määrittää kiven todellinen väri ja eheys kallioista, mutta se on tutkimusmenetelmistä kaikkein kallein. Kiven rakennetta rikkomattomilla geofysikaalisilla menetelmillä, kuten sähköisellä vastusluotausmittauksella (ERT) ja indusoidulla polarisaatiolla (IP) onnistuttiin näissä tutkimuksissa määrittämään luotet-

tavasti rapakivigraniittipaljastumien noin yhden metrin paksuinen rapautunut pintakerros. Tämän perusteella esitetään, että näitä geofysikaalisia menetelmiä pitäisi soveltaa luonnonkiven etsinnässä Viipurin batoliitin alueella.

Väitöskirjassa on luotu uusi luonnonkiven etsintäprosessi, joka soveltuu paremmin luonnonkiven etsintään Viipurin batoliitin rapautuneissa rapakivigraniiteissa (kuva 1). Etsintäprosessi sisältää seuraavat tutkimusvaiheet: etsintäkohteiden valinta pohjautuen lähdeaineistoon, alueellinen etsintäkartoitus ja yksityiskohtaiset kohdetutkimukset. Tutkimuksessa havaittiin myös, että Viipurin batoliitin luonnonkivipotentialisuus on hyvä. Alueelta löydettiin raaka-ainevarantoja nykyisin tuotannossa oleville kiviladuille ja paikannettiin kokonaan uusia kivityppejä.

Väitöskirja verkossa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/bulletin/bt_411.pdf

4.6.2020 Henrik Kalliomäki, Helsingin yliopisto

Orogeeniin (kulta)mineralisaatioihin liittyvien fluidien alkuperä ja niihin vaikuttavia tekijöitä: Näkemyksiä mineraaligeokemian ja munaisen sedimentaatioaltaan arkkitehtuurin perusteella (Controls and origin of (gold) mineralizing fluids in orogenic belts: Insights from mineral geochemistry and paleobasin architecture)

Maapallon tektoniset, eli litosfäärilaattojen liikkeisiin liittyvät, prosessit ovat hallitsevassa osassa useiden maankuoren raaka-ainesten esiintymien muodostuksessa. Esimerkiksi litosfäärilaattojen törmäysvyöhykkeissä syntyy laaja-alaisia vuoristoja eli orogeenejä. Orogeenisissa prosesseissa litosfääriin ja kallioperään kohdistuu suuria paine- ja lämpötilamuutok-

sia, jotka aiheuttavat sekä metamorfoosia eli kiven kemiallisen koostumuksen ja/tai fyysikaalisten piirteiden muutosta että magmatismia, eli sulan kiviaineksen muodostumista. Nämä magmaattiset ja metamorfiset tapahtumat ovat myös vastuussa useiden metallisten mineraaleiksiintymien synnystä. Orogeenisissa vyöhykkeissä tavataankin useita erityyppisiä malmeja, joista osa on syntynyt magmaattisten, osa metamorfisten, ja osa näiden prosessien yhteisvaikutuksesta.

Metallipitoiset mineralisaatiot ja niiden tutkimus on tärkeässä roolissa yhteiskuntien kehityksen kannalta. Mineralisaation esiintymiseen, niiden syntyyn ja hyödynnettävyyteen liittyy vielä paljon selvittämättömiä ja tarkennettavissa olevia tutkimuskysymyksiä. Tässä työssä tutkitaan kahdella Suomen metamorfisella vyöhykkeellä esiintyviä mineralisaatioita, jotka edustavat muinaisia litosfäärilaattojen törmäysympäristöjä. Noin 1,9 miljardia vuotta sitten syntyneen Tampereen liuskealueen sulfidipitoisia mineralisaatioita syntyä, alueellista jakautumista ja suhdetta paikallisiin kallioperän rakenteisiin tutkitaan rakennegeologisin kenttätutkimuksin. Orogeenisten kultamuodostumiin liittyvien fluidien alkuperää ja kemiallisia piirteitä tutkitaan mineraalikeemiallisin menetelmin noin 2,7 miljardia vuotta vanhoista kultamuodostumista Hatun liuskevyöhykkeeltä Itä-Suomesta.

Tutkimustulokset viittaavat siihen, että Tampereen liuskealueen sulfidimineralisaatioiden synty liittyy orogeenisiin prosesseihin ja ovat yhteydessä maankuoren siirroksiin, jotka toimivat kulkuväylinä mineralisaatioita muodostaville fluideille. Tulosten perusteella näiden fluidien alkuperä liittyy todennäköisemmin metamorfoosiin kuin magmaattisiin prosesseihin. Lisäksi alueen itäosiin rakennettiin uusi laattatektoninen malli kuvastamaan kallioperän rakenteiden ja mineralisaatioiden syntyä.

Kultamuodostumiin liittyvien turmaliinien ja kalsiittien kemiallinen koostumus

Itä-Suomen vanhoissa kultamuodostumissa puolestaan haastaa näiden mineraalien, erityisesti suositun turmaliinin, soveltuvuuden kultaa saostavien fluidien alkuperän selvittämiseen. Tutkittujen mineraalien geokemia osoittaa, että vain harvat alkuainekoostumukset soveltuvat kultaa saostavien fluidien alkuperän selvittämiseen, ja näiden perusteella Itä-Suomen kultaesiintymät muodostaneiden fluidien alkuperä liittyy myöskin metamorfisiin prosesseihin magmaattisten sijasta. Molemmat tutkimustulokset viittaavat, että metamorfiset fluidit ovat tärkeässä roolissa mineralisaatioiden syntyyn tektonisiin prosesseihin liittyvillä metamorfisilla vyöhykkeillä.

Väitöskirja verkossa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/314824>

20.11.2020 Maarit Kalliokoski, Turun yliopisto

Suomalaisen tefrokronologian pääpiirteet: Vulkaanisen tuhkan käyttö ajoitusmenetelmänä Suomessa (An outline for Finnish tephrochronology – Volcanic ash as a dating method in Finland)

Tefrokronologia on tarkka ajoitusmenetelmä, joka perustuu tefran eli tulivuoren tuhkan muodostamien kerrosten käyttöön arkeologisten ja geologisten ympäristöarkistojen ajoittamisessa ja korreloinnissa. Tefrokronologinen tutkimus on lähtöisin maapallon tuliperäisiltä seuduilta, joilta se on vähitellen levinnyt yhä kauemmaksi distaalialueille laboratorio- ja analyysimenetelmissä tapahtuneen kehityksen myötä. Nykyään ajoitushorisontteina on mahdollista käyttää jopa paljaalle silmälle näkymättömiä kerroksia, jotka muodostuvat kauimmaksi kantautuneista, mikroskooppisista vulkaanisen lasin partikkeleista eli krypto-tefrasta.

Tämän väitöskirjan päämääränä on arvioida tefrokronologian mahdollisuuksia Suomessa. Kryptotefran esiintymistä Suomessa ei ole aikaisemmin tutkittu, ja yksi työn tärkeimmistä tavoitteista oli luoda alueellinen tefrokronologinen kehys, jota voitaisiin käyttää ajoitustyökaluna suomalaisessa ympäristötutkimuksessa. Tutkimuskohteiksi valittiin 30 suota ja järveä, joista kryptotefraa etsittiin. Tutkimusalue kattaa koko Etelä- ja Keski-Suomen aina Ahvenanmaalta Venäjän rajalle saakka. Tutkimuskohteista löytyi kryptotefraa, joka on geokemiallisen koostumuksensa perusteella peräisin ainakin 17 islantilaisesta ja kahdesta alaskalaisesta tulivuorenpurkauksesta. Vanhin geokemiallisesti tunnistettu tuhkakerroksen peräisin islantilaisen Hekla keskustulivuoren n. 7000 vuotta sitten tapahtuneesta purkauksesta, ja nuorin tuhkakerrostumista on kulkeutunut Suomeen islantilaisen Askja keskustulivuoren vuoden 1875 purkauksesta. Tämän tutkimuksen tuloksena rakennettu Suomen tefrokronologinen kehys kattaa siis noin 7000 vuotta, ja sen muodostavat tefrakerrostumat osoittavat, että tulivuoren tuhkaa on levinnyt Suomeen usein kyseisen ajanjakson aikana.

Tulokset osoittavat myös, että useiden holoseenin tefrakerrostumien levinneisyys-

alueet ovat ulottuneet huomattavasti kauemmaksi itään kuin aiemmin on ollut tiedossa. Esimerkkejä tällaisista tefroista ovat Askja 1875, Hekla 1845, Hekla 1510, Landnám (Torfajökull), White River Ash, Hekla Ö sekä Aniakchak tefra. Lisäksi Hekla Y tefraa löytyi tämän tutkimuksen tuloksena ensimmäistä kertaa Islannin ulkopuolelta. Tulokset osoittavat, että tuhkapilvet kantautuvat Islannista Suomeen sekä suoraan lännestä että pitkin monimutkaisia pohjoisia ja eteläisiä kulkeutumisreittejä. Suomessa tehdyn kryptotefratutkimuksen lisäksi tässä väitöskirjatyössä tutkittiin Hekla X, Hekla Y, Hekla Z ja Hekla 1845 tefrojen geokemiallista koostumusta proksimaalialueiden geologisissa kerrostumissa. Uuden geokemiallisen datan avulla luotiin aiempaa luotettavampia yhteyksiä proksimaali- ja distaalialueiden tefrostratigrafioiden välille. Tämän väitöskirjan tärkein tulos on ensimmäisen suomalaisen tefrokronologisen kehyksen julkaisu. Kryptotefrahorisonttien suuri lukumäärä Suomessa osoittaa, että alueella on erinomaiset mahdollisuudet kryptotefroiin kohdistuvaan jatkotutkimukseen sekä tefrokronologian käyttämiseen ajoitusmenetelmänä.

Väitöskirja verkossa: <https://www.utupub.fi/handle/10024/150677>



Kuva 2. Suomesta löytynyttä Askjan 1875 tulivuorenpurkauksesta peräisin olevaa vulkaanista lasia. Mittajanan pituus on 40 mikrometriä.

Figure 2. Volcanic glass from Askja 1875 eruption found from Finland. The length of the scale bar is 40 micrometers.

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