

MAGMAN MATKASSA

PAAVO NIKKOLA

Barðarbunga-tulivuoren purkaus Holuhraunin laavakentällä 2.9.2014. Kuva: Paavo Nikkola

Eruption of the Barðarbunga volcano on the Holuhraun lava field September 2, 2014. Photo: Paavo Nikkola

Basalttisen magman matka vaipasta maanpinnalle on monimuotoinen ja edelleen osin huonosti tunnettu. Alla katsaus siihen, mitä Islannin basalttisista laavoista tiedetään ja mitä kannattaa sinunkin tietää. Osaan esitetyistä kohdistuu kovaa tieteellistä väittelyä ja näissä tapauksissa kerron oman näkemykseni enempiä mutisematta. Tervetuloa magman matkaan!

Basalttiset laavat ovat maapallon vaipan osittaisia sulia, jotka ovat läpäisseet litosfäärin ja purkautuneet maanpinnalle. Islanti on oikea basalttien *Eldorado*: yksi planeettamme tulivuoritoiminnaltaan aktiivisimmista alueista. Vaipan runsas sulaminen Islannin alla johtuu pääosin Amerikan ja Euroasian litosfäärilaattojen erkanemisesta, joka nostaa alapuolista vaippaa matalampaan paineeseen. Tämän lisäksi Islannin alla oleva vaipan pluumi, ympäristöään kuumempi vaipan nouseva virtaus, edesauttaa sulamista nostamalla lämpötilaa ja syöttämällä verrattain helposti sulavaa vaipan materiaalia repeävän laatitaren alle.

Vaipan dekompressiolla, eli vaippaan kohdistuvalla paineen laskulla, on vaikutuksensa

jopa 120 kilometrin syvyyteen, jossa lähinnä granaatista, oliviinista ja pyrokseenista koostuvat vaipan kivet luovuttavat prosentin tai pari tilavuudestaan sulana, joka keveänä nousee kohti maanpintaa. Vaipan pluumin mukana saattaa myös matkata helposti sulavia pyrokseeniittisiä osia, joista oliviini uupuu osin tai täysin. Nämä pyrokseeniitit lienevät jäänteitä subduktiovyöhykkeillä vaippaan satoja miljoonia vuosia sitten vajonneesta merellisestä kuoresta (Hofmann ja White 1982, Stracke 2012).

Vaipan osittaisen sulamisen aste kasvaa maanpintaa lähestyttäessä ja saavuttaa maksimissaan 20–25 prosentin sulamisasteen litosfäärin ja astenosfäärin rajalla, kun litosfääri on ohuimmillaan (~20 kilometriä paksu) mannerlaattojen reunassa. Litosfääri ei enää merkittävästi sula; jos se sulaisi, emme kutsuisi sitä



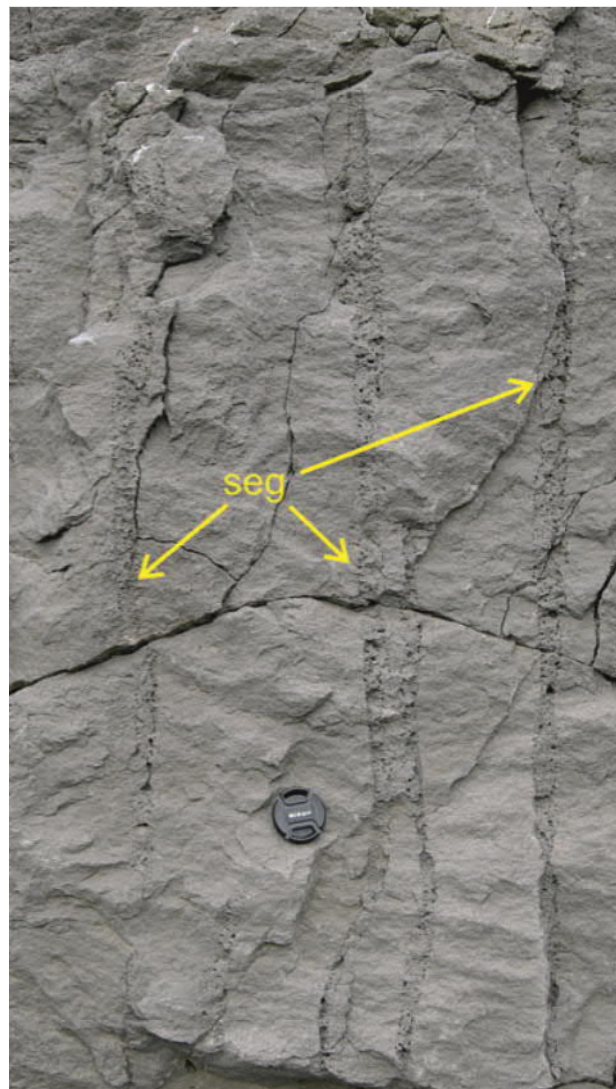
litosfääriksi. Kauempana laattojen reunasta litosfääri on paksumpi, minkä takia vaippa sulaa vain syvällä ja vähemmän. Näin on asian laita esimerkiksi Eyfjafjallajökull- ja Vestmannaeyjar-tulivuorten alla (ks. Nikkola *et al.* 2019a) ja tästä syystä näiden tulivuorten laavat ovat muun muassa vesi-, K_2O - ja Na_2O -rikkaampia kuin laattojen reunavyöhykkeillä purkautuvat.

Litosfäärin alin osa koostuu jo kerran sulaneesta vaipasta. Tämän päällä on merellinen kuori, jolla on ofoliiteistä tuttu rakenne: alimpana ovat kumulaatit ja gabrot, keskiosan juoniparvet, ja yläosan basalttiset laavat. Vaiipan osittaiset sulat muodostavat litosfäärissä laaja-alaisia magmaintruuksioita, jotka voivat olla pääosin sulassa tilassa tai muodostaa mineraaleista ja sulasta koostuvia kidepuuroja.

Vaiipan osittaisia sulia varastoituu litosfääriin läpi sen paksuuden, tosin lähellä maanpintaa basalttisen magman täyttämät kerrosjuonet ja juonet kiteytyvät nopeasti. Litosfäärin syvemmissä osissa (>15 kilometrin syvyydellä) basalttiset magmat saattavat säilyä osin sulina ja olla väliaikaisessa säilössä tuhansia vuosia (Mutch *et al.* 2019a). Tästä huolimatta litosfääriin säilötystä vaippaperäisestä magmasta suurin osa, arviolta 80–95 prosenttia, kiteytyy lopulta syväkiviksi ja jää purkautumatta (White *et al.* 2019). Tyypillisesti Islannin basalttisista magmoista kiteytyy ensin mineraali nimeltä oliviini, sitten plagioklaasi, ja lopulta klinopyrokseeni.

Kun basalttiset magmat lähtevät liikkeelle purkautuakseen maanpinnalle, ne tyypillisesti nousevat maankuoren läpi nopeasti, vain muutamassa viikossa (Mutch *et al.* 2019b). Kuivalle maalle purkautuva basaltti suihkuua pintaa useimmiten varsin rauhaisasti, mutta basalttisenkin magman purkaus voi olla räjähdysmäinen. Basalttisen magman räjähdysherkkyys riippuu sen koostumuksesta, mutta myös nousunopeudesta. Nopeasti nousseet basaltti-

set magmat voivat olla pinnalle saapuessaan voimakkaasti alijäähtyneitä, minkä takia ne kiteytyvät väkivalloin ja äkkinäisesti. Tämä johtaa magman viskositeetin kasvuun ja räjäh-



Kuva 1. Huokoisia piippumaisia sulasegregaatioita (seg) pahoehoe-laavan sisäosista. Sula-segregaatioiden koostumus on ympäröivää laavaa kehittyneempi ja ne ovat muodostuneet laavapatjan asettuessa, kun jäännössulat ovat erottuneet osittain kiteytyneestä pahoehoe-laavasta. Kuvan leveys on 0,8 m. Kuva: Paavo Nikkola

Figure 1. Porous pipe-like melt segregations (seg) within a pahoehoe lava lobe. The melt segregations are typically compositionally evolved in comparison to the surrounding host lava, as they have formed in the separation of residual melts during lava lobe crystallization. Width of the image is 0.8 m. Photo: Paavo Nikkola

dysmäiseen fragmentoitumiseen (Arzilli *et al.* 2019).

Purkautuva basalttinen magma muodostaa maanpinnalla laavakenttiä, jotka tyypillisimmin luokitellaan aa- tai pahoehoe-laavoiksi. Pahoehoe-laavat ja niiden erilaiset muunnokset (esim. 'slappy pahoehoe' sekä 'rubbly pahoehoe') ovat yleisimpiä basalttisia laavoja Islannissa. Paikalle asetuttuaan paksut pahoehoe-laavat eristävät itsensä tehokkaasti ja voivat pysyä sisäosistaan osin sulina kuukausia tai jopa vuosia. Hitaan kiteytymisen aikana pahoehoe-laavat usein differentioituvat ja

koostumukseltaan erilaisia osioita kehittyä niiden sisään (kuva 1; ks. Nikkola *et al.* 2019b).

Islannissa tapahtuu tulivuorenpurkaus keskimäärin 4–5 vuoden välein (Thordarson ja Larsen 2007). Islannin kallioperä kertoo näiden purkausten tarinaa. Kun yhä uudelleen ja uudelleen basalttinen laava asettuu aiemmin purkautuneen kerroksen päälle, muodostuu Islannin vuonojen kaunis morfologia, jossa laavakerrokset tulevat esiin askelmina vuorinteilla (kuva 2). Näitä basaltteja tutkiessa päättyy väistämättä pohtimaan kuinka silikaattimagmojen sulaminen ja kiteytyminen pyö-



Kuva 2. Joukko geologeja kapuaa kohti Sandfell-lakkoliitin huippua Fáskrúðsfjörður-vuonossa Itä-Islannissa. Taustalla kymmenien tuhansien vuosien edestä basalttista vulkanismia. Bongaatko laavapatjoja leikkaavan juonen? Kuva: Paavo Nikkola

Figure 2. A group of geologists struggling up towards the peak of the Sandfell laccolith in the fjord of Fáskrúðsfjörður in East-Iceland. In the background, tens of thousands of years of basaltic volcanism. Can you spot the dike crosscutting the basaltic lavas? Photo: Paavo Nikkola

rittävät materian suurta kiertokulkua armaalla kotiplaneetallamme.

PAAVO NIKKOLA

Geotieteiden ja maantieteen osasto
Helsingin yliopisto
paavo.nikkola@helsinki.fi

Kirjoittaja on magmoista unelmoiva tohtoriopiskelija, joka tekee väitöskirjaa Islannin basalttien synnystä ja kehityksestä kaksoistutkintona Helsingin ja Islannin yliopistoihin.

Lähteet

- Arzilli, F., La Spina, G., Burton, M.R., Polacci, M., Le Gall, N., Hartley, M.E., *et al.*, 2019. Magma fragmentation in highly explosive basaltic eruptions induced by rapid crystallization. *Nature Geoscience* 12:1023–1028.
- Hofmann, A.W. ja White, W.M., 1982. Mantle plumes from ancient oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 57:421–436.
- Mutch, E.J.F., MacLennan, J., Holland, T.J.B. ja Buisman, I., 2019a. Millennial storage of near-Moho magma. *Science* 365:260–264.
- Mutch, E.J.F., MacLennan, J., Shorttle, O., Edmonds, M. ja Rudge, J. F., 2019b. Rapid transcrustal magma movement under Iceland. *Nature Geoscience* 12:569–574.
- Nikkola, P., Guðfinnsson, G.H., Bali, E., Rämö, O.T., Fusswinkel, T. ja Thordarson, T., 2019a. Signature of deep mantle melting in South Iceland olivine. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 174:1–19.
- Nikkola, P., Thordarson, T., Rämö, O.T. ja Heikkilä, P., 2019b. Formation of segregation structures in Hafnarhraun pahoehoe lobe, SW Iceland: a window into crystal–melt separation in basaltic magma. *Bulletin of Volcanology* 81:70.
- Stracke, A., 2012. Earth's heterogeneous mantle: a product of convection-driven interaction between crust and mantle. *Chemical Geology* 330–331:274–299.
- Thordarson, T. ja Larsen, G., 2007. Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *Journal of Geodynamics* 43:118–152.
- White, R.S., Edmonds, M., MacLennan, J., Greenfield, T. ja Aguttsdottir, T., 2019. Melt movement through the Icelandic crust. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 377:1–22.

Summary

Icelandic basalts are partial melts of the underlying mantle, which melts due to the combined effect of lithospheric spreading and the mantle plume. Partial melting of the mantle occurs over a pressure range, so that the first low-degree melts are produced at depths of 120 km below the surface and the maximum extent of melting is acquired at the lithosphere-asthenosphere boundary. In the lithosphere, basaltic magmas can be stored in magmatic intrusions for thousands of years. Most (ca. 80–95 %) of the basaltic magmas are crystallized, forming plutonic rocks, and only minor fraction of the magma is erupted onto the surface of the Earth. When surfaced, basaltic eruptions are typically calm and effusive; however, explosive basaltic eruptions do also occur. The most typical lava morphology in Iceland is pahoehoe, and pahoehoe-lava flows build the Icelandic upper crust, forming the magnificent step-like morphology of the Icelandic fjords.



Haluatko tietää enemmän Islannin basalteista? Tervetuloa Paavo Nikkolan väitöskirjan ”From partial melting to lava emplacement: the petrogenesis of some Icelandic basalts” julkiseen tarkastustilaisuuteen 20.3.2020 klo 12 alkaen Physicummin salissa E204, Kumpulan kampus, Helsingin yliopisto. Väitöstilaisuuden kieli on englanti.