



Ummyndun í gabbróinnskotum á Suðausturlandi
Alteration in gabbroic intrusions in Southeast Iceland

Leiðbeinendur:
Níels Örn Óskarsson
Sigurður Steinþórsson

Júní 2009
Snæbjörn Guðmundsson

HÁSKÓLI ÍSLANDS JARÐVÍSINDAÐEILD

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er samin af mér og að hún hefur hvorki að hluta né í heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

Snæbjörn Guðmundsson
14. júní 2009

Ágrip

Ummyndun í gabbrói frá Hoffelli, Eystrahorni, Vestrahorni og innskoti við Breiðárlón var greind með tilliti til ummyndunarsteinda og tengsla þeirra við frumsteindir og vatnsleiðara bergsins. Jarðhitaummyndun innskotanna er bundin vatnsleiðurum þeirra, einkum greinilegum tektónískum brotflötum en einnig kólnunarsprungum. Steindafylki ummyndunarinnar eru afar fábrotin en myndast greinilega í tveimur megináföngum. Upphafsummyndunin einkennist af niðurbroti plagióklas-feldspats (bytownít-andesín) og tæringu við yfirborð klínópýroxens (ágít) og málmsteinda (ilmenít). Epidót myndast gjarnan miðsvæðis í feldspatkristöllum en kvars, albít og K-feldspat myndast umhverfis. Albít og K-feldspat myndast einnig ásamt kalsíti á jöðrum plagióklas-kristallanna þótt ekki myndist þar epidót. Klórítþekja myndast við brúnir ágítsins en ólivín (sjaldgæft) hvarfast til fulls og skilur efir klórít-fyllt launform (pseudomorph). Kalsít og pýrít koma einnig fyrir, einkum milli frumsteinda eða við sprunguveggi. Lokastig fyrra ummyndunaráverkans markast af samfelldri epidótfyllingu í sprungum, samfelldri albít og K-feldspatþekju í plagióklasinu og loks algjerri þéttingu bergsins. Síðari ummyndunaráverkinn er merkjanlegur þar sem endurtekning verður á sprungumyndun og leggst þannig yfir upphafsummyndunina. Síðari áverkinn einkennist af klórít-kvars fyllingu í sprungum og frekari klórít-myndun við ágít-kristallana. Einnig virðist epidót-hlutur bergsins aukast umhverfis sprungurnar. Sprungufyllingarnar virðast í upphafi vera einsleitt klórít en algengast er að klórít-kvars sambreyskja fylli sprungurnar og að lokum myndast hreinar kvars-fyllingar, sem jafnvel liggja samhliða klórít-fyllingunum eða skera þær. Niðurstaðan er að ummyndun innskotanna hefjist að marki í klórít-epidót ham (facies) umhverfis vatnsleiðara, sem myndast við tektóníska áverka. Endurteknir áverkar valda frekari ummyndun í klórít-epidót ásýnd. Wollastonít fannst ekki í þessari könnun en kalsít er ávallt til staðar, sem bendir til að hitastig ummyndunarinnar hafi verið um og undir 300 °C.

Abstract

Alteration in gabbro from Hoffell, Eystrahorn and Vestrahorn Mountains and an intrusion at Breiðárlón Lagoon was analyzed looking at the alteration minerals and their relations to igneous minerals and their association with fractures (aquifers) of the rock.

The geothermal alteration of the intrusions is limited to their aquifers, especially to visible tectonic joints as well as cooling cracks. The alteration-mineral assemblages are very simple but they are clearly formed in two main stages. The first alteration stage is characterised by breakdown of plagioclase-felspar (bytownite-andesine) and marginal corrosion of clinopyroxene and oxides. Epidote often forms in the core of felspar crystals surrounded by quartz, albite and K-felspar. Albite and K-felspar also form along with calcite at the margins of plagioclase crystals even though epidote is absent. A chlorite cover forms around the outer margins of augite but olivine (rare) fully reacts and leaves chlorite filled pseudomorphs. Calcite and pyrite appear as well, especially in rims connecting primary minerals or in cracks. The final stage of the first alteration event is marked by continuous epidote filling in cracks and continuous albite and K-felspar cover on plagioclase leaving virtually compact rock. The latter alteration event is detected where repeated crack formation is superimposed on the earlier fractures. The latter fractures are characterised by chlorite-quartz filling and extended chlorite formation around augite crystals. Moreover, epidote in the rock seems to have increased around the new cracks. At first, the second-stage crack-fillings appear as homogeneous chlorite but microprobe analysis reveal that the fillings mostly consist of chlorite-quartz conglomerate. The most recent fillings consist of clear quartz veins along the margins chlorite fillings, or even across them. It is concluded that the alteration of the intrusions begins around tectonic fractures (aquifers) at thermal conditions of the chlorite-epidote facies. Repeated fractures cause further alteration in chlorite-epidote facies. Wollastonite was not found in this research but calcite was found in all samples, which suggests that the temperature of the alteration was at or under 300 °C.

Þakkir

Ég vil þakka leiðbeinendum mínum, Níelsi Óskarssyni og Sigurði Steinþórssyni, fyrir veitta aðstoð. Sérstakar þakkir fær Ómar Bjarki Smáráson. Elínu Lóu Baldursdóttur færi ég innilegar þakkir fyrir hvatninguna.

Efnisyfirlit

ÁGRIP	II
ABSTRACT	III
ÞAKKIR	IV
EFNISYFIRLIT	V
MYNDASKRÁ	VI
TÖFLUSKRÁ	VI
1 INNGANGUR	1
2 FYRRI RANNSÓKNIR	1
3 JARÐFRÆÐI SVÆÐISINS	3
3.1 ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI SUÐAUSTURLANDS	3
3.2 EYSTRAHORN.....	4
3.3 VESTRAHORN.....	4
3.4 GEITAFELL	5
4 ÁSÝND OG GERÐ BERGSÝNANNA	5
4.1 ÁSÝND SÝNANNA.....	5
4.2 LÝSINGAR Á SÝNUM	7
4.2.1 Breiðárlón	7
4.2.2 Hoffell.....	7
4.2.3 Hvalnes	7
4.2.4 Vestrahorn.....	7
5 GREININGARVINNA	8
6 NIÐURSTÖÐUR GREININGA	9
6.1 EFNASAMSETNING BERGSINS.....	9
6.2 FRUMSTEINDIR.....	10
6.3 UMMYNDUN OG UMMYNDUNARSTEINDIR	12
7 UMRÆÐA	14
8 NIÐURSTÖÐUR	17
HEIMILDASKRÁ	18

Myndaskrá

Mynd 1 Jarðfræðikort af Suðausturlandi	27
Mynd 2 Efnasamsetning gabbrósýna	28
Mynd 3 BRA 1	29
Mynd 4 HVGR 1	30
Mynd 5 HVGR 2	31
Mynd 6 VHGR 1	32
Mynd 7 VHGR 2	33
Mynd 8 HVF	34
Mynd 9 VHGR 3	35
Mynd 10 HOF	36
Mynd 11 HVGR 3	37
Mynd 12 BRA 2	38

Töfluskrá

Tafla 1 Bergefnagreiningar	20
Tafla 2 Pýroxen efnagreiningar	21
Tafla 3 Feldspat efnagreiningar	22
Tafla 4 Efnasamsetning oxíða	23
Tafla 4a Afblöndun oxíða	24
Tafla 5 Epidót efnagreiningar	25
Tafla 6 Klórít efnagreiningar	26

1 Inngangur

Í þessu verkefni er leitast við að kanna jarðhitaummyndun í innskotunum og freista þess að rekja ummyndunarsögu þeirra til viðbótar við það sem þegar er útgefið (Friðleifsson, 1983; Sigurjón Þórarinsson, 2005). Bergsýni voru einungis tekin í opnum þar sem jarðhitaummyndun er mikil og augljós. Minni áhersla var lögð á að skilgreina samsetningu og innri breytileika innskotanna sjálfra enda eru því viðfangsefni gerð skil í útgefnu efni svo sem í meistararitgerð Sigurjóns Þórarinssonar (2005). Rannsóknarspurning þessa verkefnis snýst um hvort skilgreina megi einstaka ummyndunaráverka í innskotsberginu og draga af þeim ályktanir um orsakir þeirra eða hvort ummyndunin er misleit og fjölbreytt eins og í basaltstaflanum umhverfis. Þessar vangaveltur snúast því um þá grundvallarspurningu hvort jarðhitaummyndun innskotanna er óhjákvæmilegur hluti af kólnunarferlum þeirra sjálfra eða hvort ummyndunin er hluti af svæðisbundinni ummyndun staflans og þannig tilkomin eftir kólnun innskotanna.

2 Fyrri rannsóknir

Ummyndun í gabbróinnskotum á suðausturlandi hefur lítið verið lýst í fyrri rannsóknum utan doktorsritgerðar Guðmundur Ómars Friðleifssonar, sem rannsakaði ummyndunarsögu megineldstöðvarinnar í Geitafelli (Friðleifsson, 1983). Sigurjón Þórarinsson (2005) skrifaði meistararitgerð um bergfræði Eystrahorns. Þar ræðir hann lítillega ummyndun í gabbróinnskotum Hvalnesfjalls og telur þar upp þær ummyndunarsteindir sem hann finnur í berginu. Nefnir hann aktínólít, albít, bíótít, bowlingít, kalsít, klórít, epidót, hornblend, iddingsít, prehnít og serpentín. Enn fremur segir hann að ummyndunin virðist vera staðbundin í sprungum og æðum bergsins. Það er augljóst að stuttur lýsing Sigurjóns á ekki síður við um steindir í diffuðum æðum innskotanna og snertiummyndun en um eiginlega jarðhitaummyndun.

Almenn bergfræði innskotanna á suðausturlandi (Mynd 1) hefur aftur á móti verið rannsökuð töluvert. Fyrstur til þess að lýsa gabbrói umhverfis Hornafjörð og

Lón var Þorvaldur Thoroddsen í ferðadagbók sinni, sem birtist í Geografisk tidsskrift (Thoroddsen, 1896). Hann lýsir rhyólítinnskotum í bæði Eystrahorni og Vestrahorni og telur þau vera bergeitla en nefnir einnig Hoffell sem fundarstað innskotsbergs. Leonard Hawkes rannsakaði innskotin og grannberg þess ásamt samstarfsmönnum sínum á 3. áratug síðustu aldar (Cargill et al., 1928) og lýsti þar lögun þeirra og bergfræði. Jón Jónsson (1954), Annels (1967) og Newman (1967) rannsökuðu bergfræði á svæðinu og lýstu þar meðal annars basískum og súrum innskotum og göngum í berggrunninum umhverfis Hornafjörð.

Töluvert hefur verið ritað um einstök innskot á Suðausturlandi, en mest hefur þó verið ritað um Eystrahorn. David Henry Blake, nemandi George Walker, skrifaði um Eystrahorn (Blake, 1964, 1966) og kortlagði svæðið með mikilli nákvæmni. Blake (1964) taldi að hið lagskipta innskot í Hvalnesfjalli hefði myndast í tveimur áföngum, þar sem súr kvika hefði fyrst myndað granófýrinnskot en í kjölfarið hefði basísk kvika skotist inn í heitan og ekki enn fullkristallaðan granófýrinn og myndað Hvalnesgabbróið. Snemma á 9. áratugnum var unnin skýrsla á Orkustofnun um títtannám í Hvalnesgabbróinu (Björn Gunnarsson og Freyr Sigurðsson, 1982). Mattson et al. (1986) rannsökuðu efnasamsetningu innskotsins og staðbundna blöndun á milli súru og basísku þáttanna í innskotinu. Síðastir á undan Sigurjóni til að rannsaka bergfræði Eystrahorns voru Furman et al. (1992). Þau rannsökuðu efnasamsetningu mismunandi hluta innskotanna í Eystrahorni og útbjuggu bergfræðilíkan sem sýnir þróun mismunandi þátta innskotanna úr sömu móðurkvikunni. Niðurstöður þeirra voru að innskotin væru hluti af rótum fornarr megineldstöðvar, sem rofist hefði ofan af í tímans rás.

Roobol (1969, 1974) rannsakaði innskotin í Vestrahorni og taldi þau hafa myndast sem nokkra þætti af súrum og basískum kvikuskotum þar sem súra granítið myndaðist fyrst áður en gabbróin tróðust inn í það hálfbráðið.

3 Jarðfræði svæðisins

3.1 Ágrip af jarðfræði Suðausturlands

Suðausturland (Mynd 1) er uppbyggt af hraunastafla, sem er að mestu leyti frá síð-tertiér. Aldur jarðlaganna er frá allt að 12 milljón ára gömlum hraunlögum í rótum Eystrahorns niður í 3,2-3,4 milljón ára gömul lög við jaðar Vatnajökuls í vestri (Torfason, 1979). Yngri móbergslög má þó finna í námunda við Vatnajökul. Halli jarðlaganna á svæðinu er um 6–8° í norðvestur (Torfason, 1979). Frávik í jarðlagahallanum má sjá í um 8,5 km breiðu svæði sem liggur um 250 km leið frá Breiðamerkurjökli meðfram Vatnajökli upp í Vopnafjörð, en á þessu svæði hallar hraunlagastaflinn einhalla upp í allt að 35° halla (Annels, 1967).

Sífelldar jöklanir og önnur roföfl hafa skorið landið til og mótað landslagið. Vegna mikils rofs hafa innskot, sem myndast á töluverðu dýpi, komið í ljós á yfirborði og má finna einna flest slík innskot suðaustanlands á landinu. Innskotin hafa myndast á allt að 2 km dýpi og eru opurnar allt frá 1-19 km² að flatarmáli (Roobol, 1974; Klausen, 2006). Stærstu innskotin eru Vestrahorn, 19 km² (Roobol, 1974), Slaufudalur, 15 km² (Torfason, 1979; Marsh et al., 1991) og Eystrahorn, 15 km² (Furman et al., 1992) en meðal annarra minni eru Þverártindur, safn basískra og súrra innskota sem þekja alls um 10 km² (Þórarinsson, 2005) og basísk og súr innskot kennd við Geitafellseldstöðina, en þau þekja á milli 8 og 9 km² (Friðleifsson, 1983). Engar mælingar eða ágiskanir hafa verið lagðar fram um umfang eða rúmmál innskotanna. Staðsetning þeirra innskota, sem rannsökuð voru, er sýnd á Mynd 1.

Aldur stakra innskota er mismunandi. Vestrahorn, Slaufudalur og Eystrahorn eru öll talin vera nokkurn veginn af sama aldri, um 6–7 milljón ára gömul (Gale et al., 1966; Moorbath et al., 1968). Geitafellseldstöðin er yngri, um 5-6 milljón ára (Friðleifsson, 1983) en yngstu aldursmælingar á innskotsbergi á Suðausturlandi eru frá Þverártindseldstöðinni, en innskotsberg frá henni hefur verið aldursgreint 1,7-2,2 milljón ára gamalt (Gale et al., 1966).

Í þessu verkefni var sýni af borkjarna úr gabbrónámu við Breiðárlón rannsakað og greint en það innskot hefur nýverið komið undan jökli og eru því engar fyrri rannsóknir til á því, hvorki bergfræðilýsingar né aldursgreiningar.

3.2 Eystrahorn

Innskotið í Eystrahorni (Mynd 1) samanstendur að mestu af lagskiptu gabbróí, granófýrinnskotum og samsettu basísku og ísúru innskotsbergi (Blake, 1964), alls um 15 km² að flatarmáli. Aðalgabbróinnskotið í hinu 756 m háa Hvalnesfjalli þekur um 2,3 km² (Björn Gunnarsson og Freyr Sigurðsson, 1982) og er langstærsta einstaka gabbróinnskot á Íslandi (Thorarinsson og Tegner, 2009). Gabbróið er sjáanlega umlukið granófýr eða súru-basísku bólstrabergi („acid–basic pillow complex“) á alla vegu og snertifletir á milli gabbrósins og grannbergsins eru skarpir og án merkja um hraða kólnun (Blake, 1964). Mörkin á milli granófýrsins og gabbrósins eru víða óregluleg og liggja þunnar æðar granófýrs inn í gabbróið. Er þetta talið til marks um að granófýrinn hafi ekki verið fullkristallaður þegar gabbróið tróðst inn í hann (Thorarinsson og Tegner, 2009). Gabbróið hefur verið greint sem þóleíft til milli-þóleíft (Furman et al. 1992).

Gabbrósýnin úr Hvalnesfjalli voru tekin við norðurjaðar skriðunnar ofan við Hvalnesbæinn í um 120 m hæð yfir sjó.

3.3 Vestrahorn

Innskotið í Vestrahorni (Mynd 1) er uppbyggt af tveimur basískum innskotum sem liggja sitt hvoru megin við granítinnskot (Roobol, 1974). Roobol (1974) telur granítið hafa myndast fyrst en gabbróinnskotin fylgt í kjölfarið. Lítil merki eru um kólnun á milli granítsins og gabbróanna, sem bendir til þess að granítið hafi enn verið hálfbráðið, þegar gabbróinnskotin áttu sér stað. Gabbróinnskotið í Vestrahorni er næststærsta einstaka gabbróinnskot á Íslandi (Roobol, 1974), næst á eftir gabbróinnskotinu í Hvalnesfjalli.

Gabbrósýnin úr Vestrahorni voru tekin úr grjótnámu nyrst undir vesturhlíð innskotsins.

3.4 Geitafell

Geitafellseldstöðin (Mynd 1) er Tertíer megineldstöð. Bæði basískt og súrt innskotsberg má finna þar sem rofist hefur ofan af grunnum kvikuhólfum eldstöðvarinnar og er þessum innskotum skipt upp í þrjú svæði, sem kennd hafa verið við Viðborðsfjall, Geitafell og Valagil. Er Viðborðsfjall stærst þessara innskota, en alls þekja þau á milli 8 og 9 km² (Friðleifsson, 1983). Í einu þessara innskota hefur verið unnið gabbró, og hefur sú náma verið kennd við Hoffell. Er hún staðsett vestur undir Hoffellsfjalli, og tilheyrir að líkindum svonefndu Valagilsinnskoti Geitafellseldstöðvarinnar.

Gabbrósýnin voru tekin í syðsta hluta námunnar þar sem ummyndun bergsins er áberandi.

4 Ásýnd og gerð bergsýnanna

4.1 Ásýnd sýnanna

Djúpbergsásýndir basalts eru gjarnan flokkaðar eftir kristallastærð frumsteindanna, sem einkum eru plagióklas, klínópyroxen, járn-títan oxíð og í frumstæðu bergi einnig ólivín. Grófkristallað (um 1 mm) gangberg og syllur flokkast gjarnan undir díabas/dólerít en svo er einnig um grófasta kjarna þykkra basalhrauna. Grófkristölluð basaltinnskot flokkast oftast undir gabbró en þar getur kristallastærð náð um og yfir sentimetra. Misjöfn hlutföll kristalla, einkum plagióklass og klínópyroxens, eru algeng í handsýnum jafnvel þótt innskotið sé ekki lagskipt. Til aðgreiningar nefnist ljóst, plagióklas-ríkt gabbró leucogabbró en klínópyroxen- og málm-ríkt gabbró nefnist melagabbró.

Alla jafna er ekki eðlismunur á textúr bergsins í gabbrói og dóleríti nema þar sem stórir dýlar svo sem plagióklas ljá dólerítinu porfýrítisk einkenni. Þannig er gabbró oftast í grófum ófítiskum textúr þar sem plagióklas-listar og flögur í óreiðu sitja í grófkristölluðum pyroxen-grunnmassa en málmsteindirnar raðast í staka kekki eða samhangandi fleti. Í leucogabbrói, þar sem plagióklas myndar samhangandi fleti í þunnsneið, verður textúrin oftast en ekki súbófítiskur þannig að stakir pyroxen-kristallar umlykjast plagióklasi. Þar sem mest er af klínópyroxeni (melagabbrói) og enn frekar þegar mest er af plagióklasi (leucogabbrói) kemur fyrir að vellaga (euhedral) kristallar af annarri gerð finnast umluktir í þeim stærri, sem oftast en ekki

eru óreglulega samvaxnir og formlausir. Þá hefur bergið þróast í átt að poikilítískum textúr, sem minnir raunar á anorthósít.

Ófítískur textúr sílíkatanna endurspeglar í raun kristöllum í kerfinu Fo-Di-An þar sem ólivín var upphaflega á liquidus kvikunnar, sem þróast í átt að cotecticum við plagíóklas og loks klínópýroxen. Svo virðist sem málmsteindirnar verði oft aftarlega í kristöllumarröðinni. Þess sjást stundum merki að járn-títanoxíðin mynda samhangandi fleti, sem greinilega eru byggðir utan um þil af dendrítísku, líklega hraðvöxnu ilmeníti. Oftar en ekki snertast þannig síðborin oxíð-þil og nokkuð fínkorna plagíóklas-ríkur grunnmassi. Þetta gæti bent til þess að lokakristöllum í gabbrói verði við nokkuð vatnsríkari skilyrði en að öllum jafnaði. Þetta kæmi væntanlega til af því að lokahluti kvikunnar, sem inniheldur þá allt upphafsvatn hennar, yrði nokkuð þunnfljótandi og skriði því gjarnan saman í linsur eða þynnur þar sem oxíðþil yxu hratt.

Jafnvel þótt gabbróinnskot virðist ekki lagskipt koma gjarnan fyrir opnur þar sem nokkuð jafnstórir kristallar virðast hafa myndað einskonar botnfall (cumulat). Oftar en ekki sést þetta í ólivíngabbrói, sem þá myndar orþókúmúlat-textúr. Einnig er algengt að ljósar linsur í gabbrói hafi náð að mynda ísúra samsetningu undir lok kristöllumar.

Sýnin, sem notuð eru í þessu verkefni, eru af ýmsum textúr og mismunandi kornastærð enda flest valin með tilliti til ummyndunaráverka. Í gabbró-opnum, þar sem ummyndun sést, má í fljótu bragði greina tvenns konar ummyndunarásýnd; flekki eða rákir á metraskala þar sem mött, grænleit litbrigði benda til ummyndunar, og sprungur (æðar) á millimetra-skala, sem fyllst hafa ummyndunarsteindum en ummyndunaráverkar sjást meðfram þeim, oft tugi sentimetra. Ekki er unnt að greina mun á fylkjum ummyndunarsteinda í ummynduðum flákum og sprungubeltum; klórít og epidót eru mest áberandi í báðum tilfellum.

Öll sýnin innihalda pýroxen, feldspat og Fe-Ti-oxíð sem frumsteindir en auk þess ummyndunarsteindirnar K-feldspat, albít, epidót, klórít, kvars og kalsít. Ólivín finnst ekki í þessum sýnum en klórít fyllt launform (pseudomorph) ólivíns, að talið er, koma fyrir í Mg-ríkustu sýnunum.

4.2 Lýsingar á sýnum

4.2.1 Breiðárlón

BRA (Myndir 3 og 12): Borkjarni úr innskoti við Breiðárlón. Feldspatríkt, ljóst berg, stakir feldspatkristallar allt að 6 mm langir, pýroxen allt að 1,5 mm ásamt feldspati í grunnmassa. Oxíð oftast um 0,1–2 mm en ilmenít-þynnur allt að 4 cm langar. Epidót allt að 1 mm er algengur en klórít-dreif minna áberandi. Sýnið er lagskipt; flákar af gráum fínkorna massa skiptast á við ljósa grófkristallaða fláka.

4.2.2 Hoffell

HOF (Mynd 10): Ófítískt, fínkorna gabbró úr Hoffellsnámunni. Sprungur eru fylltar epidóti og kvarsi, klórít er á jöðrum pýroxens og í flekkjum, líklega launform ólivín-kristalla.

4.2.3 Hvalnes

HVGR (Myndir 4, 5 og 11): Súbófítískt, grófkorna gabbró frá Hvalnesi. Plagíóklas-kristallar ná allt að 7 mm lengd og pýroxen allt að 6 mm. Oxíð-kristallar ná allt að 3 mm stærð. Sprungur eru fylltar klóríti eða epidóti.

HVF (Mynd 8): úr sömu opnu og HVGR en fremur fínkorna.

4.2.4 Vestrahorn

VHGR (Myndir 6, 7 og 9): Gróft gabbró frá námu í Vestrahorni. Feldspat- og pýroxen-dílar allt að 8 mm. Epidót í sprungufyllingum og stökum flákum, klórít- og kvars-fyllingar koma fyrir. Kleyfnisprungur feldspatsins gjarnan járnliðaðar eftir oxandi yfirborðsveðrun.

VHF: Súbófítískt, ljóst gabbró úr sömu opnu og VHF. Feldspatlistar 3–4 mm, nánast straumflögótt berg með staka epidót-flekki og klórít umhverfis pýroxen. Veðrunareinkenni eins og í VHGR.

5 Greiningarvinna

Sýni voru skyggð fyrir könnun í víðsjá, smásjárskoðun fór fram í áfallandi ljósi og efnagreiningar í örgreini voru gerðar af öllum sýnum. Hluti handsýnanna (um 200 g en af borkjarnasýni voru aðeins tekin 20 g) var grófmalaður og hristur saman en um 10 g voru fínmöluð fyrir efnagreiningu með ICP-litrófsgreiningu. Leir til XRD-kristagreininga var skolaður úr hluta bergduftsins.

Aðalefnagreiningar voru gerðar í upplausn af bergi, sem brætt var í líþíum-metaborat flúxi (1:2). Storknar flúxperlurnar voru leystar í 5% saltþéturssýru með 1,3% saltsýru og oxalsýru. Styrkur fastefna í mælilausninni var 1% af þunga. Greiningin var gerð á SPECTRO CIROS litrófsmæli. Niðurstöður bergefnagreininganna eru í Töflu 1.

Leir úr skolvatni af bergdufti var felldur á gler fyrir XRD-greiningu til að staðfesta með einföldum hætti að um klórít væri að ræða. Öll leirsýnin reyndust vera einkar vel kristallað klórít.

Örgreiningar voru gerðar á feldspati, pýroxeni, epidóti, klóríti og oxíðum. Greiningarnar voru gerðar á ARL-SEMQ-30 rafeindaörgreini við 15 kV og 10 nA. Nokkuð örðugt er að skyggja ummyndunarsteindir svo sem epidót og leirsteindir svo vel að þær megi greina í örgreini. Þetta á einkum við um leirsteindir (klórít í þessum sýnum), en aðeins tókst að skyggja þéttan leir í sprungufyllingum.

6 Niðurstöður greininga

6.1 Efnasamsetning bergsins

Í Töflu 1 eru efnagreiningar af öllum sýnunum ásamt CIPW normreikningi. Þar kemur í ljós að sýnið BRA er raunar ísúrt og einnig sýnin frá Vestrahorni (13-25% Qz í normi). Hoffellsgabbróið og sýnin frá Hvalnesi eru aftur á móti ólivín-normatíft þóleítískt basalt. Þegar efnasamsetning innskotanna er skoðuð í samhengi við gosberg af yfirborði kemur í ljós að þau endurspeglar engan veginn óbrennlaða kvikusamsetningu.

Á mynd 2, sem sýnir Mg# eða $MgO/(MgO+FeO)$ á móti TiO_2 , kemur í ljós að sýnin víkja nokkuð frá algengustu bergsamsetningu í þóleíft-röðinni. Á myndinni, sem til einföldunar gæti endurspeglad kristal-diffrun, er punkadreif frá Eystra-gosbeltinu (sjá texta við Mynd 2), sem sýnir þróun berggráðarinnar frá frumstæðu ólivín-þóleífti að Ti-ríku kvars-normatífu basalti og þaðan að súru gosbergi neðst til vinstri á myndinni.

Sé þess gætt að viðbót eða missir ólivíns eða FeTi-oxíða raskar samsetningu þess sem eftir stendur er ljóst að bæði „ísúru“ sýnin frá Vestrahorni (VHF og VHGR) eru mótuð af ójafnvægis-kristaldiffrun, þannig að ein steind hefur tapast eða bæst kvikunni. VHF ber einkenni ólivín-diffrunar (lækkandi Mg) en VHGR er greinlega auðgað í TiO_2 , sem kemur til af ilmenít uppsöfnun. Þetta er stutt af þeirri staðreynd að lóðrétt (VHF) og lárétt (VHGR) tilfærsla punktanna flytur þau á sama stað í gosbergsgögnunum. Þessi sýni væru þannig dæmi um uppsafnaða bráð af þróaðri samsetningu, sem ætla mætti að jafnframt hefði verið nokkuð vatnsrík. Þótt utangarðsefni svo sem Zr og Ba samsvari nokkurn veginn gildum fyrir ísúrt gosberg (300–400 ppm) fer því fjarri að þessi sýni tilheyri þróunarröð diffrandi kviku enda væri styrkur Ti, Mg og Fe fjarri lagi ef svo væri.

Sýnið BRA gæti aftur á móti samsvarað gosbergssamsetningu ísúrs bergs, sem annars er nánast óþekkt á rekkeltunum eins og kemur fram á sýnasafni myndarinnar þar sem vöntun á ísúru bergi er áberandi (Daily Gap). Það mætti þannig segja að sýnið úr Breiðamerkurinnskotinu, BRA, sem inniheldur yfir 10% K-feldspat og kvars flokkist undir granódíorít. Hins er samt að gæta að 20 g af grófkristölluðum borkjarna eru tæpast einkennandi fyrir innskotið allt og þróaður plagióklas, allt að

65% SiO₂, ásamt kvasi í ljósu gabbróí flytur samsetninguna í átt að súru bergi. Áberandi, stórar þynnur af „skeletal“ ilmeníti í BRA sýninu benda til þess að kvikan hafi verið nokkuð vatnsrík (Sigurður Steinþórsson, munnlegar upplýsingar) þannig að líklega er sýnið af lokastigi staðbundinnar kristal-diffrunar innan innskotsins. Eins og getið verður síðar er bergið í heild samt ekki í jafnvægisástandi þar sem pýroxen þess er dæmigert ágít af samsetningu, sem vænta má í basalti.

Ólivín-normatífu sýnin frá Hvalnesi og Hoffelli (Mynd 2) hafa líklega misst nokkuð af ólivíni við kristaldiffrun. Þótt bæði sýnin, en einkum sýnin HOF og HVGR, greinist með dæmigert hátt MgO, vekur athygli að Ni er langt undir 100 ppm en í ódiffrudu basalti mætti vænta a.m.k. tvöfalt hærri gilda. Sé þess einnig gætt, að þessi sýni falla neðan við meginfylgni Mg# og TiO₂ á Mynd 2, er dregin sú ályktun að þau hafi fellt út allnokkuð af ólivíni. Þess má geta að Sigurjón Þórarinsson (2005) lýsir nokkurra metra þykkum linsum af ólivín kúmúlati í Vestrahorni og telur það afleiðingar af staðbundinni ólivíndiffrun frá þeim tíma er kvika tróðst í innskotið.

6.2 Frumsteindir

Nokkrar greiningar af frumsteindum bergsýnanna voru gerðar með örgreini. Í Töflu 2 eru greiningar af pýroxeni frá Breiðamörk, Hoffelli og Hvalnesi. Það vekur athygli að pýroxen-dílarnir í ísúra Breiðamerkursýninu eru einsleitt, nokkuð þróað, ferróágít (18-29% En). Pýroxen í Hoffellsgabbróinu er 29–37% En og pýroxen frá Hvalnesi er 40% En.

Þessar samsetningar eru dæmigerðar fyrir ágít, sem lýst hefur verið í gabbróí. Það vekur athygli að pýroxensamsetningin í Breiðamerkursýninu er basísk og bendir til þess að það sé raunar diffrud smáæð í gabbróí þar sem pýroxen basaltsins er enn til staðar.

Feldspatgreiningar frá Breiðamörk, Hvalnesi, Hoffelli og Vestrahorni eru skráðar í Töflu 3. Breiðamerkursýnið er feldspatríkt en aðeins kristallarnir BRA-5 og BRA-8 og BRA Z4-Z10 gætu talist “frumsteindir” í þróuðu bráðinni. Þessir kristallar eru andesín-óligóklas, sem samsvarar bergefna greiningunni þokkalega. Þannig mætti segja að kvikufeldspat þróuðu æðanna sé óligóklas (An₂₀–An₁₂). Að öðru leyti eru feldspat-kristallarnir ummyndunarsteindirnar K-feldspat og albít.

Í örgreinis-sniði yfir stóran feldspatkrisal, BRA Z1-Z10, kemur fram að kjarni hans er óligóklas, að líkindum frumsteind úr þróuðu bráðinni, en allur byrðingur kristalsins er K-feldspat eins og vikið verður að síðar.

Feldspat í Hvalnes-gabbróinu hefur kjarna með dæmigerðri bytownít samsetningu, sem þróast í þunnan óligóklas-byrðing. Auk þess eru albít-óligóklas korn í ummynduðum svæðum.

Í Hoffellsgabbróinu er einsleitt labradórít óbyggjandi frumsteind en í ljósa gabbróinu frá Vestrahorni er andesín vafalítið frumsteind.

Efnasamsetning nokkurra oxíða er skráð í Töflu 4. Skemmst er frá að segja að ilmenít er algengasta oxíð-frumsteindin í sýnunum. Í Töflu 4 eru greiningar frá Hvalnesi og Hoffelli dæmigerðar fyrir algengustu oxíðin. Algengast er að ilmenít myndi formlausa flekki í berginu en subhedral lögung kemur oft fyrir, einkum í Hoffellsgabbróinu (Mynd 10). Grindlaga („skeletal“) ilmenítflögur eru algengar í ljósustu hlutum bergsins, líkt og þær umlyki þar hluta bergsins. Á Myndum 8 og 9 sjást dæmigerðar ilmenítflögur.

Afblöndun oxíða er ekki algeng í berginu en kemur víðast fyrir í ljósum og líklega bergfræðilega þróuðum linsum í berginu. Oftast er um að ræða einn afblöndunarfasa eins og sést á Mynd 11. Á SEM myndinni er ilmenít ljósara en járnríki fasinn (Mt-Usp) er dekkri.

Á Mynd 12 sést mikið afblandað ilmenít frá ísúra Breiðamerkurinnskotinu. Þessi kristall var efnagreindur og kemur í ljós (Sýni BRA1–BRA6 í Töflu 4) að kristallinn afblandaðist í nokkrum áföngum. Þetta gæti gefið vísbendingu um kólnunarsögu þróðu hlutanna í berginu. Í Töflu 4a eru niðurstöður úr hita-súrefnisþrýstings reiknilíkani (Lepac, 2009) þar sem ilmenítsamsetningin BRA1 er látin mynda afblöndunartvenndir með Mt-Usp greiningunum BRA6, BRA5 og BRA3.

Vísbending reikninganna er að ilmenít afblandaðist í þrepum, fyrst rétt við solidushita basalts (BRA3: 1100–1150 °C), síðan við rúmlega 600 °C (BRA5) og loks lægsta afblöndunarhitann, um 590 °C. Þótt ef til vill megi vefengja þessa einfölduðu kólnunarsögu má samt telja víst að afblöndun oxíðanna í BRA-sýninu er ekki ummyndunarferli af sökum jarðhita en miklu fremur lokastig storknunar og kólnunar ísúru bráðarinnar. Reiknaður súrefnisþrýstingur í Töflu 4a liggur mjög nærri FMQ-búffernum (Myers og Eugster, 1983) en það er í sjálfu sér vísbending um kvikuferli fremu en ummyndunarferli.

Spyrja mætti hvort í innskotunum gæti verið um að ræða ummyndun við lokastig kólnunar bergsins. Slík ummyndun er nefnd „deuteric“-ummyndun og einkennist af röð ummyndunarsteinda frá háum hita að lokaástandi bergsins, sem

gæti að sjálfsögðu verið í klórít/epidót-ásýnd eins og sýnin í þessu verkefni. Í berginu sem lýst er í þessu verkefni finnast þó ekki ummyndunarsteindir, sem benda til hærri hita en klórít/epidót ásýndar. Það er því líklegast að ummyndunin sé jarðhitaummyndun í þeim skilningi að jarðhitavökvi seitlei inn í bergið utan frá. Það að ummyndunin er tengd sprungusvæðum styður þá túlkun. Sigurjón Þórarinsson (2005) nefnir að í Hvalnes-innskotinu finnist hornblende og aktínólít, sem gæti bent til „deuteric“-ummyndunar, þótt hún finnist ekki í þessu verkefni.

6.3 Ummyndun og ummyndunarsteindir

Greinilegt er að jarðhitaummyndun í innskotunum er staðbundin með tvennu móti; við sprungusveima í berginu og í sprungnum kubbabergsflákum, sem gjarnan mynda einkennandi skriður í hlíðum innskotanna, svo sem í námunni í Vestrahorni.

Megineinkenni jarðhitaummyndunarinnar, sem greind var í þessu verkefni, er hversu fábrotin og einsleit hún er. Í raun má segja að ekki fannst marktækur munur milli ummyndunar-steinda eða -fylkja þeirra í þessum sýnum. Sterkasta einkenni ummyndunarinnar er sprungufyllingar þar sem epidót, klórít og kvars fylla og þetta sprungurnar. Bæði epidót og klórít koma samt fyrir í stökum kristöllum og flekkjum í berginu öllu.

Á Mynd 3 sést epidót-æð, sem skorin er af klórít-æð, sem aftur er að hluta skorin af kvars-æð. Klórít í þessu sýni (BRA) er nokkuð oxað af yfirborðsveðrun, sem einnig má merkja af járnlituðum æðum í kleyfnisprungum feldspat-kristalla.

Mynd 4 frá Hvalnesi sýnir klórít-ríkt berg, bæði klórít-æð og klórít-fyllt launform ólivíns. Epidót-æðarnar eru að jafnaði aðeins úr þeirri steind en klórít-æðarnar eru oftast en ekki í tengslum við kvars-æðar og sumar sprungurnar eru fylltar bæði með klóríti og kvasi. Mynd 5 sýnir breiða kvars-æð þar sem vel afmörkuð klórít-æð liggur í kvars-æðinni. Þetta er algengt fyrirbæri og virðist þannig til komið að sprunga (vatnsleiðari) fyllist af klóríti, sem dregur efni úr sprunguveggjunum og skilur þar eftir fínkorna kvars-ríkt belti beggja vegna sprungunnar. Stakir kvars-kristallar myndast ekki í klórít-æðunum þannig að svo virðist sem klórít og kvars myndist samhliða.

Hreinar kvars-sprungufyllingar koma einnig fyrir eins og sést á Mynd 6 þar sem samvaxnir ilmenít- og ágít-kristallar eru brotnir af kvars-fylltri sprungu. Ætla mátti að lokastig sprungufyllinganna markaðist af kvars-útfellingum.

Stakir kvars-kristallar eru víðast í berginu (Mynd 3) og kalsít kemur einnig fyrir í smáum mæli í öllum sýnunum. Sjaldgæfara er að ummyndunar-feldspatarnir (albít, K-feldspat) myndi sérstaka vel formaða kristalla. Líklegt er að stærstu alkálífeldspatarnir séu í raun launform (pseudomorph) af plagíóklasi. Á Mynd 7 sést mjög breiður albít-hvarfarimi á andesíni (Sýni BRA Z1-Z10) og ekki er langt í að alkálífeldspatinn standi einn eftir.

Efnasamsetning nokkurra ummyndunarsteinda er skráð í Töflu 3, 5 og 6. Í Töflu 3 sést að ummyndunarfeldspat er annað hvort albít eða K-feldspat. Samsetningarsniðið BRA Z1-Z10 sýnir að alkálífeldspat, sem vex úr feldspat-frumsteind, tengist henni með örmjóu hvarfabelti. Þar sem einungis er um tvöföld breidd rafeindageislans milli greindra staða (3–5 míkrómetrar) staðfestir þetta að alkálí-feldspat vex úr plagíóklas-frumsteind með upplausn og útfellingu en ekki með jónaskiptum, sem óhjákvæmilega myndu leiða til samfelldrar breytingar í samsetningunni. Þetta var sýnt fram á í nýlegri rannsókn (Larsson et al., 1996) á myndun ummyndunarfeldspats úr plagíóklasi á Hengilssvæðinu en einnig þar var Na-feldspatinn oftast óligóklas-albít.

Í feldspatgreiningunum í Hvalnessýninu er einnig greinilegt að einsleitir óligóklas myndast meðal plagíóklas-frumsteindanna.

Í Töflu 5 eru skráðar epidótgreiningar úr ísúra sýninu BRA og úr Hvalnesgabbróinu en í þessum sýnum tókst einna best að skyggja epidót í æðum og stökum dílum þannig að efnagreiningar á örgreini væru óyggjandi. Samsetning epidóts úr báðum sýnunum er merkilega lík og einsleit. Enginn beltaður epidót fannst, hvorki með efnagreiningu í örgreini né dökkleikamun á BSE-SEM mynd. Í BRA-sýninu er epidót fullkomlega einsleitur (13–15%) FeO en í Hvalnesgabbróinu 8–11% FeO.

Röntgengreining á leirsneiðum úr öllum sýnunum sýnir einungis fábrotna leirsamsetningu, nefnilega eingöngu klórít. Klórít-efnagreiningar á sýnum frá BRA og Hvalnesi eru skráðar í Töflu 6. Klórít BRA-sýnisins er ákaflega einsleitt Mg-Fe klórít (chamosite) en í Hvalnessýninu er nokkuð Mg-ríkara Mg-Fe klórít. Munurinn milli sýnanna gæti í þessu tilfelli endurspeglað gjörólíka samsetningu móðurbergsins. Hvað sem því líður er breytileikinn innan hvors innskots hverfandi miðað við klórít-samsetningu í ummynduðum basaltstafla.

Kvars finnst í öllum sýnunum, bæði sem fínkorna massi í sprungufyllingum og umhverfis epidót, en einnig sem stakir kvarskristallar. Kalsít finnst í smáum mæli í öllum sýnum, einkum umkringdur klórít-massa.

Pýrít finnst í litlum mæli í öllum sýnum, einkum í nánd við fylltar sprungur.

7 Umræða

Sé í upphafi gert ráð fyrir að jarðhitaummyndun gosbergs og innskota felist einkum í niðurbroti frumsteinda og vexti ummyndunarsteinda, þar á meðal margra vatnaðra, í lághitafylki, gefur augaleið að ummyndun hraunastafla og innskota er gerólik.

Í hraunastafla, sem sekkur undir upphleðslu gosbeltanna, ganga ummyndunarferlin frá veðrun og vötnun við yfirborðshita móti sífellt hækkandi hita. Bergið tekur á sig alþekktar en nokkuð ógreinilegar ummyndunarásýndir þar sem einkennissteindir eru geislasteinar-smektít-bandleir-klórít/epidót. Það er fyrst í klórít/epidót ásýndinni, sem nokkuð víðfeðmt jafnvægi tekur að myndast á um og yfir 2 km dýpi ofan við um 250 °C. Í ummynduðum hraunastafla er auðsætt hversu lekt jarðlagana stýrir umfangi ummyndunarsteindanna. Þótt holrými hraunastaflans reynist 3–5% af rúmtaki og vatn sé í ofgnótt lengst af eru þétt hraunlög úr borholum lítið eða ekki ummynduð á 2–3 km dýpi. Umhverfis vatnsleiðara og í holufyllingum taka ummyndunarsteindirnar við hver af annarri. Í fylltum blöðrum og sprungum hægir á umkristöllun þannig að hæstu ummyndunarásýnd á hverju dýpi er að finna við virka vatnsleiðara. Heildarmyndin er því sú að í ummynduðum hraunastafla finnast steindir sem endurspegla heitasta ástand hans en bera jafnframt í sér slóða af steindum, sem mynduðust á fyrri stigum en einangruðust frá virkum vatnsleiðurum.

Ummyndun í þunnu innskoti, svo sem berggangi eða syllu, er gerólik og einfaldari þar sem bergið kólnar hratt í það hitastig, sem dýpi og hitastigull segir til um. Eftir skammvinna og oftast mjög óverulega snertiummyndun tekur ferskt bergið á sig þá ummyndunarásýnd, sem ríkir í umhverfinu. Greinilegt er í berggöngum í tertíera staflanum að ummyndunin er greinilegust í stuðlasprungum og út frá þeim. Eins eru þykkir gangar og bergþil, sem ekki eru mjög sprungin, oftast en ekki úr merkilega fersku bergi.

Holrými virðist þannig vera einn af takmarkandi þáttunum í ummyndun. Engu breytir þótt orkulosun við ummyndun sé þeim mun meiri sem háhitasteindir eru fleiri og ferskari: ef holrýmið og gegnumstreymi vatns skortir ummyndast bergið síður eða ekki.

Sé ummyndun hraunastafla og innskots borin saman er auðsætt að ummyndun hraunanna hefst í lægstu ásjáð en ummyndun innskotsins hefst í ríkjandi (hæstu) ásjáð.

Textúr gabbróinnskota er vissulega staðfesting á mun hægari kvikukólnun en verður í þykkustu dóleríthraunum og göngum þótt textúr þeirra sé í meginatriðum sá sami. Tímaskali kristöllumunarinnar í gabbróinnskotum er óþekktur enda ekki ljóst hvað ræður. Reikna má kælingarhraða innskots af ákveðinni stærð miðað við þekkt dýpi og þekkta varmaleiðni umhverfisins (Jeager, 1961) og sem dæmi má nefna að 200 m þykk sylla í 25°C heitu umhverfi kólnar um 200 °C á um 1000 árum en 700 m þykk sylla í 100 °C heitu umhverfi á um 60 000 árum. Það er samt alls óvíst hvort varmaleiðni berggrunnsins ræður kælingunni þar sem innskot er nógu grunnstætt til að jarðvatn nemi við yfirborð þess og nái að flytja varma úr kerfinu með jarðhitavirkni. Hitt er einnig óljóst hvort gabbróinnskot myndast í einu lagi eða með fjölda smærri innskota.

Sé reiknað með að grynustu gabbróinnskot í megineldstöðvum gosbeltanna gætu náð upp á um það bil 2–3 km dýpi má ætla að kólnunarhraði þeirra sé ekki ýkja langur. Algengt er að gufuborholur, t.d. á Kröflusvæðinu endi í gabbrói á um 2 km dýpi. Innskotin á Suðausturlandi eru af sumum talin af svipuðum toga (Þórarinsson, 2005). Svo grunn innskot ná raunar upp í klórít/epidót ásjáð ummyndunarinnar.

Kólnunarsprungur geta myndast yst í stórum innskotum þar sem kæling er hraðari en innri formbreyting bergsins. Sé reiknað með að hitaþanstuðull sé 5×10^{-6} og að berg verði elastískt neðan við 750 °C, lætur nærri að kæling í 300 °C skilji eftir sig 2,25 mm sprungu umhverfis hvern fermetra bergsins. Slík kæling er að líkindum orsök kubbabergsfláka utan í gabbróinnskotum svo sem í vesturhlíðum Vestrahorns. Þar er viðvarandi ummyndun af þeirri gerð, sem lýst er í þessu verkefni, þótt ummyndunarsteindirnar séu oftast mun fíngerðari en þær sem finnast í víðari sprungum.

Flestir rannsakendur tengja innskotin á Suðausturlandi við kjarna megineldstöðva og draga þá ályktun einkum af sífelldri nálægð granófýrs við innskotsjaðrana. Sé svo, er annað óhugsandi en að innskotin verði fyrir

jarðskjálftaáverkum á áratuga eða alda fresti. Efnasamsetning innskotanna skipar þeim einnig eindregið á bekk með venjulegu þóleítísku basalti, sem einkennir rekbeltin.

Mekanískar skjálftasprungur gætu þannig verið orsök ummyndaðra sprungubelta í innskotunum enda skera slík belti þá óljósu lagstrúktúra sem eru í flestum innskotum.

Hér er því talið líklegast að ummyndunarferli innskotanna tengist sprungum af völdum kælingar en einkum brotflötum eftir skjálftahrinur. Þar sem bergið er þá þegar á hitastigi klórít/epidót ásýndarinnar brestur ummyndunin á og myndar fábrotna jafnvægisásýnd í fyrstu atrennu. Ummyndunin stöðvast í þeirri sömu ásýnd þar sem ummyndunaráverkin leiðir til algerrar þéttingar bergsins.

Upphafsaáverkin felst í sundrun ólivíns, plagíóklass og ágíts ásamt oxíðum en jafnframt myndast alkalífeldspat, epidót, klórít og kvars. Það er augljóst að járn hreyfist auðveldlega í þessum hvörfum og má ætla að klórít-ríkur vökvi komi þar við sögu. Gera má ráð fyrir að járn leysist sem tvígilt járn en oxist í vökvanum áður en járníð nýtist í epidót. Einnig er hugsanlegt að klórít-ríkt vatn gæti leyst bæði þrígilt og tvígilt járn, t.d. úr magnetíti. Dreifð en sífelld viðvist pýríts og kalsíts bendir til „venjulegs“ jarðhitavökva og þess að hitastig var tæpast mikið yfir 300 °C. Sú ályktun er byggð á viðveru kalsíts og því að wollastonít, sem gæti markað niðurbrot kalsíts og hvörf við kvars, finnst ekki í sýnunum og ekki heldur aktínólít, sem ætla mætti að myndaðist við hita ofan við um 300 °C. Hins er að gæta að Sigurjón Þórarinsson (2005) greinir frá aktínólíti í Hvalnesinnskotinu en greinir umhverfi þess ekki nánar.

Á hverjum stað myndast einsleitar steindir en ummyndunartextúr sýnanna bendir til að epidótmyndunin gangi til fulls á undan klórítmynduninni og að myndun kvarsfyllinga þétti bergið að lokum. Þessi ályktun er dregin af myndunarröð sprungufyllinganna og því að fyrir kemur að bergið fullþéttist meðan epidótmyndunin er ríkjandi. Lafnvel mætti ætla að mismunandi brotflötir myndist á nokkuð mismunandi tíma þannig að epidót-, klórít- og kvarsfylltar sprungur myndist einfaldlega í þeirri röð.

Einnig er áhugavert hve einsleitur epidót myndast í bergfyllingunum. Miðað við epidót-greiningar frá Reykjanesi (Lonker et al., 1993) og úr Reyðarfjarðarborholunni (Exley, 1982) er epidót innskotanna merkilega einsleitur. Í báðum þessum rannsóknum kom fram að epidót úr basaltstaflanum er oftast beltaður.

Í raun er epidót af breytilegri samsetningu í mónóklín röð milli klínózóisíts, $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$, og pistasíts, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{FeSi}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ þar sem járníð er að sjálfsögðu þrígilt. Í Reyðarfjarðarholunni og á Reykjanesi er epidót ávallt beltaður og innri samsetningarmunur oftlega sá sami og í öllu sýnasafni höfundanna. Samsetningarbilið er sem næst 15–50% pistasít, sem samsvarar um 7–24% FeO í efnagreiningu. Þetta undirstrikar eðlismuninn á ummyndun innskotanna og hraunastaflans þar sem hver ummyndunarásýnd tekur við af annari.

Þannig er sú ályktun dregin að ummyndun innskotanna hefjist í hæstu ummyndunarásýnd, sé skammvinn og ljúki við þéttingu bergsins.

8 Niðurstöður

Niðurstöður verkefnisins eru dregnar sanan í eftirfarandi atriði.

1. Ummyndunarsteindir innskotanna eru þær sömu þótt nokkur munur sé á efnasamsetningu og steindahlutföllum móðurbergsins. Ferlunum er þannig alls staðar stýrt að sömu steindum.
2. Ummyndunin er staðbundin uppleysing frumsteinda og útfelling ummyndunarsteinda, sem þetta bergið á skömmum tíma. En jafnframt nokkur tilflutningur járn og kísils um skamman veg.
3. Ummyndunin hefst og endar í klórít/epidót ásýnd við um 300 °C.
4. Ummyndunin er bundin sprungum, sem leiða jarðhitavatn í innskotsbergið, bæði kólnunarsprungum og skjálftabrotum.

Heimildaskrá

- Anderson, A.T., 1968. Oxidation of the La Blanche Lake titaniferous magnetite deposit, Québec. *Journal of Geology* **76** (4), 528–547.
- Andersen, D.J., Lindsley, D.H., 1985. New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer. Abstract AGU 1985 Spring Meeting Eos Transactions. *American Geophysical Union* **66** (18), 416.
- Annels, A. E., 1967. The geology of the Hornafjordur region, S. E. Iceland. Doktorsritgerð, University of London, 278 bls.
- Björn Gunnarsson og Freysteinn Sigurðsson, 1982. Títanríkar steindir í gabbrói úr Hvalnesfjalli í Lóni og Meðalfelli í Nesjum. Orkustofnun, Reykjavík, 61 bls.
- Blake, D.H., 1964. The volcanic geology of the Austurhorn area, south-eastern Iceland. Doktorsritgerð, Imperial College, London University, 192 bls.
- Blake, D.H., 1966. The net-veined complex of the Austurhorn intrusion, south-eastern Iceland. *Journal of Geology* **74**, 891–907.
- Cargill, H.K., Hawkes, L. og Ledebøer, J.A., 1928. The major intrusions of south-eastern Iceland. *Quarterly Journal of the Geological Society, London* **84**, 505–539.
- Carmichael, I.S.E., 1967. The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **14** (1), 36–64.
- Exley, R. A., 1982. Electron microprobe studies of Iceland research drilling project, High temperature hydrothermal mineral chemistry. *Journal of geophysical research* **87**, 6574–6557.
- Fridleifsson, G.O., 1983. The geology and alteration history of the Geitafell central volcano, southeast Iceland. Doktorsritgerð, University of Edinburgh, 371 bls.
- Furman T., Frey F.A. og Meyer P.S., 1992. Petrogenesis of evolved basalts and rhyolites at Austurhorn, Southeastern Iceland: the role of fractional crystallization. *Journal of Petrology* **33**, 1405–1445.
- Gale, N.H., Moorbath, S., Simons, J. og Walker, G.P.L., 1966. K-Ar ages of acid intrusive rocks from Iceland. *Earth and Planetary Science Letters* **1**, 284–288.

- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998. Jarðfræðikort af Íslandi, 1:500.000: berggrunnur. Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík, (2. útgáfa).
- Jeager, J. C., 1961. The cooling of irregularly shaped igneous bodies, *Am J. Sci.*, 259, 721-734.
- Johnson, R.W., 1968. Granophyre stock in Southeast Iceland and the distribution of epidote around it. *Scientia Islandica* **1** 55–59.
- Jónsson, J., 1954. Outline of the geology of the Hornafjörður region. *Geografiska Annaler* **36**, 146–161.
- Lindsley, D.H. og Spencer, K.J., 1982. Fe-Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (Ilm) abstract AGU 1982 Spring Meeting Eos Transactions. *American Geophysical Union* **63** (18), 471.
- Lonker, S. W., Franzson, H., Kristmannsdóttir, H., 1993. Mineral fluid interaction in the Reykjanes and Svartsengi geothermal systems, Iceland. *Am. J. Sci.*, 293, 605-670.
- Marsh, B.D., Gunnarsson, B., Congdon, R. og Carmody, R., 1991. Hawaiian basalt and Icelandic rhyolite: Indicators of differentiation and partial melting. *International Journal of Earth Sciences* **80** (2), 481–510.
- Mattson S.R., Vogel T.A. og Wilband J.T., 1986. Petrochemistry of the silicic-mafic complexes at Vesturhorn and Austurhorn, Iceland: evidence for zoned/stratified magma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **28**, 197–223.
- Myers, J. og Eugster, H.P., 1983. The system Fe-Si-O: Oxygen buffer calibrations to 1,500K. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **82**, 75–90.
- Newman, T.C.M., 1967. The geology of some igneous intrusions in the Hornafjörður region, S. E. Iceland. Doktorsritgerð, Victoria University of Manchester, 168 bls.
- Powell, R. og Powell, M., 1977. Geothermometry and oxygen barometry using coexisting iron-titanium oxides: a reappraisal. *Mineralogical Magazine* **41** (318), 257–263.
- Roobol, M.J., 1969. The Vesturhorn acid-basic intrusion, south-east Iceland. Doktorsritgerð, Imperial College, London, 177 bls.
- Roobol, M.J., 1974. The geology of the Vesturhorn intrusion, SE-Iceland. *Geological Magazine* **111**, 273–286.

- Spencer, K.J. og Lindsley, D.H., 1981. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *American Mineralogist* **66** (11–12), 1189–1201.
- Stormer Jr, J.C., 1983. The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multi-component iron-titanium oxides. *American Mineralogist* **68** (5-6), 586–594.
- Thorarinsson, S.B. og Tegner, C., 2009. Magma chamber processes in central volcanic systems of Iceland: constraints from layered gabbro of the Austurhorn intrusive complex. *Contributions to Mineralogy and Petrology X?*
- Thoroddsen, Th., 1896. Fra det sydøstlige Island. Rejseberetning fra Sommeren 1894. *Geografisk Tidsskrift* **13**, 3–37.
- Torfason, H., 1979. Investigations into the structure of south-eastern Iceland. Doktorsritgerð, University of Liverpool, 568 bls.
- Þórarinnsson, S., 2005. Petrology of the Hvalnesfjall Layered Gabbro of the Austurhorn Intrusive Complex, SE Iceland. Mastersritgerð, University of Aarhus, 93 bls.

TAFLA 1 – BERGEFNAGREININGAR

Sýni	BRA	HOF	HVF	HVGR	VHF	VHGR
SiO ₂	60,14	48,01	52,81	49,40	67,37	59,15
Al ₂ O ₃	12,57	13,93	16,46	16,54	15,19	11,76
FeO	10,47	11,51	9,70	8,57	5,53	10,53
MnO	0,22	0,17	0,19	0,14	0,16	0,27
MgO	2,16	7,84	4,06	7,97	0,44	3,14
CaO	5,43	13,76	10,06	13,32	3,04	5,44
Na ₂ O	3,94	2,24	2,92	2,13	3,89	4,12
K ₂ O	2,19	0,14	1,09	0,28	2,98	1,50
TiO ₂	1,59	2,15	2,19	1,38	0,88	2,50
P ₂ O ₅	1,13	0,12	0,38	0,14	0,38	1,44
Ba	0,0417	0,0028	0,0189	0,0051	0,0468	0,0273
Co	0,0029	0,0058	0,0043	0,0049	0,0009	0,0035
Cr	0,0020	0,0125	0,0032	0,0103	0,0014	0,0009
Cu	0,0026	0,0164	0,0083	0,0116	0,0009	0,0004
La	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ni	0,0045	0,0059	0,0034	0,0097	0,0013	0,0015
Rb	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sc	0,0017	0,0046	0,0023	0,0032	0,0007	0,0019
Sr	0,0301	0,0338	0,0340	0,0352	0,0334	0,0435
V	0,0044	0,0355	0,0263	0,0223	0,0016	0,0111
Y	0,0096	0,0016	0,0079	0,0026	0,0076	0,0098
Zn	0,0140	0,0096	0,0090	0,0074	0,0145	0,0143
Zr	0,0366	0,0062	0,0198	0,0149	0,0451	0,0389
SUM-N	100	100	100	100	100	100

CIPW - VOL-NORM*

Quartz	13,25	0,00	3,54	0	24,46	13,81
Plagioclase	47,55	53,12	58,62	58,66	47,25	48,67
Orthoclase	14,66	1,00	7,45	1,95	18,98	10,14
Nepheline	0	0	0	0	0	0
Leucite	0	0	0	0	0	0
Kalsilite	0	0	0	0	0	0
Corundum	0,00	0,00	0	0	0,66	0
Diopside	6,77	30,24	13,75	22,44	0,00	6,09
Hypersthene	13,09	0,18	12,79	7,33	6,68	14,84
Wollastonite	0	0	0	0	0	0
Olivine	0	11,99	0	7,25	0	0
Ilmenite	1,84	2,65	2,59	1,66	0,97	2,93
Magnetite	0,47	0,55	0,45	0,4	0,24	0,48
Hematite	0	0	0	0	0	0
Apatite	2,37	0,27	0,82	0,31	0,76	3,05

*CIPW-forrit eftir Kurt Hollocher, Geology Department,
Union College, Schenectady, NY, 12308, hollochk@union.edu

Tafla 1. Bergefnagreiningar: Efnagreining og CIPW-norm sýnanna. Niðurstöður eru þungaprósent og summan stillt á 100%. Raunverulegar oxíð summur ICP-greiningarinnar eru á bilinu 97–103%.

TAFLA 2 – PÝROXEN EFNAGREININGAR

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	SUM	%Wo	%En	%Fs
BRA-PX1	52,39	0,00	3,07	26,90	0,48	5,15	11,92	0,11	100,02	29,75	18,01	52,24
BRA-PX2	52,31	0,03	2,72	24,44	0,49	7,73	12,09	0,20	100,01	28,84	25,83	45,33
BRA-PX3	50,96	0,05	4,63	24,66	0,46	7,14	11,70	0,40	100,00	28,63	24,44	46,92
BRA-PX4 (4)	52,00	0,01	3,77	23,78	0,46	7,98	11,66	0,34	100,01	28,21	27,04	44,75
BRA-PX5	52,11	0,24	2,34	26,29	0,59	7,87	9,80	0,78	100,00	23,75	26,70	49,55
BRA-PX6	52,56	0,07	1,72	29,61	0,87	6,46	8,18	0,54	100,00	20,33	22,46	57,21
BRA-PX7	53,34	0,00	1,35	25,21	0,85	7,18	11,97	0,10	100,00	28,75	24,14	47,11
HOF-80	53,52	0,52	1,37	10,63	0,27	15,65	17,69	0,35	100,00	36,96	45,77	17,27
HOF-103	52,90	0,05	5,40	16,32	0,29	12,40	12,02	0,62	100,00	28,57	41,26	30,17
HVG (3)	52,60	0,75	4,63	9,76	0,21	13,61	17,98	0,46	100,00	40,30	42,69	17,01

Tafla 2.

Örgreiningar: Pýroxen greiningarnar eru meðaltal tveggja talninga, stilltar á summuna 100%. Raunverulegar greindar summur eru á bilinu 98–102%.

TAFLA 3 – FELDSPAT EFNAGREININGAR

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SUM	% An	% Ab	% Or
BRA-1	66,50	17,08	0,34	0,02	0,49	15,56	100,00	0,18	4,66	95,16
BRA-2	66,57	17,34	0,45	0,00	0,51	15,13	100,00	0,04	4,92	95,04
BRA-3	64,76	17,76	0,67	0,24	0,53	15,05	99,01	2,54	5,07	92,39
BRA-4	65,96	16,98	0,35	0,08	0,87	15,77	100,00	0,75	7,81	91,43
BRA-5	64,49	21,87	0,00	1,94	10,71	0,07	99,08	16,66	83,00	0,33
BRA-6	67,59	19,33	0,15	0,79	10,90	0,21	98,98	7,33	91,53	1,14
BRA-7	66,74	19,29	0,17	0,67	10,95	0,93	98,75	6,03	89,10	4,88
BRA-8	66,34	21,53	0,05	1,35	10,98	0,07	100,31	11,94	87,70	0,35
BRA-9	68,85	19,52	0,08	0,62	11,35	0,08	100,51	5,70	93,88	0,41
BRA-10	68,79	19,54	0,05	0,65	11,39	0,12	100,53	5,88	93,49	0,62
BRA-Z1	66,96	16,96	0,32	0,03	0,69	15,04	100,00	0,29	6,63	93,08
BRA-Z2	66,57	17,58	0,28	0,28	1,90	13,39	100,00	2,85	17,52	79,63
BRA-Z3	66,57	18,74	0,15	1,05	5,43	8,07	100,00	9,83	46,01	44,16
BRA-Z4	66,52	19,59	0,12	1,71	7,77	4,29	100,00	15,22	62,49	22,29
BRA-Z5	66,73	20,00	0,08	2,12	9,52	1,55	100,00	18,21	73,99	7,80
BRA-Z6	66,55	20,18	0,06	2,34	10,32	0,56	100,00	19,56	77,73	2,70
BRA-Z7	66,98	20,23	0,05	2,39	10,21	0,14	100,00	20,45	78,85	0,70
BRA-Z8	66,89	20,43	0,05	2,49	10,05	0,10	100,00	21,40	78,09	0,51
BRA-Z9	66,73	20,23	0,05	2,28	10,61	0,11	100,00	19,11	80,36	0,53
BRA-Z10	66,46	20,37	0,07	2,19	10,78	0,12	100,00	18,28	81,15	0,57
HV-1	48,09	33,88	0,70	15,92	2,21	0,10	100,89	88,56	11,13	0,31
HV-2	48,43	33,50	0,76	16,01	2,36	0,22	102,29	87,63	11,66	0,71
HV-3	48,35	31,88	0,58	14,76	2,66	0,10	98,34	85,70	13,95	0,35
HV-4	52,86	29,28	0,49	11,19	3,33	1,99	99,13	72,87	19,57	7,56
HV-6	50,38	30,76	0,37	12,40	3,96	0,21	98,08	77,02	22,23	0,74
HV-7	54,35	30,50	0,48	11,67	4,56	0,33	101,89	73,04	25,75	1,22
HV-8	61,05	24,18	0,13	4,36	7,91	1,73	99,36	34,82	57,12	8,07
HV-9	64,21	22,78	0,13	3,19	8,72	1,13	100,16	27,21	67,17	5,62
HV-10	64,62	21,32	0,00	2,14	9,93	0,14	98,14	19,11	80,17	0,71
HV-11	66,60	20,09	0,06	1,30	11,29	0,09	99,43	11,27	88,27	0,45
HV-12	67,31	22,03	0,06	1,16	10,74	0,12	101,42	10,63	88,70	0,66
HOF-1	52,81	29,32	0,48	10,87	4,79	0,29	98,57	70,72	28,17	1,11
HOF-2	51,85	30,05	0,51	11,84	4,39	0,25	98,89	74,22	24,87	0,92
VH-1	56,76	23,39	0,77	7,68	7,85	0,67	97,10	50,66	46,78	2,56

Tafla 3.

Örgreiningar: Feldspatgreiningarnar eru meðaltal tveggja talninga nema í sýnaröðinni BRA Z1–Z10 þar sem ein greining er notuð en summurnar stilltar á 100%.

TAFLA 4 – EFNASAMSETNING OXÍÐA

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	SUM
BRA1 (8)	50,67	0	47,63	0,11	0,06	100,9
BRA2 (7)	49,58	0,00	46,65	2,59	0,04	98,86
BRA3 (2)	31,44	0,87	65,99	1,68	0,09	100,09
BRA4 (2)	25,43	2,79	68,39	1,36	0,04	97,98
BRA5 (2)	9,69	1,10	86,43	0,48	0,01	97,71
BRA6 (2)	3,73	1,60	91,24	0,23	0,00	96,80
HVF (3)	47,96	0	49,81	3,33	0,28	101,37
HVG (4)	45,11	0	50,62	1,84	0	97,57
HOF4 (4)	47,45	0	50,83	1,14	0,07	99,59
HOF (2)	37,54	0	61,87	0,91	0,05	100,35

Tafla 4.

Örgreiningar: Oxíð greiningar, tölur í svigum tákna fjölda talninga á hvert sýni.

TAFLA 4a – AFBLÖNDUN OXÍÐA

REIKNIFORRIT: ILMAT A Magnetite-Ilmenite Geothermobarometry Program (version 1.20c)

Eftir: Luc D Lepage (Lepage@geoladm.geol.queensu.ca)

BRA6	BRA1	BRA5	BRA1	BRA3	BRA1	Calc. Methods:
Mol% Usp	Mol% Ilm	Mol% Usp	Mol% Ilm	Mol% Usp	Mol% Ilm	
10.37%	95.15%	26.91%	95.15%	87.00%	95.15%	Anderson (1968)
10.28%	97.43%	26.79%	97.43%	88.09%	97.43%	Lindsley & Spencer (1982)
10.64%	97.49%	27.48%	97.49%	90.00%	97.49%	Stormer (1983)
11.06%	97.44%	28.00%	97.44%	90.70%	97.44%	
Powell & Powell (1977)		Powell & Powell (1977)		Powell & Powell (1977)		Geothermometer by:
Temp (°C)		Temp (°C)		Temp (°C)		X'Usp & X'Ilm from:
565		679		1166		Carmichael (1967)
512		610		1037		Anderson (1968)
513		611		1074		Lindsley & Spencer (1982)
518		616		1097		Stormer (1983)
Spencer & Lindsley (1981)		Spencer & Lindsley (1981)		Spencer & Lindsley (1981)		Geothermobarometer by:
Temp (°C)	log₁₀ fO₂	Temp (°C)	log₁₀ fO₂	Temp (°C)	log₁₀ fO₂	X'Usp & X'Ilm from:
612	-19.62	651	-18.88	1263	-7.56	Carmichael (1967)
547	-23.75	559	-23.50	894	-13.83	Anderson (1968)
545	-23.91	556	-23.70	935	-13.01	Lindsley & Spencer (1982)
548	-23.74	559	-23.53	971	-12.31	Stormer (1983)
Andersen & Lindsley (1985)		Andersen & Lindsley (1985)		Andersen & Lindsley (1985)		Geothermobarometer by:
Temp (°C)	log₁₀ fO₂	Temp (°C)	log₁₀ fO₂	Temp (°C)	log₁₀ fO₂	X'Usp & X'Ilm from:
630	-19.11	677	-18.21	1307	-8.21	Carmichael (1967)
560	-23.27	586	-22.65	952	-14.03	Anderson (1968)
558	-23.42	583	-22.83	1011	-13.08	Lindsley & Spencer (1982)
562	-23.24	586	-22.65	1059	-12.30	Stormer (1983)

Tafla 4a.

Jafnvægisreikningar ilmeníts og Usp-Mt.

TAFLA 5 – EPIDÓT EFNAGREININGAR

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	SUM
BRA-1	39,08	21,99	14,10	22,79	0,04	98,00
BRA-2	38,58	22,12	13,87	23,36	0,07	98,00
BRA-3	38,98	22,16	13,64	23,16	0,06	98,00
BRA-4	39,14	22,28	13,33	23,22	0,02	98,00
BRA-5	38,61	22,52	13,49	23,33	0,05	98,00
BRA-6(9)	38,51	22,86	12,82	23,79	0,03	98,00
HV-1	41,99	27,45	7,98	20,38	0,19	98,00
HV-2	42,15	27,55	7,77	20,49	0,04	98,00
HV-3	43,67	26,79	7,48	20,04	0,02	98,00
HV-5	44,63	22,87	8,76	21,73	0,01	98,00
HV-6	42,50	26,08	8,37	20,67	0,38	98,00
HV-7	39,93	31,38	7,37	19,29	0,02	98,00
HV-8	41,75	26,17	8,79	21,26	0,04	98,00
HV-9	43,39	24,63	8,50	21,43	0,04	98,00
HV10	41,77	28,01	7,21	21,00	0,02	98,00
HV-12	41,62	28,10	7,09	21,07	0,12	98,00
HV-13	41,04	26,97	8,63	21,35	0,02	98,00
HV-14	41,79	27,93	7,21	21,06	0,00	98,00
HV-15	41,89	26,72	8,22	21,13	0,03	98,00
HV-17	41,69	26,86	8,22	21,19	0,04	98,00
HV-22	40,42	29,01	6,79	21,75	0,03	98,00
HV-23	38,56	25,60	10,62	23,23	0,00	98,00
HV-24	40,90	26,18	9,05	21,82	0,05	98,00
HV-25	39,03	25,26	10,58	23,09	0,04	98,00
HV-26	37,91	23,60	12,82	23,67	0,00	98,00
HV-27	38,60	25,05	10,45	23,87	0,03	98,00

Tafla 5.

Örgreiningar: Epidótgreiningar, summur stilltar á 98%. Hver greinin er meðaltal tveggja talninga nema sýni BRA-6, sem er meðaltal 8 greininga. Raunverulegar summur eru 95–98%.

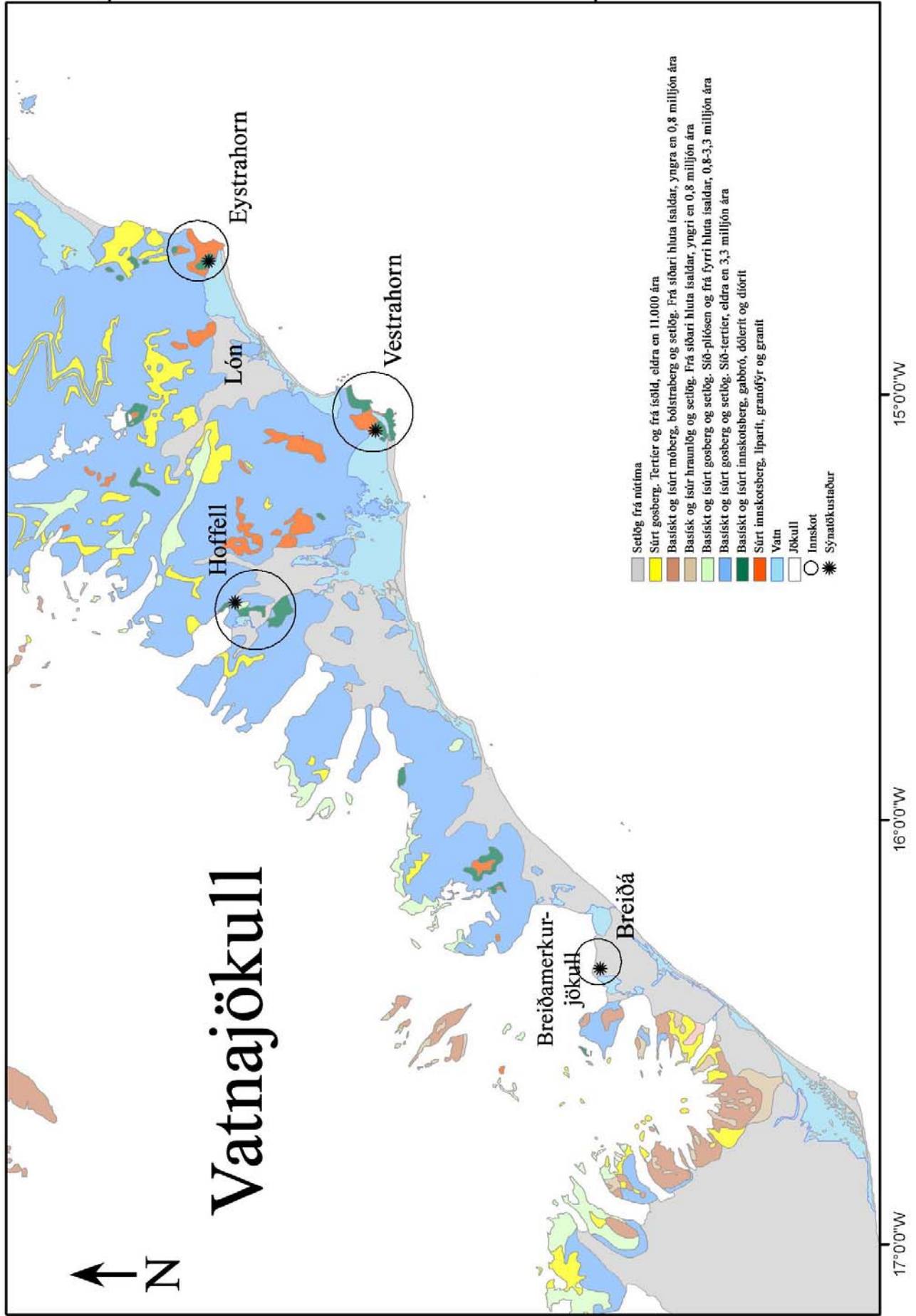
TAFLA 6 – KLÓRÍT EFNAGREININGAR

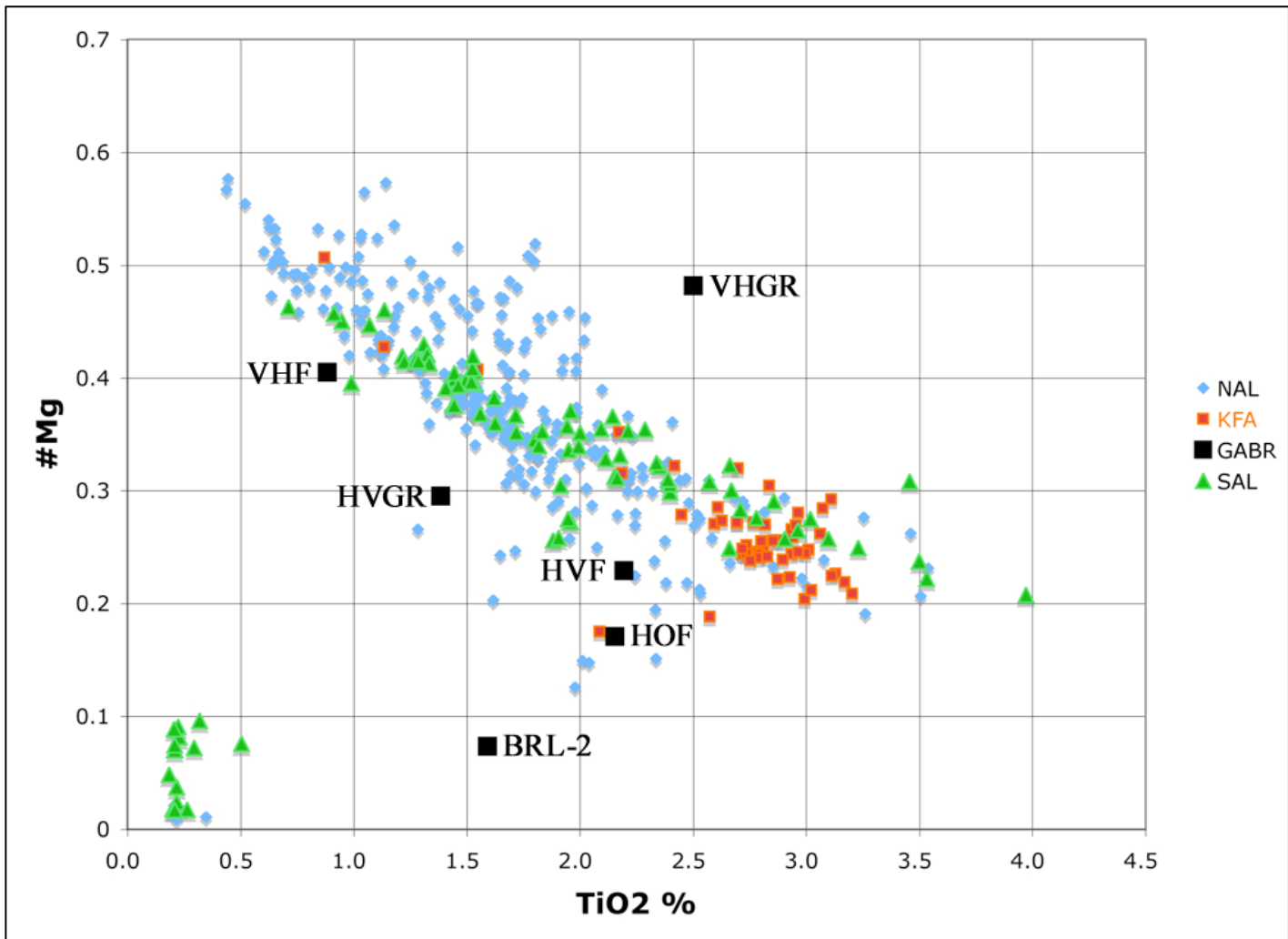
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	SUM
BRA-1	35,48	12,27	26,57	0,28	8,15	4,94	0,31	88,00
BRA-2	27,29	18,51	31,88	0,26	9,93	0,13	0,01	88,00
BRA-3	26,83	18,62	32,16	0,24	9,99	0,12	0,03	88,00
BRA-4	32,55	14,70	28,51	0,47	8,27	3,16	0,33	88,00
BRA-5	34,78	14,87	24,86	0,23	9,25	3,53	0,49	88,00
HVF5-1	40,06	13,30	14,66	0,16	16,01	3,73	0,08	88,00
HVF5-2	30,23	18,76	19,73	0,22	18,59	0,48	0,00	88,00
HVF5-3	30,24	18,53	19,34	0,18	19,28	0,43	0,00	88,00
HVF5-4	29,95	18,71	19,94	0,20	18,99	0,21	0,00	88,00

Tafla 6.

Örgreiningar: Klóritgreiningarnar eru meðaltal tveggja talninga, stilltar á summuna 88%.

Mynd 1. Jarðfræðikort af Suðausturlandi (Unnið úr Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998)

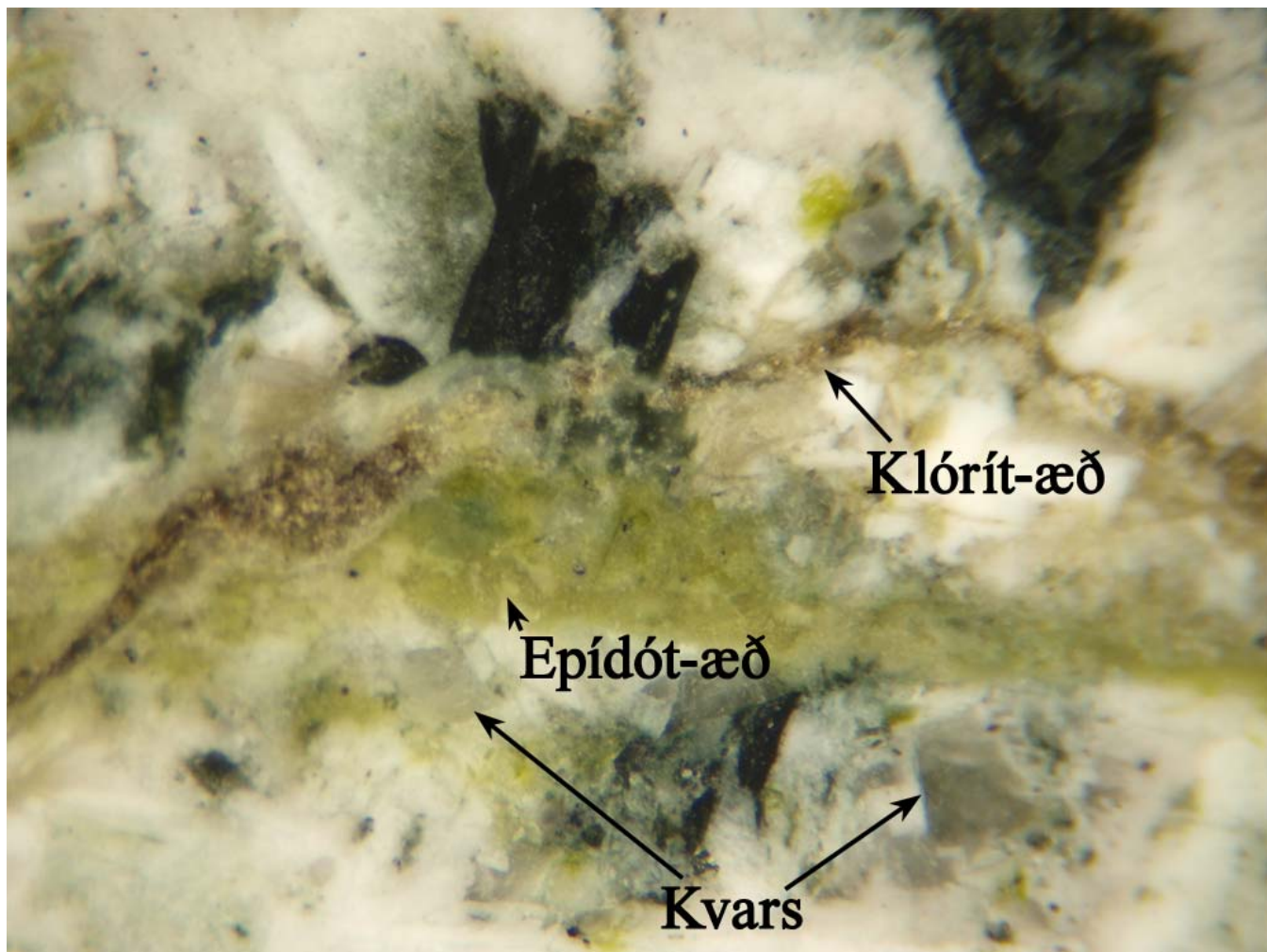




Mynd 2.

Myndin sýnir Mg# ($\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO}^*)$) á móti TiO_2 . Punktaþyrpingin á myndinni sýnir berg frá eystra gosbeltinu (Greiningasafn N.Óskarsson); sýni merkt NAL (bláir tíglar) eru frá gosbeltinu norðan Tungnafellsjökuls en þar af er Kverkfjalla-sveimurinn sérstaklega merktur KFA (gulbrúnir ferningar); sýni merkt SAL (grænir þríhyrningar) eru frá gosbeltinu sunnan Tungnafellsjökuls að Eldgjá. Efnagreind gabbrósýni (Tafla 1) eru táknuð með fylltum ferhyrningum.

Sýnin með hæsta Mg/Fe hlutfallið (efst til vinstri) eru frumstæð ólivín-þóleiít frá Þeistareykjum en Kverkfjallasýnin og sum SAL-sýnin (neðst til vinstri) eru mest þróuð, flest kvars-normatíft þóleiít. Punktadreifing ofan við megin-dreifinguna á við dyngjubasaltið á eystra gosbeltinu en það er oftár en ekki mjög ríkt af ólivín dílum. Efnasamsetning gabbró-sýnanna er rædd í texta.

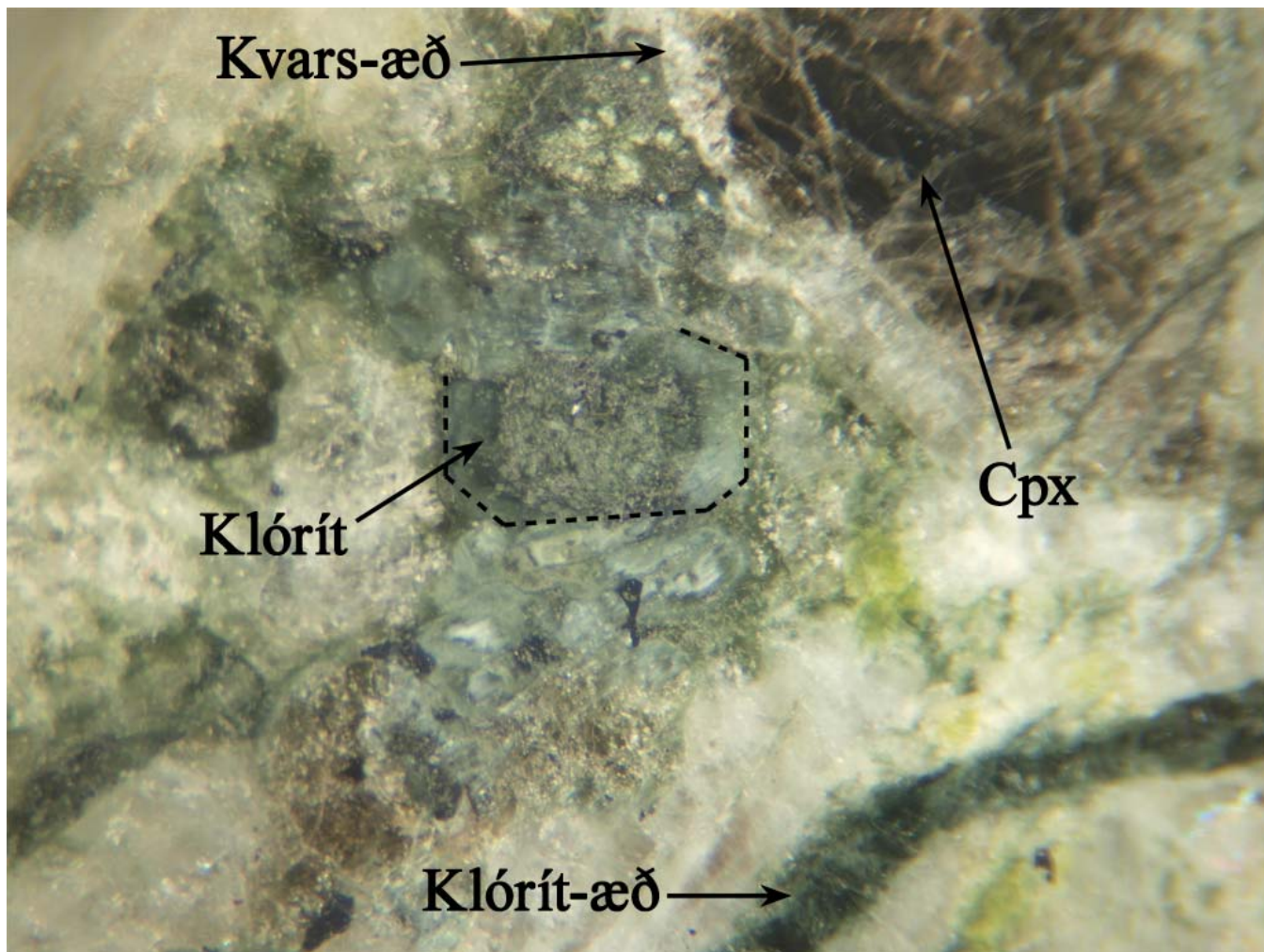


Mynd 3.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (BRA) í víðsjá, breidd myndarinnar samsvarar 5,5 millimetrum.

Fylltar sprungur liggja þvert yfir myndina; grænleit epidótfyllt sprunga neðar til hægri á myndinni en þar ofan við grennri klórít-/kvarsfyllt sprunga. Á vinstri jaðri myndarinnar sést að klórít sprungan (yngri) sker epidótfyllinguna. Klórít sprungan er nokkuð oxuð (brúnleit) og er að hluta fyllt smáum kvars kristöllum. Klórít svæðin umhverfis klínópýroxen kristallana, svo sem ofan til á miðri myndinni, eru græn og virðast því ekki hafa oxast eftir myndun þeirra.

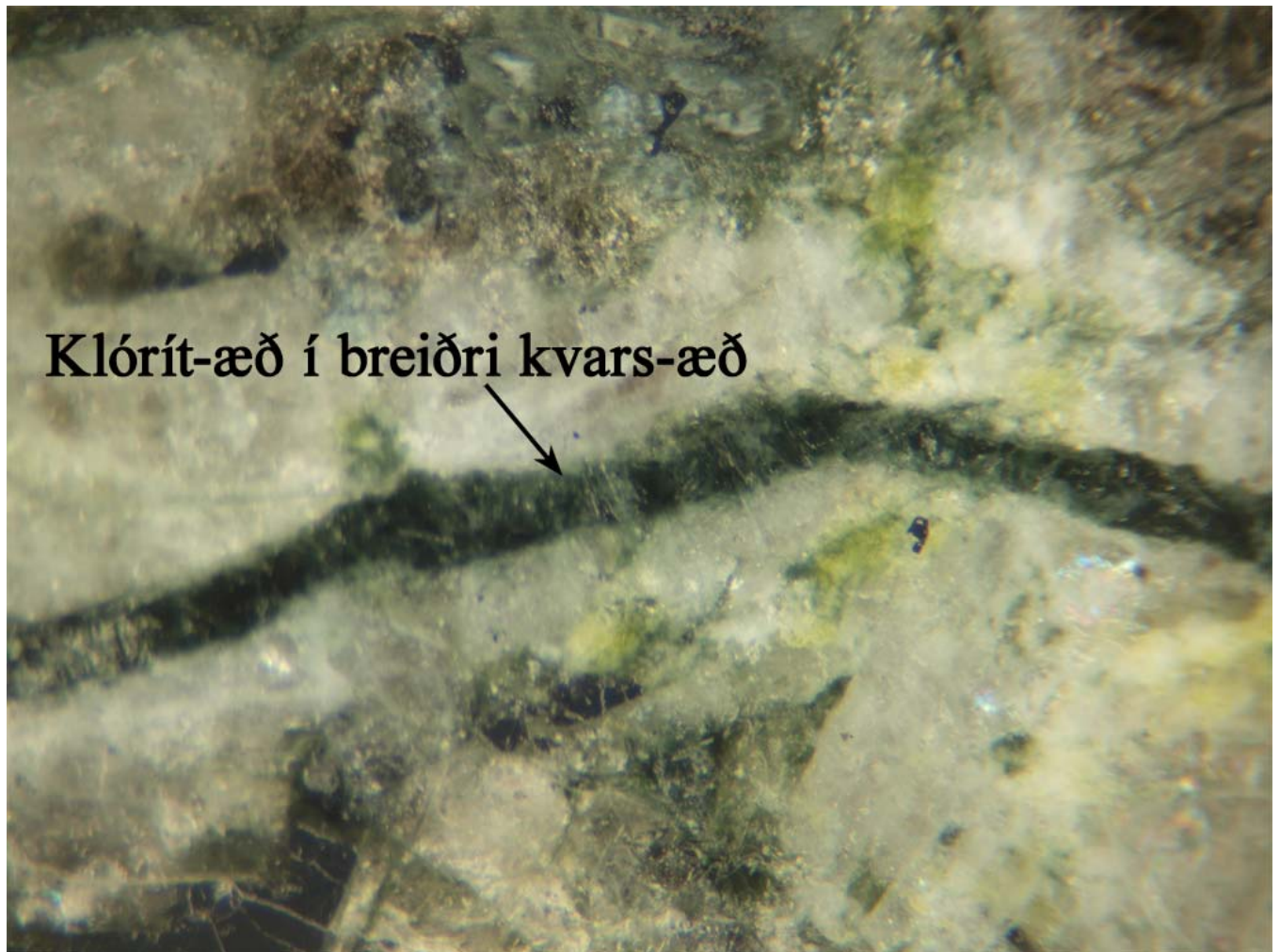
Stakir, glærir kvars kristallar sjást hægra megin á myndinni, ofan og neðan við sprungunna og einnig stakir epidótkristallar.



Mynd 4.

Myndin er af skyggðu dökku gabbrósýni (HVGR) í víðsjá, breidd myndarinnar samsvarar 5,5 millimetrum.

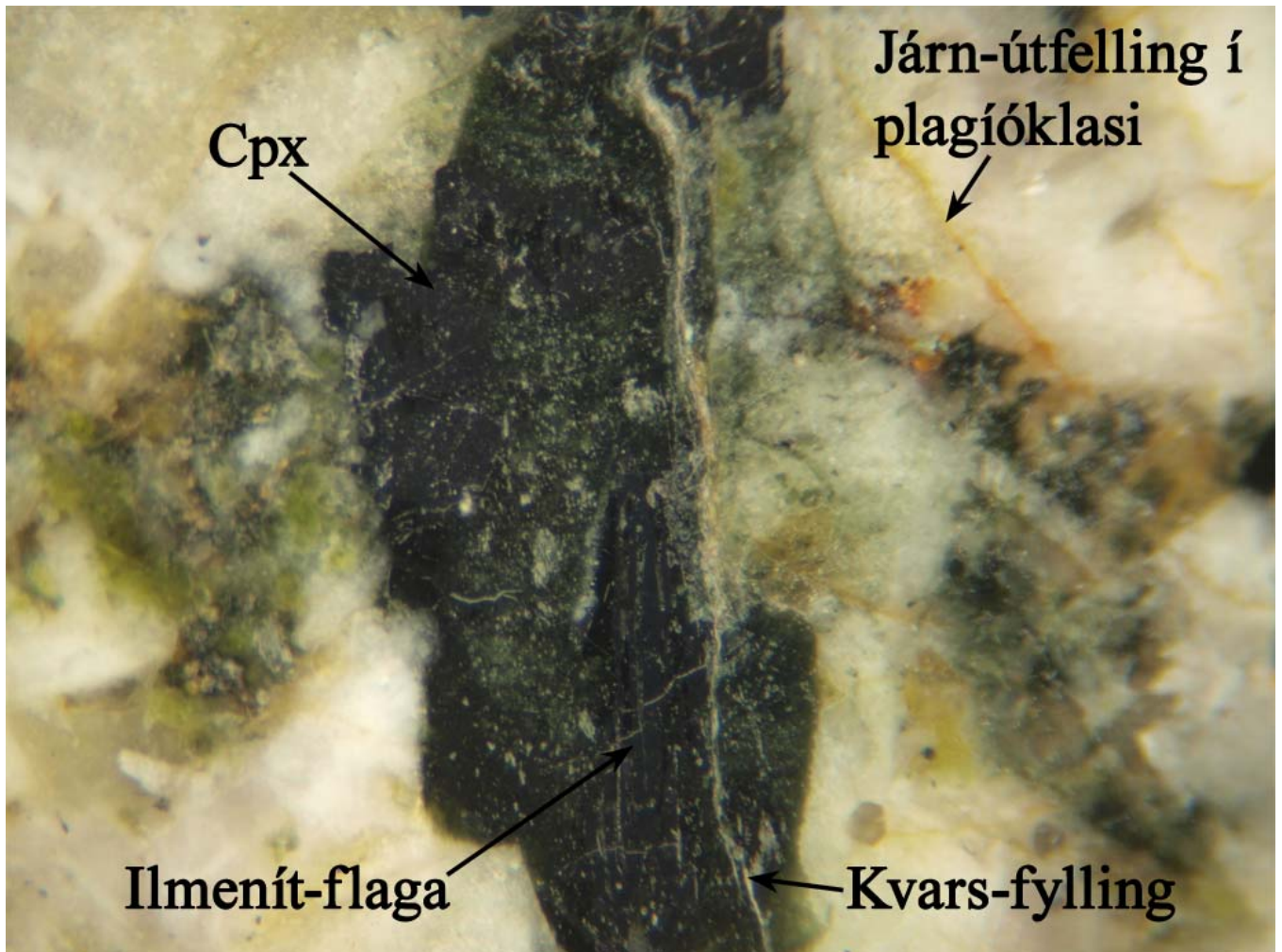
Um miðja mynd sést klórítfylling, líklega í stað ólivíns (pseudomorph). Klórítfylltar sprungur sjást frá neðri brún myndarinnar með stefnu upp til hægri. Frá miðri efri brún myndarinnar niður á við til hægri liggur einnig kvarsfyllt sprunga.



Mynd 5.

Myndin er af skyggðu dökku gabbrósýni (HVGR) í víðsjá, breidd myndarinnar samsvarar 5,5 millimetrum.

Þvert yfir myndina liggur klórítfyllt sprunga en umhverfis hana alkalífeldspat og kvars. Stakir epidótkristallar eru til hægri á myndinni. Merkilegt er að klórítfylling sprungunnar er svo vel kristölluð að hún nær að skyggjast og er þannig greinanleg í örgreini.



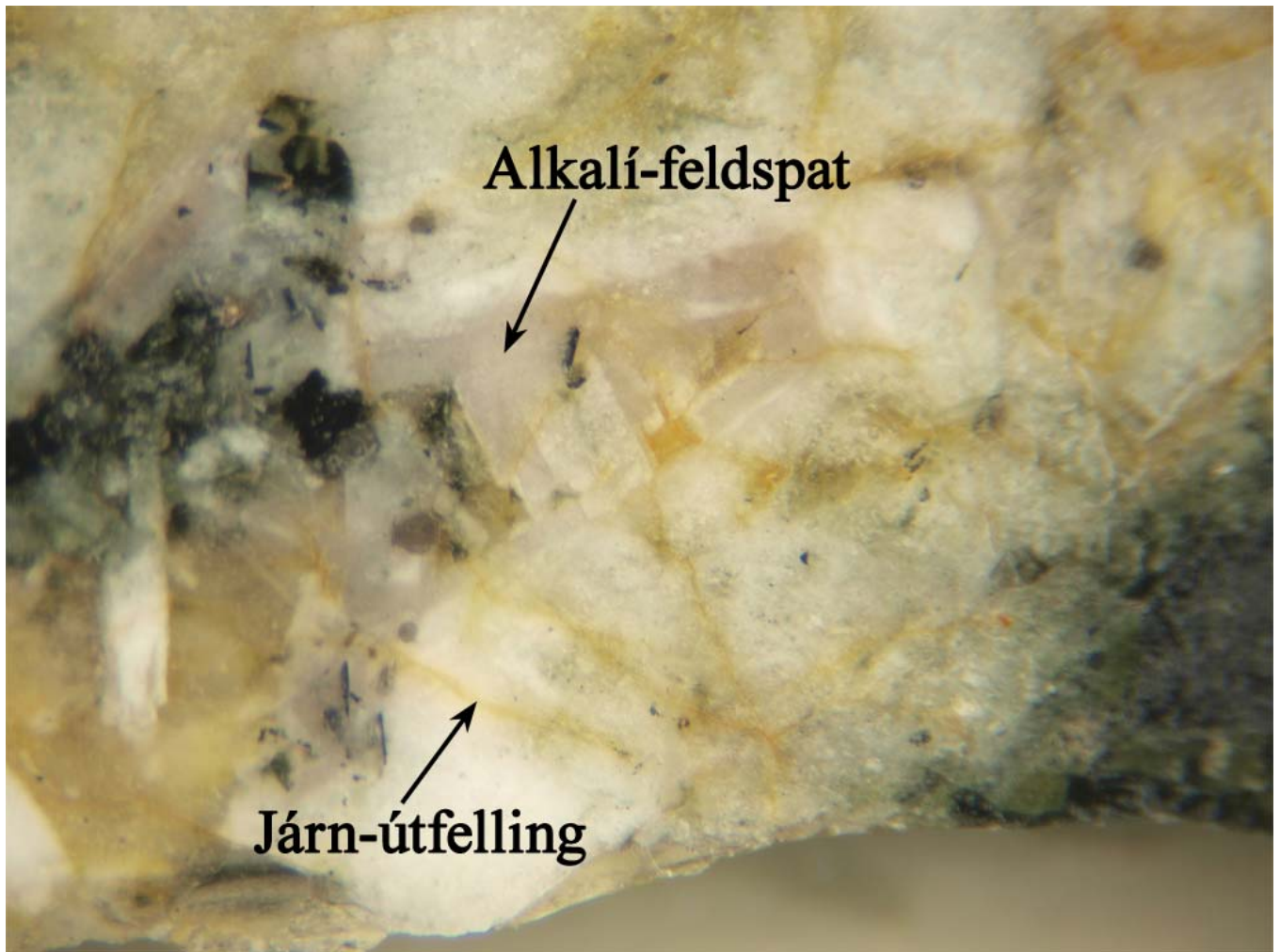
Mynd 6.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (VHGR) í vís sjá, breidd myndarinnar samsvarar 5,5 millimetrum.

Lóðrétt um miðja mynd liggur grönn kvarsfyllt sprunga með jaðri dökkra kristalla.

Meginkristallinn er ágít en neðan við miðja mynd liggur sprungan meðfram ilmenítblaði, sem er stór innlyksa í ágítinu. Ilmenítblaðið er einnig á Mynd 9.

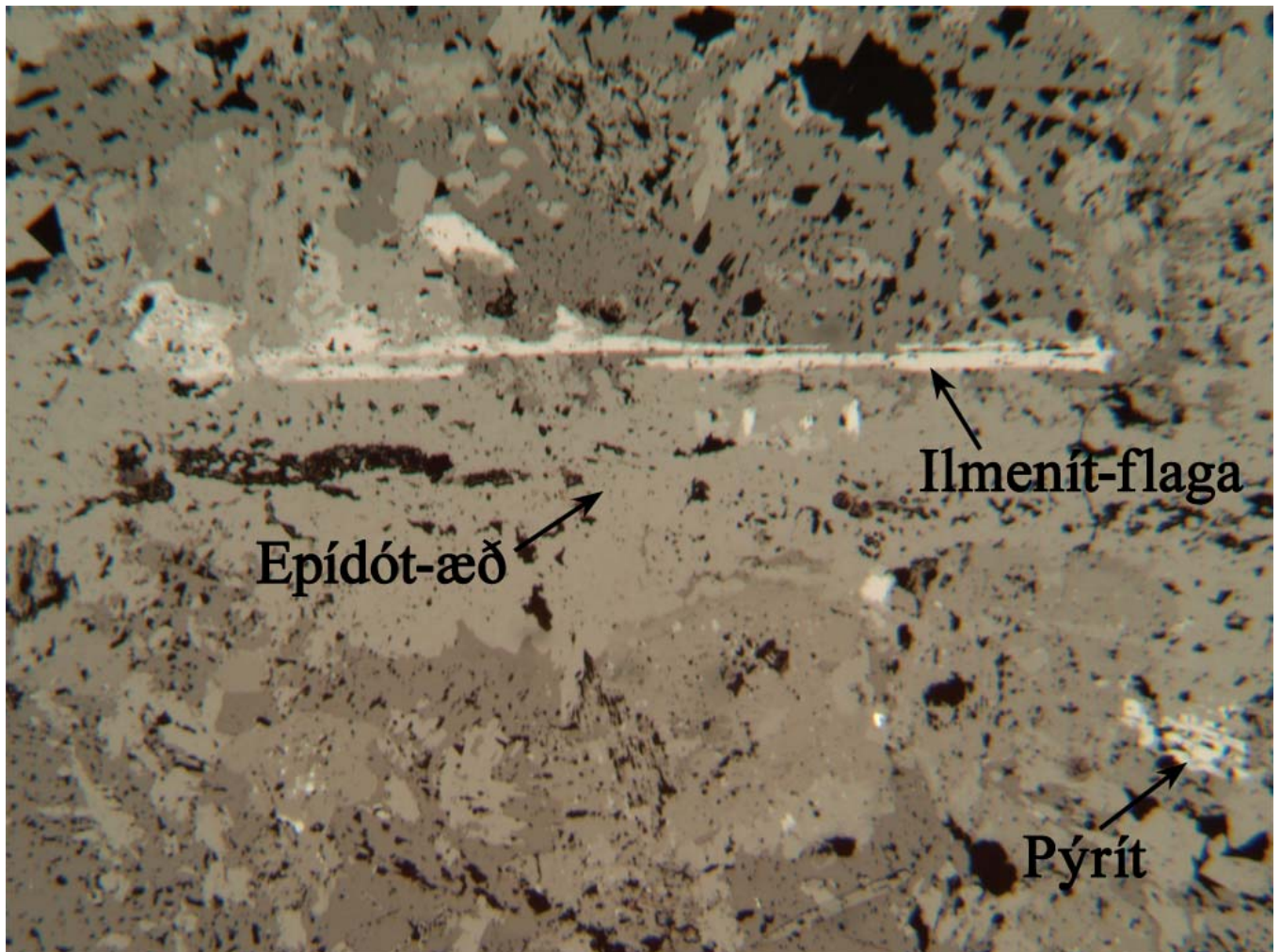
Þetta sýni ber einkennandi merki veðrunar, sem einkum felst í oxun járn í klóríti og epidóti. Ofan til hægri megin á myndinni sjást kleyfnisprungur í plagíóklas, sem eru fylltar járnnoxíðum og leifum af epidót en um miðjan hægri jaðarinn eru oxaðar leifar af klóríti.



Mynd 7.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (VHGR) í vísjón, breidd myndarinnar samsvarar 5,5 millimetrum.

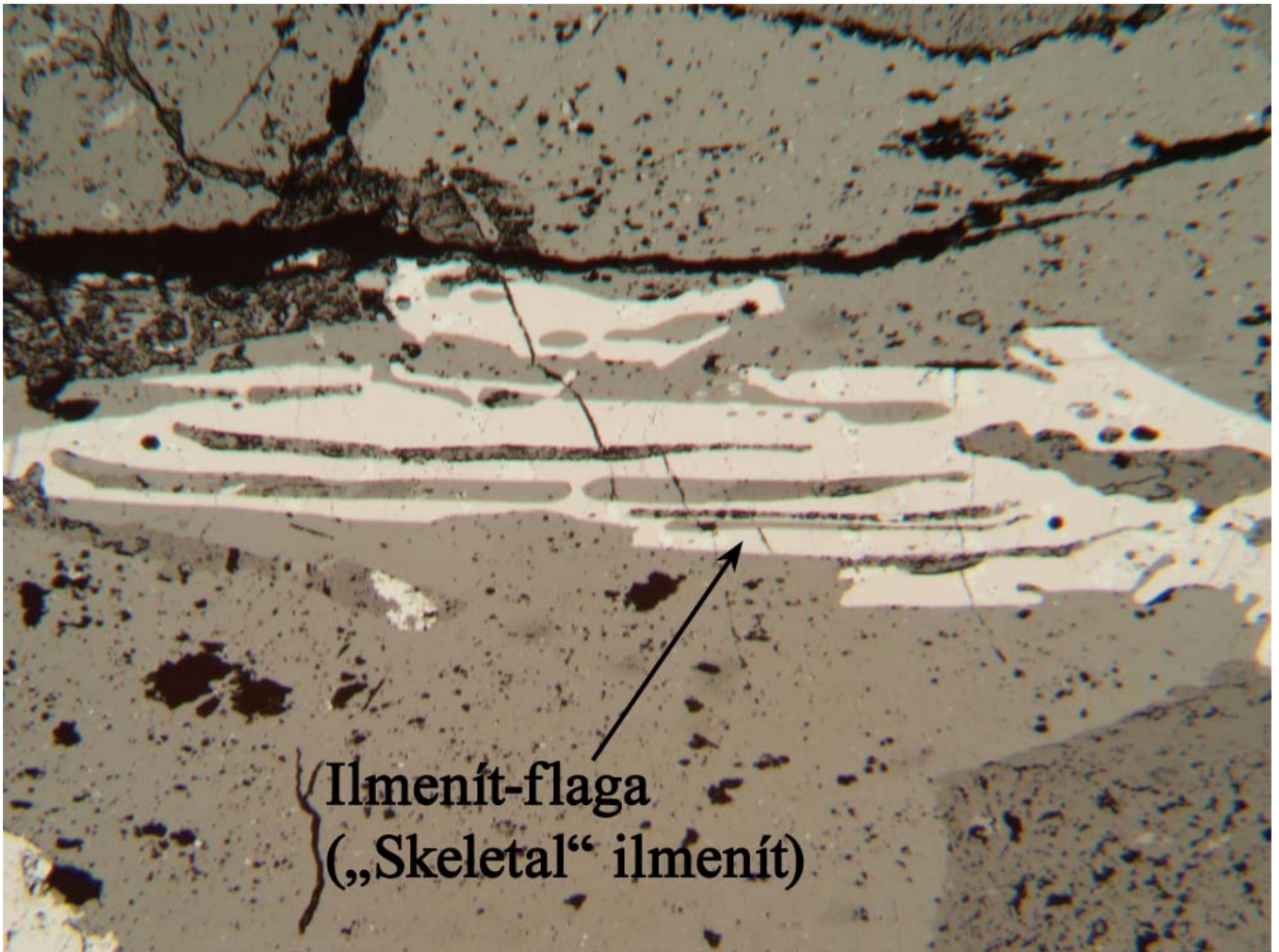
Veðrunaráverkar á snertiflötum kristalla og í kleyfnisprungum, þar sem epidót var líklegast áður, mynda brúnleita slikju í berginu (merkt *Járn útfelling*). Neðst á miðri mynd er ljós, gropinn plagíóklas, að mestu leyti orðinn albít. Á miðri myndinni sést hálf-uppleyst plagíóklas-þyrping sem umlykur tærari albít- og kalífeldspat hvarfarima. Öðr merkt *Alkalí-feldspat* bendir hvarfarimana.



Mynd 8.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (HVF) í áfallandi ljósi, breidd myndarinnar samsvarar 2,2 millimetrum.

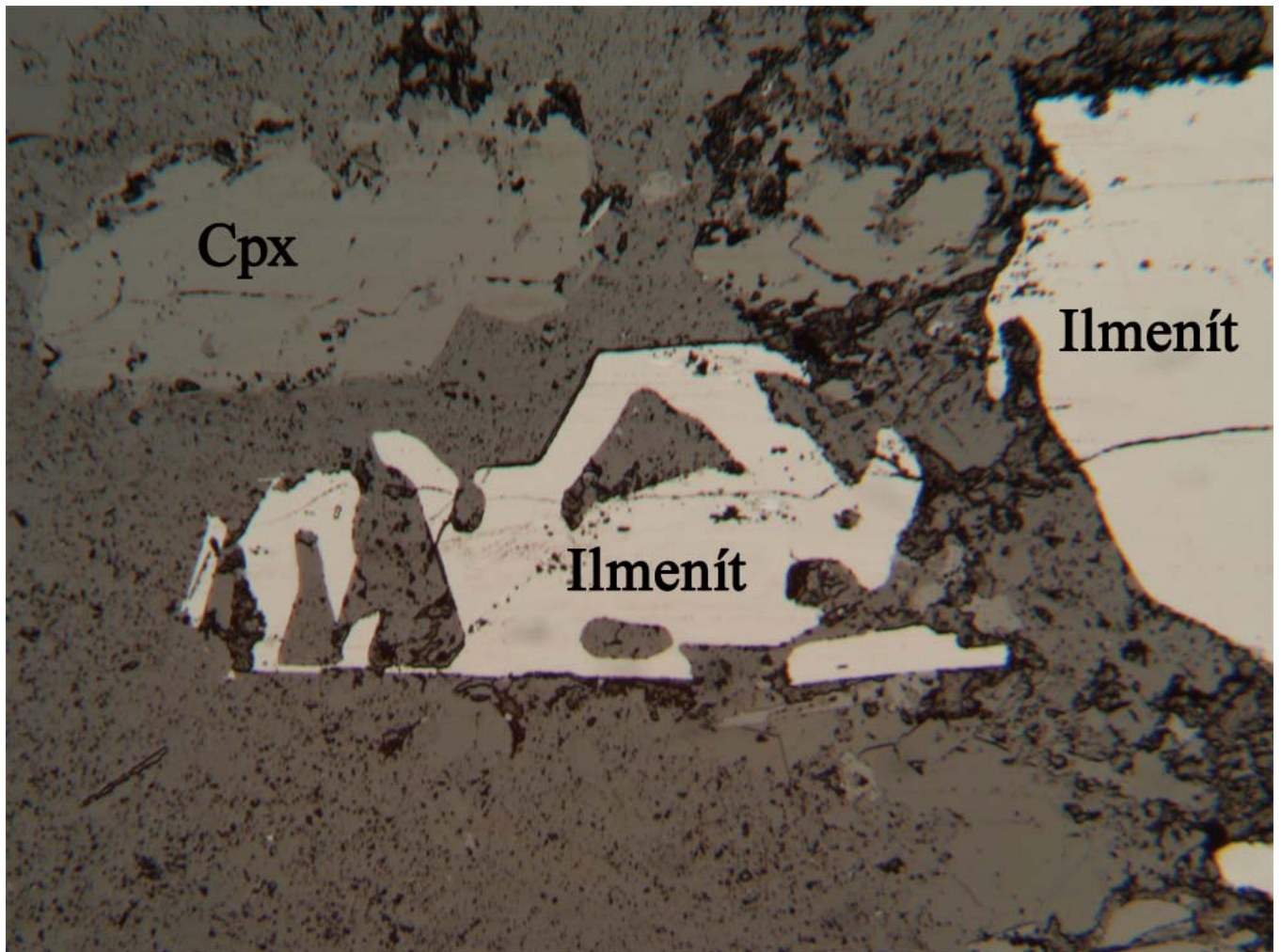
Epídótfyllt sprunga (þétt, grá) liggur þvert yfir myndina en ofan við hana sést ilmenítblað, sem er frumsteind í berginu. Oftar en ekki virðast sprungur liggja í sama fleti og ilmenítblöð bergsins, sem gæti bent til að ímenít yxi í vatnsríkum kvikuæðum undi lok kristöllumunar.



Mynd 9.

Myndin er af skyggðu, ljósu, gabbrósýni (VHGR) í áfallandi ljósi, breidd myndarinnar samsvarar 2,2 millimetrum.

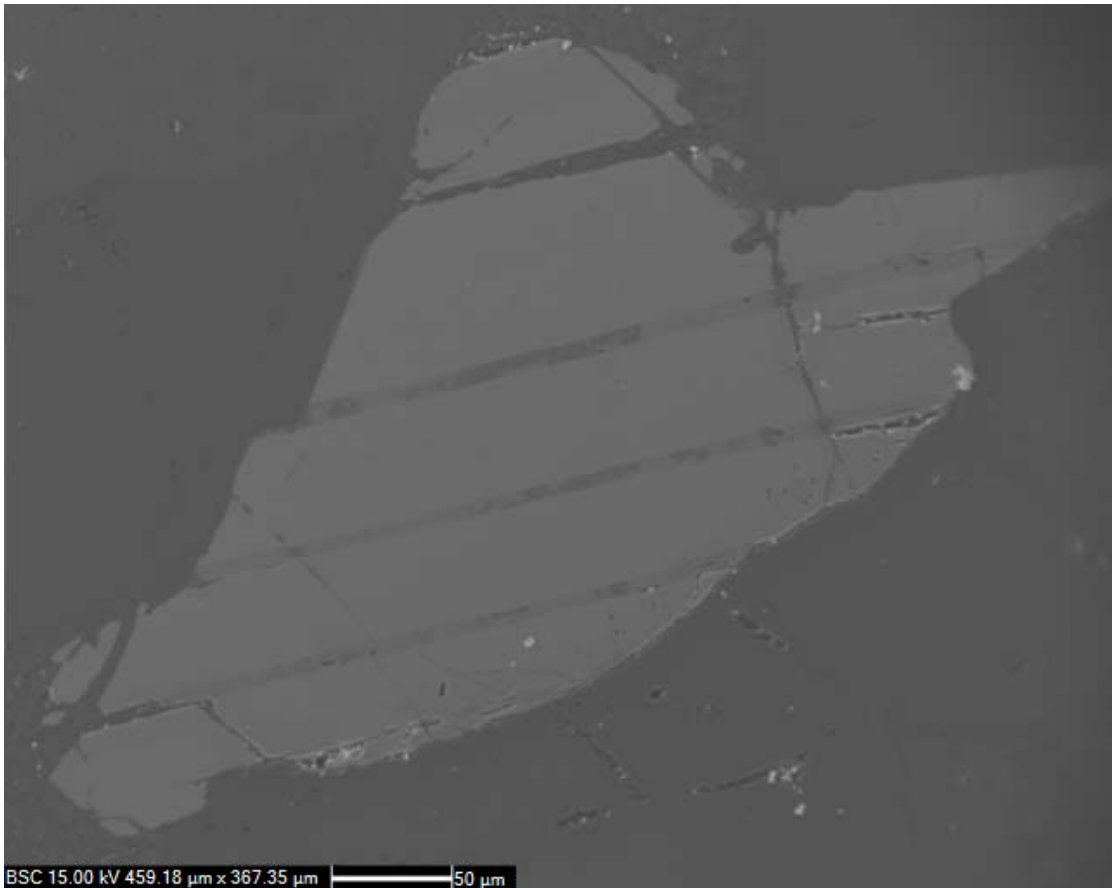
Ilmenítþynna („skeletal“ ilmenít) í ágítkristal (sjá einnig Mynd 6). Ágítkristallinn liggur samsíða kvarsfylltri sprungu.



Mynd 10.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (HOF) í áfallandi ljósi, breidd myndarinnar samsvarar 2,2 millimetrum.

Dæmigert ferskt ilmenít í gabbrói. Það á við um öll sýnin að jarðhitaummyndunin er sú sama hvort sem oxíð þeirra eru einsleit eða með útlausnum.



Mynd 11.

Rafeindasmásjármynd (endurkast, BSE) af títánómagnetítkristal (sýni HVGR) með reglulegri ilmenít afblöndun. Kvarði myndarinnar er neðst til vinstri. Magnetítfletirnir eru ljósari (þyngri) en ilmenít-þynnurnar.



Mynd 12.

Myndin er af skyggðu ljósu gabbrósýni (BRA) í áfallandi ljósi, breidd myndarinnar samsvarar 2,2 millimetrum.

Magnetít-ilmenít afblöndun, sem virðist hafa orðið á að minnsta kosti þremur kristalflötum {111}. Afblöndunarferlin koma fram í Töflum 4 og 4a, þar sem efnasamsetning og reiknaður afblöndunarhiti koma fram.