



Ummyndun gabbrós við Breiðárlón og áhrif hennar á eiginleika þess í rofvarnir

Áslaug Gylfadóttir

Ummynndun gabbrós við Breiðárlón og áhrif hennar á eiginleika þess í rofvarnir

Áslaug Gylfadóttir

10 eininga ritgerð sem er hluti af
Baccalaureus Scientiarum gráðu í jarðfræði

Leiðbeinendur
Sigurður Steinþórsson
Níels Örn Óskarsson

Jarðvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, janúar 2010

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.

Áslaug Gylfadóttir

Ágrip

Gabbró frá námu við Breiðárlón hefur verið notað af Vegagerðinni í rofvarnir en ekki reynst nógu vel. Í þessu verkefni er rannsakað hvernig og hve mikil ummyndun er í gabbróinu og hvort hún hafi áhrif á endingu efnisins. Borkjarnar voru athugaðir, gerðar voru bergefhnagreiningar, greiningar í örgreini og með smásjá. Einnig voru gerðar vatnsmælingar og álagspróf. Ummyndunarsteindir í sprungufyllingum voru greindar með röntgen. Reyndust sprungufyllingarnar aðallega innihalda kalsít en einnig fannst klórít, albít og epidót.

Kjarnarnir eru nokkuð brotnir á köflum. Við efnagreiningu reyndust þeir talsvert ólíkir að gerð. BRL1 er basískt gabbró með frumsteindasamsetninguna plagióklas, pýroxen og oxíð. BRL2 reyndist vera ísúrt gabbró sem inniheldur steindirnar pýroxen, alk-feldspót, oxíð, epidót og kvarts. Epidót og sennilega einnig alk-feldspat og kvarts, eru ummyndunarsteindir. Apatít fannst einnig í báðum kjörnum. Ilmenít kemur oft fyrir sem langir kristallar og sem afblöndunarstafir í magnetíti í báðum kjörnum. Í örgreini sást mesti munur á steindasamsetningu kjarnana í feldspótum; BRL1 inniheldur einungis plagióklas en BRL2 aðallega alk-feldspót.

Mæling sýndi að vatnsinnihald sýnanna var um 0.8 – 1.5 %. Ummyndunarsteindir, klórít og leirsteindir, innihalda 10-15 % vatn og út frá því má álykta að í sýnunum séu amk 15 % ummyndunarsteindir. Álagpróf sýndu að brotþolsstyrkur var undir meðallagi.

Niðurstöðurnar sýna að ummyndun er töluverð í kjörnumum það ásamt því að kjarnarnir eru talsvert sprungnir veldur minni brotþolsstyrk og lélegrí endingu í varnargörðum.

Abstract

The Icelandic Road Administration has been using gabbro from a quarry at Breiðárlón in SE-Iceland for wave protection at the coast. The rocks from the quarry have not been as strong as expected.

The aim of this project was to determine the extent and type of alteration in the gabbro and see if it affects its strength. Drillcores from the gabbro, termed BRL1 and 2, were logged and then microscopically and chemically analyzed. Measurements of water content of the core samples and strength tests were made.

Logging of the cores showed them to be visibly fractured. Alteration minerals found in fractures in one of the cores were analyzed by X-ray diffraction. They contained mostly calcite with minor chlorite, albite and epidote.

The chemical analyses of the two cores gave different results. BRL1 is a basaltic gabbro that contains the minerals plagioclase, pyroxene and oxides. BRL2 on the other hand is dioritic gabbro containing the minerals pyroxene, alk-feldspars, oxides and quartz. Apatite and epidote are also found in both cores. Ilmenite is often found as long discrete crystals and magnetite is exsolved and altered in both cores.

Minerals in the cores were analyzed with electron microprobe. The difference in mineralogy was most apparent in the feldspars with BRL1 containing only plagioclase but BRL2 only alk-feldspars.

Measurements showed samples from the cores to contain 0,8-1,5% water. Assuming that alteration minerals contain 10-15% water it can be concluded that the samples contain at least 15% of alteration minerals. Compressive strength tests show that the gabbro is below average in strength.

It is concluded that alteration of the cores is substantial. That and the relatively close spacing of visible fractures in the cores results in a below average strength of the gabbro and is the reason for its poor endurance.

Pakkir

Ég vil þakka leiðbeinendum mínum Sigurði Steinþórssyni og Níelsi Óskarssyni fyrir leiðsögn við gerð þessarar ritgerðar. Einnig vil ég þakka Ómari Bjarka Smárasyni og Karli Grönvold fyrir veitta aðstoð. Birgir Jónsson dósent leiðbeindi við túlkun álagsprófa. Vegagerðinni þakka ég fyrir að styrkja verkefnið.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	3
Abstract.....	4
Þakkir.....	5
Efnisyfirlit.....	6
Myndaskrá.....	7
Töfluskrá.....	8
1 Inngangur.....	9
2 Jarðfræði svæðisins.....	9
3 Lýsing kjarna ásamt bergfræði og samsetningu.....	11
3.1 Lýsing kjarna.....	11
3.2 Greiningaraðferð.....	12
3.3 Niðurstöður og umræða.....	12
4 Vatnsmæling.....	21
4.1 Greiningaraðferð.....	21
4.2 Lýsing sýna	21
4.3 Niðurstöður og umræða.....	23
5 Álagspróf.....	25
5.1 Greiningaraðferð.....	25
5.2 Lýsing sýna.....	26
5.3 Niðurstöður og umræða.....	26
6 Samantekt og niðurstöður.....	27
Heimildaskrá.....	28

Viðaukar.....	30
Kort og myndir af svæði.....	30
Kjarnalogg.....	33
Ljósmyndir af kjörnum.....	37
Þunnsneiðar notaðar í örgreiningu	44
Efnagreiningar úr örgreini	46
Vatnsmæling	49
Álagsmæling.....	50

Myndaskrá

Mynd 3.1 Alkalí móti kísli	14
Mynd 3.2 Norminu varpað á þríhyrninginn Ol-Di-Qz.....	15
Mynd 3.3 „Spidergram“ sem sýnir hlutfall ýmissa snefilefna miðað við gabbró.....	16
Mynd 3.4 Efnagreining feldspata úr örgreini.....	17
Mynd 3.5 Pýroxen-efnagreiningar úr örgreini.....	18
Mynd 3.6 Oxíð-efnagreiningar úr örgreini.....	18
Mynd 3.7 Jarðhitamælir	20
Mynd 4.1 Sýni 4, BRL1 19m.....	22
Mynd 4.2 Sýni 5, BRL1 toppur á kjarna	22
Mynd 4.3 Sýni 6, BRL1 6,5m.....	22
Mynd 4.4 BRL2 af um 15m dýpi, sambærilegt við sýni 7 og 8.....	23
Mynd 4.5 Vatnstap sýna við hækkandi hitastig miðað við 110°C.....	24
Mynd 1 Kort af Breiðamerkurjökli og nágreni.....	30
Mynd 2 Loftmynd af Breiðárlóni.....	31
Mynd 3 Hæsti hluti gabbrósins norðan við Breiðárlón	32
Mynd 4 Horft yfir Breiðárlón af syðsta hluta gabbrósins	32
Mynd 5 Kjarnalogg úr borholu BRL1 0-20m.....	33
Mynd 6 Kjarnalogg úr borholu BRL1 20-40m.....	34
Mynd 7 Kjarnalogg úr borholu BRL2 0-20m.....	35

Mynd 8	Kjarnalogg úr borholu BRL3 0-20m.	36
Mynd 9	Yfirlitsmynd, BRL1 kassi 1.	37
Mynd 10	Nærmynd úr kassa 1.	37
Mynd 11	Yfirlitsmynd, BRL1, kassi 2.	38
Mynd 12	Nærmynd úr kassa 2.	38
Mynd 13	Yfirlitsmynd, BRL1 kassi 3.	39
Mynd 14	Nærmynd úr kassa 3.	39
Mynd 15	Yfirlitsmynd BRL2 kassi 1.	40
Mynd 16	Nærmynd úr kassa 2.	40
Mynd 17	Yfirlitsmynd, BRL2 kassi 2.	41
Mynd 18	Nærmynd, kassi 2.	41
Mynd 19	Yfirlitsmynd, BRL3 kassi 1.	42
Mynd 20	Nærmynd, kassi 1.	42
Mynd 21	Yfirlitsmynd, BRL3 kassi 2.	43
Mynd 22	Nærmynd, kassi 2.	43
Mynd 23	BRL1 toppur, þunnsneið notuð til örgreiningar	44
Mynd 24	BRL2 10m, þunnsneið notuð til örgreiningar	45
Mynd 25	Niðurstöður úr álagsprófi A.	50
Mynd 26	Niðurstöður úr álagsprófi B.	51
Mynd 27	Niðurstöður úr álagsprófi C.	51

Töfluskrá

Tafla 3.1	Bergefnagreining, í þungaprósentum með summu stillta á 100%	13
Tafla 3.2	Katjón-norm bergefnagreininga frá Breiðárlóni	15
Tafla 5.1	Niðurstöður álagsprófa	26
Tafla 1	Efnagreiningar og útreikningar oxíða í örgreini	46
Tafla 2	Efnagreiningar feldspata í örgreini	47
Tafla 3	Efnagreiningar pýroxena í örgreini	48
Tafla 4	Þyngd á sýnum með deyglu	49
Tafla 5	Þyngd á sýnum án deyglu	49
Tafla 6	Vatnstag á sýnum reiknað í prósentum	50

1. Inngangur

Í þessu verkefni er rannsakað gabbró frá námu við Breiðárlón. Grjótið hefur verið notað til rofvarna af Vegagerðinni en ekki reynst nógu vel. Orsök þess er hugsanlega ummyndun gabbrósins. Rannsakað er hvernig ummyndun og hve mikil er í gabbróinu og hvort það valdi nokkru um lélega endingu efnisins.

Gerðar voru prófanir á tveimur borkjörnum af þemur frá Breiðárlóni. Ummyndunin var rannsokuð í örgreini, með heildarefnagreiningu og smásjárskoðun. Einnig er gerð vatnsmæling, einföld álagspróf og borkjarnar skoðaðir.

2. Jarðfræði svæðisins

Suðausturland og Austurland er gert úr um 9 - 10 km þykkum jarðlagastafla sem er að mestu frá tertíer eða um 3,2 - 12 miljón ára gamall. Elstu jarðlögin eru við Austurhorn í austri og yngst við rætur Vatnajökuls í vestri (Helgi Torfason, 1979). Á þessu svæði finnast að minnsta kosti sex gamlar megineldstöðvar, þeim tengdar eru mörg innskot, súr og basísk, stór og lítil, í formi ganga og sillar. Stærstu innskotin eru mun yngri en tertíeri jarðlagastaflinn og hafa líklega orðið til í tengslum við myndun eystra gosbeltisins. Jarðög í kringum þessi innskot eru yfirleitt mikið aflöguð og brotin (Helgi Torfason, 1979).

Tertíerum jarðögum hallar í norðvestur í átt að virka gosbeltinu. Hallinn er um 6 - 8° en er mismunandi eftir staðsetningu. Kringum gamlar megineldstöðvar eru óreglur í þessum halla og einnig í námunda við innskot þar sem kvika hefur lyft jarðögunum. Óregla er einnig á spildu sem liggar frá Breiðamerkurjökli meðfram Vatnajökli í norðaustur í átt að Vopnafirði, á þeirri spildu er hallinn allt að 35° (Annels, 1967). Þessi spilda hefur líklega myndast fyrir 1,5 - 3 miljón árum þegar austurgosbeltið varð til og rek fluttist austur frá vesturgosbeltinu, hún er elst nyrst og yngst syðst sem stafar af því að gosbeltið er að færast suður. Spildan myndaðist um 40-60 km frá gosbeltinu þar sem aukin innskotatíðni olli því að upplifting varð á hraunlagastaflanum til austurs (Helgi Torfason, 1979). Hér mynduðust stærstu

innskotin á um 1 - 1,5 km dýpi en minni innskot, eins og gangar og sillur, mynduðust á sama tíma og stundum seinna (Helgi Torfason 1979). Stærstu innskotin á Suðausturlandi í Vestrahorni, Eystrahorni og í Slaufrudal, eru þó öll eldri eða um 6,6 miljón ára gömul. Þá er talið að innskotatíðni hafi verið í hámarki á Suðausturlandi (Helgi Torfson, 1979). Jöklar hafa rofið allt að 2 km ofan af tertíera staflanum, byggt á kortlagningu zeólítableta, þannig að nú má sjá á yfirborði gamlar megineldstöðvar og innskot sem mynduðust á miklu dýpi. Talið er að á Suðausturlandi hafi land einnig risið vegna mikillar innskotatíðni og því hafi rofist mun meira ofan af hraunlagastaflanum og jarðög af meira dýpi sjást þar fremur en annars staðar á landinu. Hvergi er hægt að sjá eins mikið af innskotum nálægt yfirborði á Íslandi og á Suðausturlandi. Ummyndun er mikil við megineldstöðvarnar og við sum innskotin. Jarðög yngri en 3 miljón ára, frá kvarter, liggja mislægt ofan á tertíeu lögunum á nokkrum stöðum nálægt Vatnajökli, þau yngstu syðst en eldast eftir því sem norðar dregur.

Jarðfræði svæðisins hefur verið töluvert rannsökuð sérstaklega innskot og megineldstöðvar. Rannsóknir voru ekki miklar á svæðinu á fyrri hluta tuttugustu aldar. Hawkes og samstarfsmenn hans rannsökuðu þó innskot á Suðausturlandi (Cargill et al. 1928). Þegar George Walker hóf rannsóknir á Austurland 1954, ásamt nemendum sínum, hófst brautryðjendastarf í rannsóknum á Austur- og Suðausturlandi. Nemendur Walkers unnu fjölmargar doktorsritgerðir um svæðið. Blake (1964) rannsakaði Álftafjarðareldstöðina og Annels (1967) megineldstöð í Hornafirði þar sem Newman (1967) kannaði einnig innskot. Roobol (1969) skoðaði síðan innskot í Vestrahorni. Helgi Torfason (1979) rannsakaði einnig jarðfræði svæðisins.

Stærstu innskotin á Suðausturlandi eru; Vestrahorn, 19 km^2 að flatarmáli (Roobol, 1969) og Eystrahorn, 15 km^2 (Blake, 1964; Helgi Torfason, 1979; Thorarinsson & Tegner 2009). Þau liggja við suðaustur ströndina með um 20 km fjarlægð á milli. Einnig Slaufrudalur 15 km^2 (Helgi Torfason, 1979). Fjölmörg smærri innskot eru á svæðinu, eins og innskot við Geitafellseldstöðina, 9 km^2 (Friðleifsson, 1983).

Gabbróið sem er rannsakað í þessu verkefni er úr grjótnámu við Breiðárlón en það svæði er nýlega komið undan jöкли. Þetta svæði hefur lítið sem ekkert verið rannsakað fyrr en nýlega. Snæbjörn Guðmundsson (2009) kannaði í BS ritgerð sinni eitt sýni úr

þessu bergi en áður hafði Jarðfræðistofan Stapi unnið greinargerð um svæðið vegna grjótnáms (2002). Svæðið tilheyrir syðsta hluta Suðausturlands sem jafnframt er yngsti hluti þess.

3. Lýsing kjarna ásamt bergfræði og samsetningu

3.1 Lýsing kjarna:

Hjá Ómari Bjarka Smárasyni, jarðfræðistofunni Stapa, fengust þrír kjarnar úr gabbróhleif við Breiðárlón, merktir BRL1, BRL2 og BRL3 (sjá myndir bls 37-43). BRL1 er frekar dökkleitt gabbró, eithvað sprungið, með ljósara flekkóttu gabbrói á stöku stað.

BRL2 og BRL3 eru ljóst gabbró, heillegra og minna sprungið en BRL1, með flekkóttu áferð á köflum. Langir ilmenítkristallar eru meira áberandi hér enn í BRL1.

Í öllum kjörnum eru misstór innskot af fínkornóttu basalti og er bergið oft sprungið í kringum þau. Fylltar sprungur eru oftast með $30-70^\circ$ halla en eru stundum líka lóðréttar. Sumstaðar í kjörnum eru langir ilmenítkristallar áberandi, oftast 1-2 cm langir, þeir virðast aðallega vera í ljósasta hluta gabbrósins og raða sér í flekki þar sem kristallarnir hafa sömu stefnu.

Kjarnarnir eru í heildina brotnir á köflum, sérstaklega dekkra gabbróið og einnig í kringum innskotin, en bergið heillegt á milli. Sprungur eru oft samhliða stefnu ilmenítkristalla.

Kjörnum og einstökum sýnum er fremur lýst í kafla 4.2 og viðaukum.

3.2 Greiningaraðferð:

Tveir kjarnar af þremur voru skoðaðir, teknar ljósmyndir af þeim og nánari lýsingum bætt við kjarnaloggun frá Ómari Bjarka Smárasyni (sjá Viðauka bls. 33-36).

Gerðar voru þunnsneiðar til skoðunar í áfallandi ljósi, þær voru síðan efnagreindar í örgreini þar sem valdir voru einstakir kristallar til efnagreiningar.

Tekið var sýni úr sprungufyllingu í kjarna BRL1 (20,5 m). Sýnið var sett í sýrubað þar sem allt kalsít leystist upp, það sem af gekk og ekki leystist upp var greint með röntgentæki.

Sýni valin til efnagreiningar voru þau sömu og notuð voru í vatnsmælingu.

Heildarefnagreining sýnana fór þannig fram að hluti sýnanna var finmalaður og vigtaður saman við flúx (LiBO_2) í hlutföllunum 1:2. Þetta var brætt saman í kolefnisdeiglu við 1000°C í 30 mín og myndast þá glerperlur. Glerperlurnar voru leystar upp í sýru, myndast þá lausn sem notuð er við efnagreininguna. Efnagreining var síðan gerð í SPECTRO CIROS litrófsmæli. Niðurstöður eru í Töflu 3.1 á bls. 13.

3.3 Niðurstöður og umræða:

Kjarnarnir eru brotnir á köflum. Lengstu heilu bútarnir voru ekki lengri en um 70 cm. Sprungur og sprungufyllingar eru algengar og við röntgengreiningu á einni þeirra, úr kjarna BRL2 (20,5 m), fannst mest kalsít, en auk þess lítillega af klóríti, albít og epidót.

Í BRL1 eru frumsteindir pýroxen, plagíóklas, magnetít og ilmenít. Einnig sjást langir, mjóir prismar af apatíti í smásjá. Magnetít sýnir afblöndun ilmeníts sem ekki hefur ummyndast, en Ti-magnetítið á milli ilmenítstafanna er umbreytt í sphene(?).

Í BRL2 eru frumsteindirnar pýroxen, alk-feldspöt, magnetít og ilmenít, einnig sjást

apatít og epidót. Í örgreini fannst kvarts og kalsít ásamt klóríti. Ilmenít kemur fyrir bæði sem langir kristallar og sem afblöndun í magnetíti.

Tafla 3.1 Bergefna greining, niðurstöður eru í þungaprósentum með summu stillta á 100%

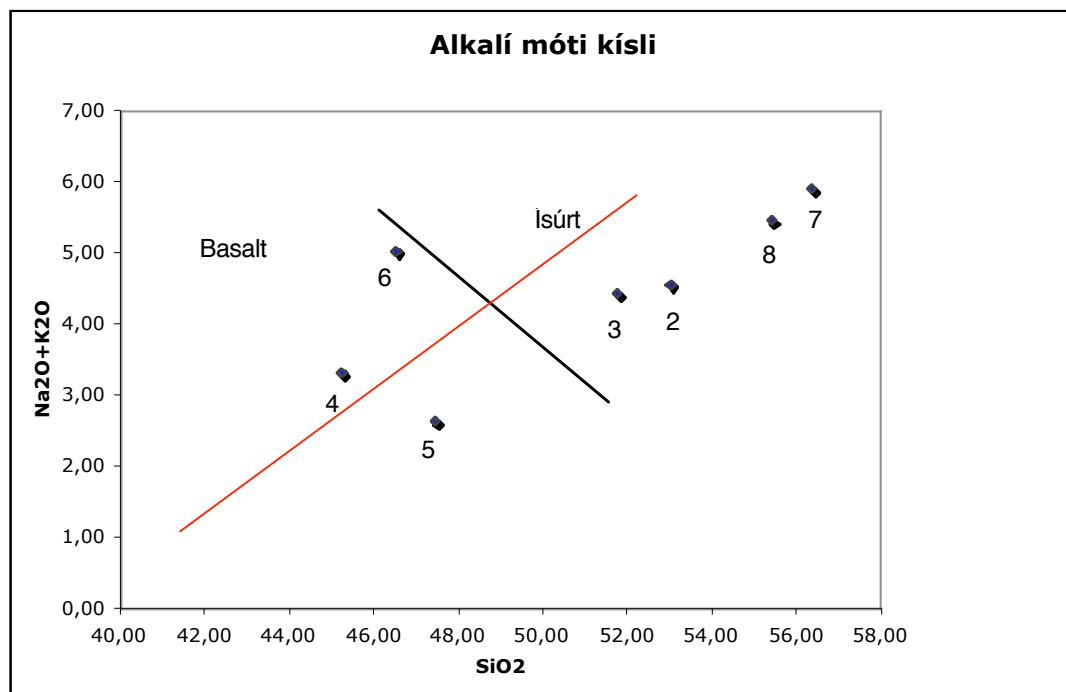
Sample	BRL1				BRL2		
	Sýni 4 19m	Sýni 5 toppur	Sýni 6 6,5m	Sýni 7 15,3m	Sýni 8 14,5m	Sýni 2 0,8m a	Sýni 3 0,8m b
Wt%							
SiO ₂	45.24	47.43	46.52	56.35	55.40	53.01	51.75
Al ₂ O ₃	9.32	12.86	11.22	12.47	12.54	11.06	13.08
FeO	19.14	14.55	15.87	12.16	12.93	16.12	15.85
MnO	0.27	0.22	0.28	0.26	0.27	0.33	0.28
MgO	6.39	6.43	4.06	2.75	3.02	3.48	3.56
CaO	10.51	11.96	8.42	6.46	6.47	7.15	6.99
Na ₂ O	2.69	2.44	3.57	4.23	4.11	3.32	3.42
K ₂ O	0.63	0.19	1.45	1.68	1.35	1.23	1.01
TiO ₂	5.32	3.47	7.85	2.03	2.27	2.92	1.93
P ₂ O ₅	0.26	0.28	0.56	1.45	1.46	1.17	1.98
ppm							
Ba	128.2	71.8	246.5	360.7	290.8	293.4	260.4
Co	108.2	82.1	122.5	35.5	41.5	52.8	44.8
Cr	59.7	136.0	29.6	65.6	52.3	92.7	1.2
Cu	170.4	96.8	61.8	24.5	37.6	31.4	84.5
La	14.4	14.7	23.4	45.8	45.0	40.2	44.8
Ni	74.5	61.6	32.0	4.9	4.9	6.2	7.7
Sc	48.8	44.9	38.4	22.5	23.6	30.1	25.8
Sr	266.5	286.9	377.0	338.4	328.0	348.7	346.2
V	1030.4	687.7	499.7	98.6	135.4	207.6	132.7
Y	35.6	33.5	54.2	98.5	96.4	90.7	106.8
Zn	192.3	131.1	103.5	167.8	175.1	200.7	197.7
Zr	133.7	109.9	264.0	404.1	473.8	646.5	--

Efnasamsetning kjarnanna reyndist vera all-ólík. BRL1 er basískt (SiO₂=45-47%) en BRL2 ísúrt berg (SiO₂=52-56%). BRL1 er því eiginlegt gabbró en BRL2 er diórítiskt gabbró sem er ísúrt (sjá töflu 3.1). Ca er hátt í BRL1 sem inniheldur plagióklas en lægra í BRL2 þar sem eru alk-feldspöt. K og Na mælast einnig hærri í BRL2 en BRL1 af sömu ástæðu. Ti mælist hærra í BRL1 sem bendir til meira ilmeníts en í BRL2, hafa skal það í huga að ilmenít virðist raða sér í flekki í kjörnunum þannig að stór frávik geta verið í Ti-mælingu milli sýna. Björn Gunnarsson og Freysteinn Sigurðsson (1982)

Lýstu samskonar ilmenítflekkjum er þeir rannsökuðu Ti-ríkar steindir, meðal annars á Suðausturlandi. BRL2 inniheldur meira af fosfór (P) en BRL1 sem bendir til meira magns af apatíti.

Hér að neðan, í töflu 3.2, má sjá útreiknað norm bergefna greininganna þar sem reiknuð eru út hlutföll steindanna.

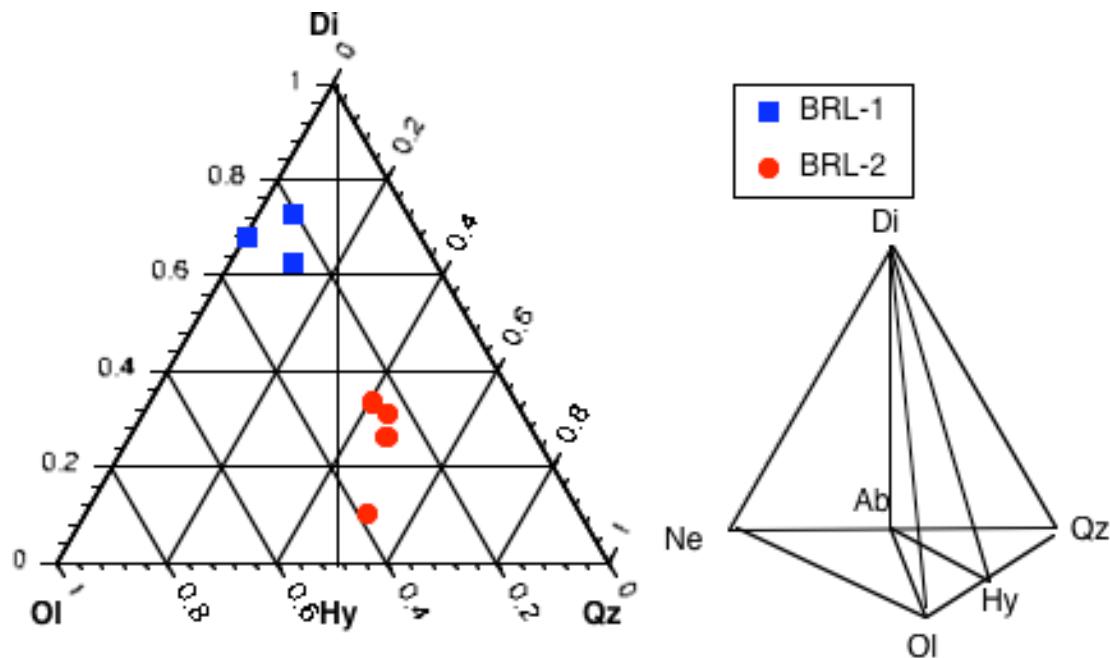
Á mynd 3.2 er búið að varpa norminu á þríhyrningsgraf þar sem sést að BRL1 flokkast sem ólivín-þóleiít en BRL2 sem kvarts-þóleiít.



Mynd 3.1; Myndin sýnir Na_2O+K_2O sem fall af SiO_2 (TAS). Svört markalína sýnir að sýnin flokkast bæði sem basalt og ísúrt berg (Markalína frá S. P. Jakobsson et.al. 2008). Rauða markalínan (Hawaii Division Line) greinir milli lág-alkalískra og alkalískra bergsyrpa.

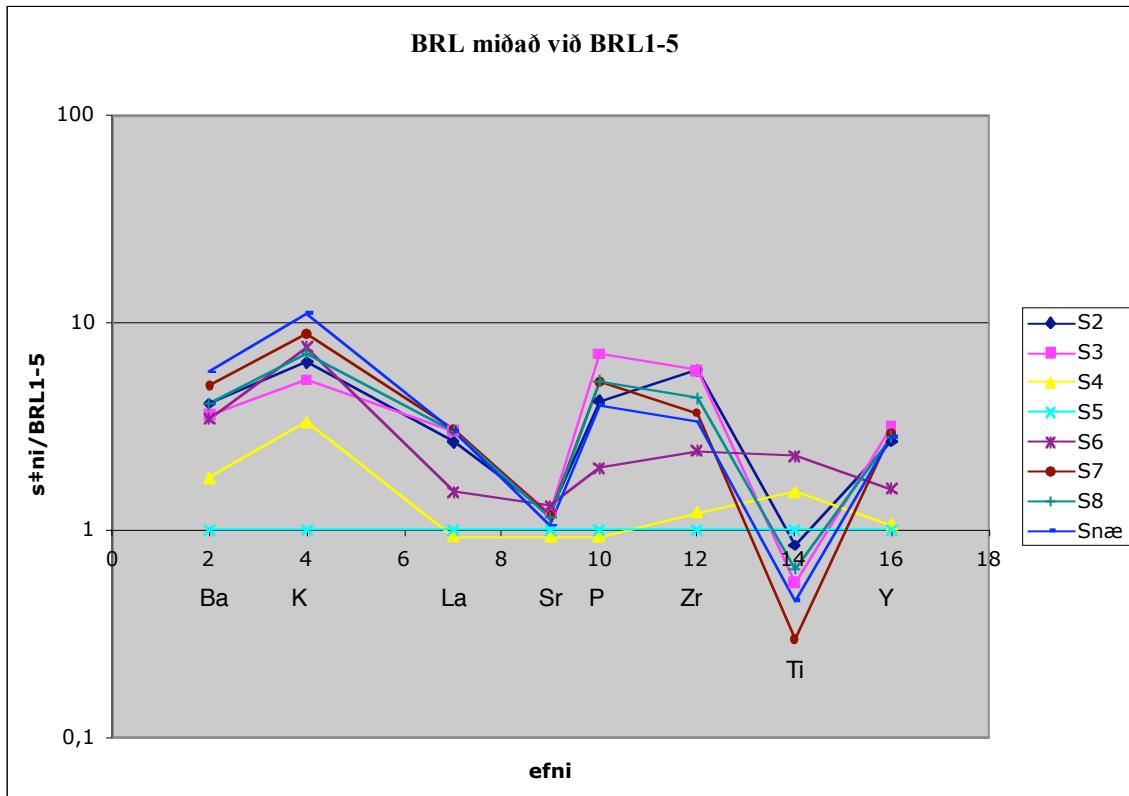
Tafla 3.2 Katjón-norm bergefna greininga frá Breiðárlóni (reiknað Fe_2O_3/FeO skv. FMO -púffer). BRL1 sýni 4, 5 og 6. BRL2 sýni 7, 8, 2 og 3.

	BRL1			BRL2			
	Sýni 4	Sýni 5	Sýni 6	Sýni 7	Sýni 8	Sýni 2	Sýni 3
ap	0,57	0,60	1,22	3,11	3,13	2,55	4,28
il	7,73	4,96	11,41	2,89	3,24	4,23	2,78
or	3,88	1,15	8,94	10,15	8,18	7,56	6,17
ab	25,20	22,50	33,45	38,85	37,85	31,00	31,73
an	11,99	24,21	10,75	10,30	12,08	12,10	17,93
mt	2,76	2,06	2,29	1,72	1,83	2,32	2,26
he	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
di	32,52	27,88	23,21	10,22	8,83	13,46	3,61
hy	0,57	10,48	4,26	16,01	18,20	20,90	26,87
ol	14,77	6,17	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00
qz	0,00	0,00	0,00	6,75	6,66	5,90	4,37
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Mynd 3.2 Norminu varpað á þríhyrninginn $Ol-Di-Qz$ (eina hlið „basaltferflötungsins“ $Ne-Qz-Di-Ol$). BRL-1 flokkast sem ólivín-þóleiít, BRL-2 sem kvarz-þóleiít.

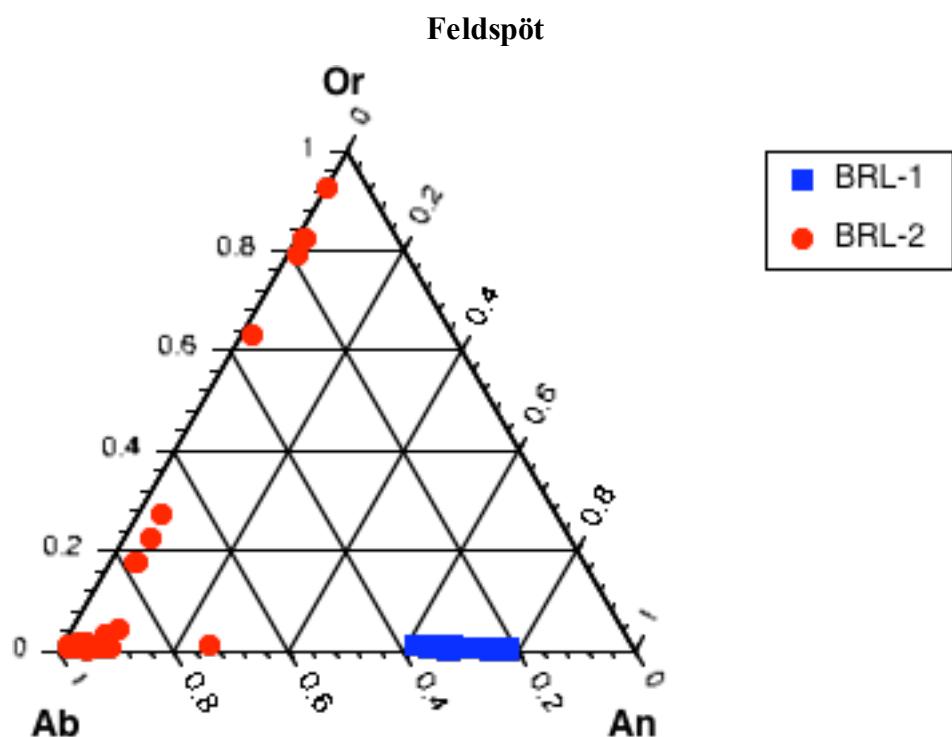
Snefilefni sem voru mæld í heildarefnagreiningu sýna að í þeim hluta bergsins sem er þróaðri (BRL2) er hærra hlutfall af utangarðsefnum en í þeirri sem er frumstæðari (BRL1). Þetta sést á mynd 3.3 þar sem miðað er við frumstæðasta hluta gabbrósins (sýni 5). Öll snefilefnin mældust hærri í BRL2 nema Sr sem var svipað í öllum sýnum, undantekning var Ti sem mældist hærra í BRL1 en í BRL2.



Mynd 3.3 „Spidergram“ sem sýnir hlutfall ýmissa snefilefna miðað við gabbró (BRL1, sýni 5). Sýnið Snæ er efnagreining Snæbjarnar Guðmundssonar (2009) úr BRL2.

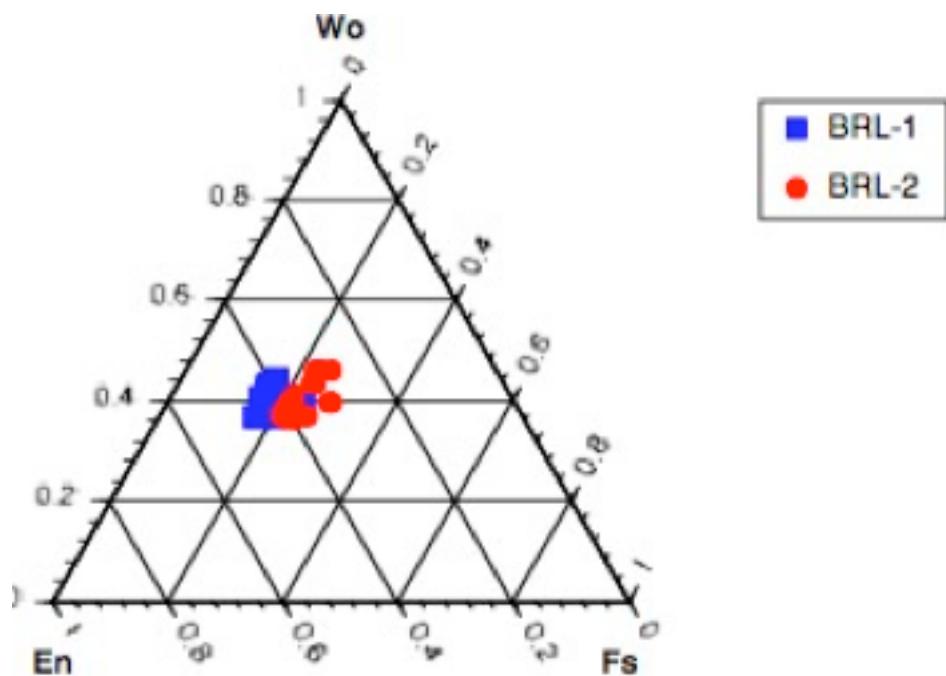
Einstakar steindir voru greindar í örgreini. Notaðar voru tvær þunnsneiðar, úr BRL1 og BRL2 (myndir 23 og 24). Áhersla var lögð á feldspót, pýroxen og oxíð til að sjá hvort marktækur munur væri í efnasamsetningu milli borkjarna. Mesti munurinn sást í feldspótunum þar sem BRL1 er með samsetninguna An 60-80 (labradorít til bytownít). BRL2 er með alk-feldspót á bilinu frá Ab til Or. Pýroxen í kjörnum hefur svipaða efnasamsetningu, nema að BRL2 er heldur járnrikara en BRL1. Oxíð í kjörnum eru í mismunandi hlutföllum og magnetít mismikið afblandað. BRL1 hefur lítið af ilmenít-dílum en meira af ummynduðu magnetíti með ilmenít-afblöndun. Í

BRL2 eru ilmenít-dílar ríkjandi en ferskt magnetít sýnir ilmenít-afblöndun. Hér að neðan er samsetningu steindanna þriggja varpað í þríhyrningsgröf en efnagreiningar má finna í viðauka á bls 46-48, einnig má sjá myndir af þunnsneiðunum sem voru efnagreindar í örgreini í viðauka á bls 44-45.



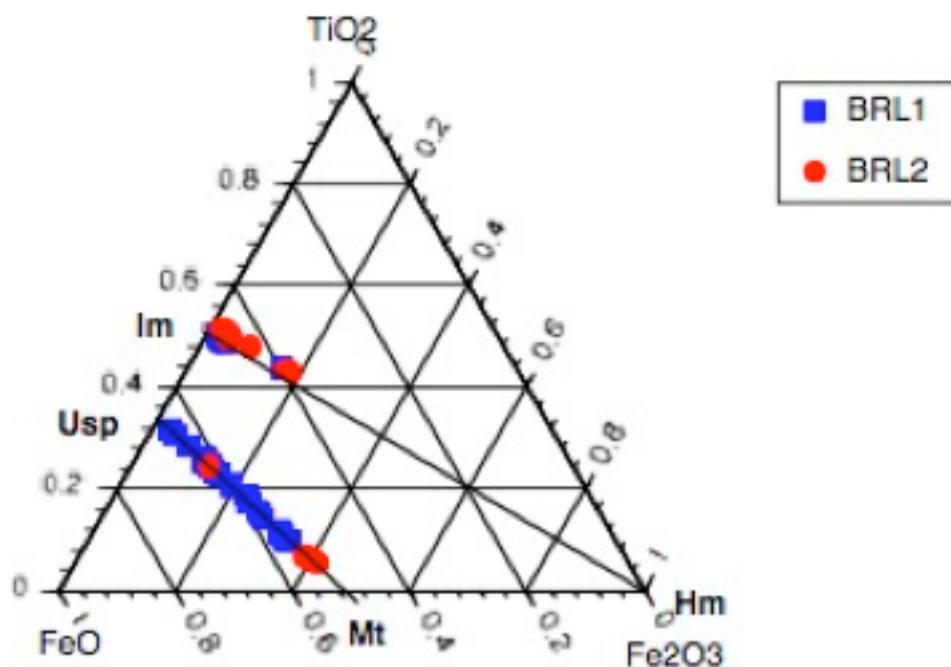
Mynd 3.4: Efnagreining feldspata úr örgreini, BRL1 inniheldur plagióklas en BRL2 nær eingöngu alkalífeldspöt

Pýroxen



Mynd 3.5; Pýroxen-efnagreiningar úr örgreini

Oxíð



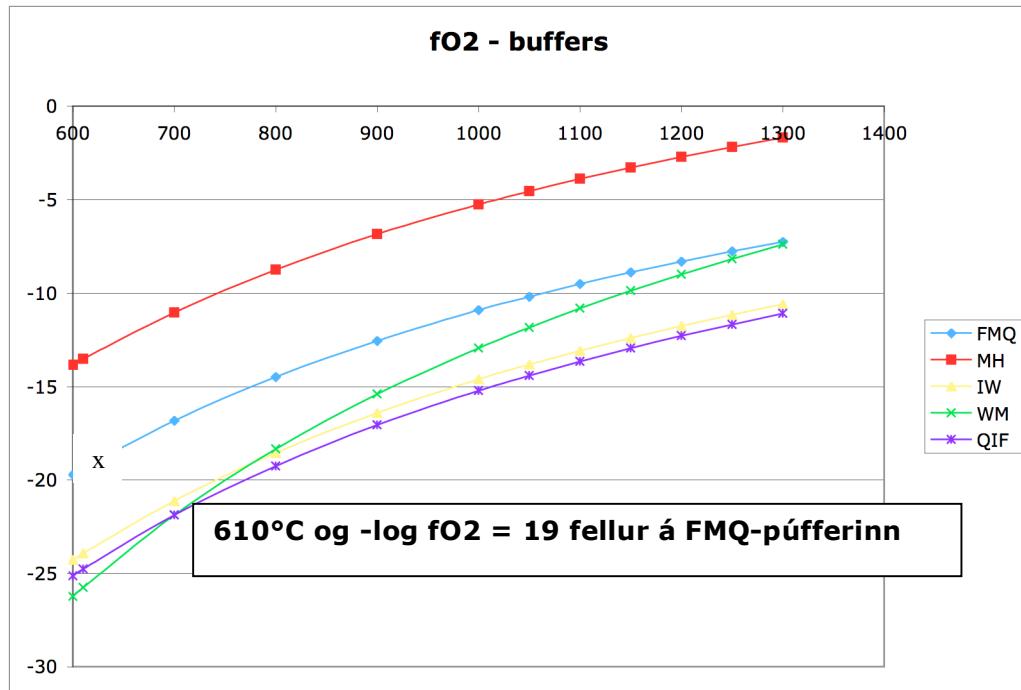
Mynd 3.6; Oxíð-efnagreiningar úr örgreini.

Pýroxen í báðum kjörnum er oft talsvert ummyndað í klórít og hugsanlega amfiból.

Plagíóklas í BRL1 hefur litla sjáanlega tvíburun sem gæti bent til ummyndunar en hún sést þó ekki í örgreini þar sem efnasamsetning mælist nokkuð einsleit. Alkalífeldspót í BRL2 hafa breiðari samsetningu, heillegir kristallar sjást þó ekki í örgreini sem gæti bent til seinni tíma ummyndunar á feldspótunum. Snæbjörn Guðmundsson (2009) gerði einnig mælingar með örgreini á BRL2 og fann feldpatkristal þar sem kjarninn er óligóklas, líklega frumsteind, en byrðingur kristalsins er alk-feldspat (sjá einnig mynd 3.4). Þetta styður þá ályktun að alkalífeldspötin séu ummyndunarsteindir en ekki frumsteindir. Inná milli alk-feldapatanna eru smáir kvartskristallar á víð og dreif ásamt ofurlitlu af kalsíti. Oxíðin eru í mismunandi hlutföllum eftir kjörnum. BRL1 er með töluvert magnetít, ilmenít er minna áberandi en kemur sumstaðar fyrir í flekkjum með löngum kristöllum, 1-2 cm löngum. BRL2 er með áberandi meira ilmenít sem kemur einnig fyrir í 1-2 cm löngum kristöllum sem raða sér oft í flekki í ljósari hluta kjarnans. Magnetít er ekki eins algengt og í BRL1. Magnetít er mismikið afblandað í sýnum úr báðum kjörnum, en sá er munur á að í BRL1 er magnetítið í samgróningum ummyndað, sennilega í titánít (sphene), en fingerðir ilmenít-stafier eru ferskir. Í BRL2 er hins vegar ferskt magnetít sem greint var ásamt ilmeníti, sbr. Mynd 3.7.

Í jarðhitakerfum er talið að ummyndunarsteindirnar klórít og epidót bendi til hæsta hitastig ummyndunar, um 300°C (Hrefna Kristmannsdóttir, 1982). Í Breiðárgabbróinu er ekki víst að hve miklu leyti ummyndunin er “deuterísk”, þ.e. orðin til við kólnun, og að hve miklu leyti eiginleg jarðhitaummyndun. Vatnsmæling (næsti kafli) og kalsít-fylltar sprungur benda þó til þess að utan frá komið vatn og CO_2 hafi hvarfast við bergið.

Oxíðapör (Mt_{ss} - Im_{ss}) í afblönduðum Ti-magnetítkristöllum í BRL2 voru notuð til að meta hita og súrefnispýrsting síðasta jafnvægis (Buddington og Lindsey, 1964), sem reyndist vera 610°C og við súrefnispýrsting $-\log f\text{O}_2 = 19$, nefnilega í jafnvægi við FMQ-ildislínuna (mynd 3.7). Nánari útreikningar eru í viðauka á bls. 46.



Mynd 3.7: Jarðhitamælir (X á myndinni) sýnir hvar oxíðin ná jafnvægi á FMQ línunni við 610°C . Ferlar níðar reiknaðir skv. Myers & Eugster (1983)

4. Vatnsmæling

4.1 Greiningaraðferð:

Tómar postulínsdeiglur eru hitaðar og látnar ná jafnvægi við 800°C í um klukkutíma og síðan látnar kólna í þurrkskál (desiccator). Deiglurnar eru vigtaðar, fyrst tómar og síðan með um 1 gm af sýninu við herbergishita. Sýnin eru hituð í ofni við 110°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C og 800°C.

Hitað er í amk 1 klst við hvert hitastig, látið kólna niður í stofuhita í þurrkskál og síðan vigtað upp á gramm með fimm aukastöfum. Létting sýna við hitun er reiknað sem hlutfall af þyngd sýnis við 110°C.

4.2 Lýsing sýna:

Tekin voru sýni úr tveimur af kjörnunum þremur, BRL1 og BRL2.

Valin voru sýni á mismunandi dýpi með mismunandi áferð, ljós og dökk eintök, og eitt sem var með áberandi mikið af löngum ilmenítkristöllum. Ná sýnin frá toppi holu og niður á 15 m og 19 m dýpi. Samanburðarsýni var fengið úr þekktu sýni frá Hoffelli í Öræfum sem er ekki ummyndað.

Sýni 1: B-GAB Hoffell í Öræfum. Einsleitt óummyndað gabbró notað sem samanburðarsýni.

Sýni 2: BRL2 0.8 m, ljóst gabbró (BRL2-0,8ma).

Sýni 3: BRL2 0.8 m, ljóst gabbró með dökkgrænni veðrunarkápu í brotsári (BRL2-0,8mb).

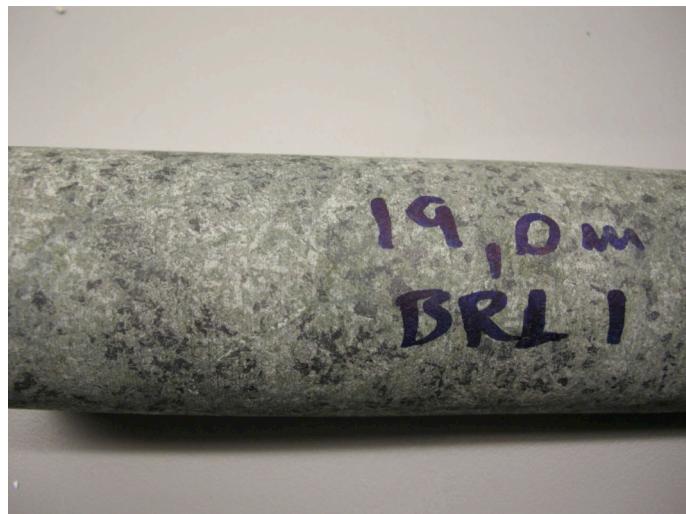
Sýni 4: BRL1 19 m, dökkt gabbró með grænni slikju (BRL1-19m).

Sýni 5: BRL1 toppur á kjarna, dökkt gabbró (BRL1-toppur).

Sýni 6: BRL1 6,5 m, ljóst gabbró með flekkjum af löngum ilmenítkristöllum (BRL1-6,5m).

Sýni 7: BRL2 15,3 m, ljóst gabbró (sýni úr álagsprófi B) (BRL2-15,3m).

Sýni 8: BRL2 14,5 m, ljóst gabbró (sýni úr álagsprófi C) (BRL2-14,5m).



Mynd 4.1: Sýni 4, BRL1 19m. Þvermál allra kjarnanna er 4,5 cm.



Mynd 4.2; Sýni 5, BRL1 toppur á kjarna.



Mynd 4.3; Sýni 6, BRL1 6,5m.



Mynd 4.4; BRL2 af um 15m dýpi, sambærilegt við sýni 7 og 8.

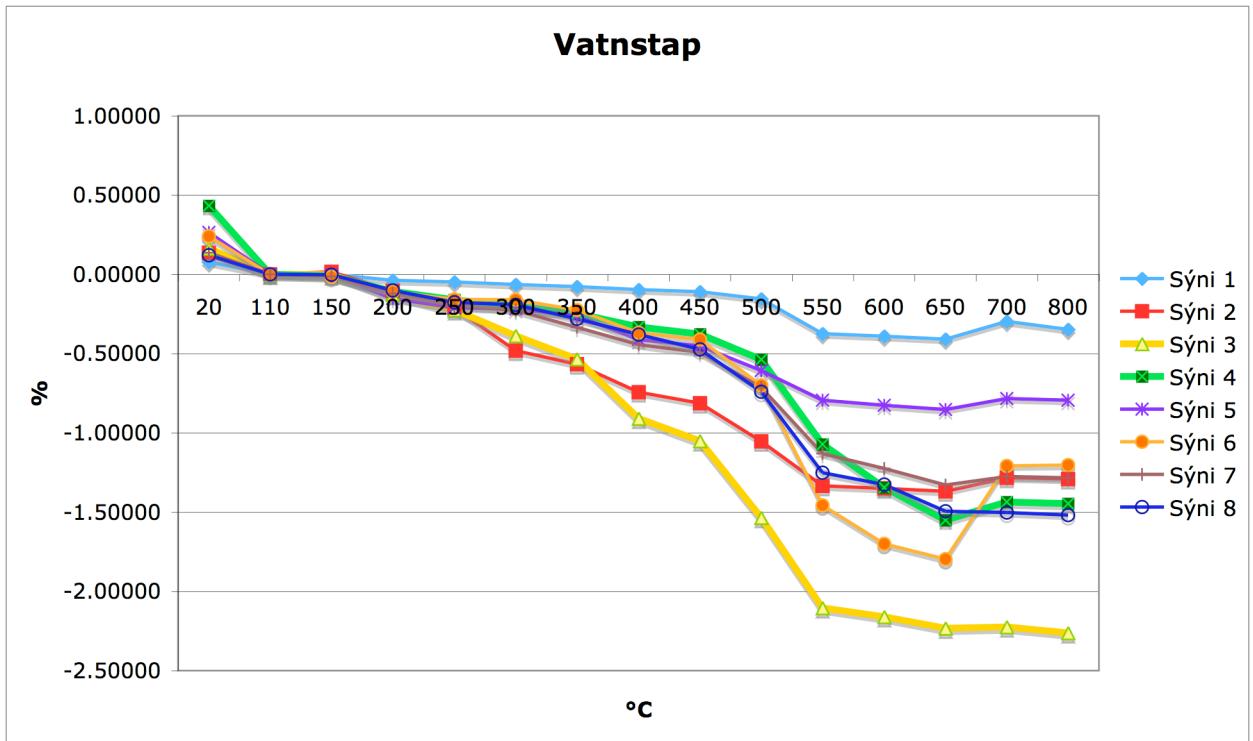
4.3 Niðurstöður og umræða:

Niðurstöður vatnsmælinga má sjá í Töflum 4-6 í viðauka og á mynd 4.5 hér að neðan. Mælingin sýnir að töluvert er af vatni í sýnum sem léttust á bilinu um 0,8-2,2%. Flest sýnin sýndu léttingu á bilinu 1,3-1,8%. Samanburðarsýnið, sýni 1, léttist aftur á móti aðeins um 0,4 %. Almennt er áltið að í basaltbráð séu ekki nema 0,5-1% vatn. Þessar niðurstöður, sem og kalkfylltar sprungur, benda því til þess að grunnvatn hafi leikið um bergið eftir að það kólnaði, eða á síðustu stigum kólnunar.

Þegar sýnin eru hituð úr stofuhita í 110°C fer allur laus raki af kornunum, en ekki vatn sem bundið er í kristöllum, þess vegna er léttингin reiknuð út frá 110°C. Þessar fyrstu tölur gefa þó upplýsingar um hve mikið yfirborð er á kornunum og einnig hvort kornin séu mjög gropin eða með heillegt yfirborð. Því meira yfirborð, því meira yfirborðsvatn og þá líka meiri ummyndun. Hér er langminnsta yfirborðsvatnið á sýni 1 (0,07%) en sýni 4 er með mesta yfirborðsvatnið (0,4%).

Við áframhaldandi hitun byrja lághitaleirsteindir að missa vatn. Við 110°-300°C missir leirinn mest af vatni sínu. Við >350°C byrjar klórít að missa vatn. Mesta léttингin í mælingunni var á bilinu um 250°-550°C, þá er vatnið að hverfa úr leirsteindum og klóríti (Deer et al. 1992).

Við um 500°C byrjar oxun á járni þar sem tvígilt járn verður þrígilt og þyngist því. Oxunin sést einnig á litabreytingu á sýninu er það verður ryðraut. Þessi þynging vegna oxunar vegur upp á móti léttingu á klóríti í fyrstu, sem lýsir sér í hægari léttingu en þynging tekur síðan yfir við 700°C og sýnin hætta að léttast.



Mynd 4.5; Vatnstap sýna við hækkandi hitastig miðað við 110°C, mælt í prósentum.

Í fersku gabbrói er mjög lítið af vötnuðum frumsteindum, vatnaðar steindir myndast flestar við ummyndun. Þess vegna er hægt að nota vatnsmagn í bergenú sem mælikvarða á ummyndun þess. Þessi aðferð, að nota vatnsinnihald steinda til að ákvarða ummyndun, var einnig notuð í ritgerð Sigurveigar Árnadóttur (2008).

Ummundunarsteindir eins og leir og klórít innihalda um 10 – 15% af vatni (Deer et al. 1992). Út frá því má áætla að berg með um 1% af vatni innihaldi amk 10% ummyndunarsteindir.

Í þessari mælingu léttust flest sýnin um 1,3 - 1.7% sem bendir til að bergið innihaldi um 15% af ummyndunarsteindum. Undantekningar voru fyrir ofan og neðan þessa tölu. Sýni 3 léttist mest (2,2%) en það var tekið í brotsári með mikla sjánlega ummyndun og er fyrir ofan meðaltal. Sýni 5 léttist minnst (0,8%), það er úr toppi kjarnans og því næst yfirborði. Það gæti bent til að ummyndunin sé

jarðhitaummyndun á einhverju dýpi en ekki yfirborðsummyndun. Sýni 6 léttist næst mest (0,7%) og þyngdist síðan mest við 700°C. Þetta sýni er því líklega töluvert ummyndað, en þyngingin við háan hita samræmist því að ilmenítkristallar eru áberandi í sýninu.

Samanburðarsýnið, sem er óummyndað gabbró, er alltaf með lang minnstu létinguna sem bendir til þess að gabbró úr kjörnunum sé töluvert ummyndaða.

5. Álagspróf

5.1 Greiningaraðferð:

Tekin voru þrjú sýni úr kjarna BRL2 af svipuðu dýpi. Heilleg sýni voru valin með engum sýnilegum sprungum.

Kjarnar voru sagaðir niður þannig að breidd:lengd var í hlutföllunum 1:2.

Breidd sýna er 4,5 cm og lengd 9 cm.

Kjarnarnir voru síðan settir í pressu Nýsköpunarstofnunar á Keldnaholti sem mældi brotþol þeirra í kg.

Rúmþyngd er reiknuð þannig að brot úr kjarnanum eru vigtuð og síðan mælt hve miklu vatni þau ryðja frá sér. Rúmþyngd = þyngd(g)/rúmmáli(ml), óvissan er í því vatni sem sýnin ryðja frá sér, 1 ml til eða frá.

5.2 Lýsing sýna:

Teknir voru hlutar úr kjarna BRL2, sem er ljóst díorítiskt gabbró, á eftirfarandi dýpi;

A – 15,3 - 15,7 m

B – 15,0 - 15,3 m (sýni 7)

C – 14,35 - 14,55 m (sýni 8)

Sýni úr álagsprófum B og C voru síðan einnig notuð í vatnsmælingu og efnagreiningu í köflunum hér að framan.

5.3 Niðurstöður og umræða:

Niðurstöður álagsprófsins sjást einnig í grafi í Viðauka á bls. 50-51.

$$A - 14.360 \text{ kg} = 0,903 \text{ tonn/cm}^2$$

$$B - 14.140 \text{ kg} = 0,889 \text{ tonn/cm}^2$$

$$C - 21.000 \text{ kg} = 1,320 \text{ tonn/cm}^2$$

Fjaðurstuðull:

$$A - 16000 \text{ kg/mm}$$

$$B - 16000 \text{ kg/mm}$$

$$C - 30000 \text{ kg/mm}$$

Tafla 5.1 Niðurstöður álagsprófa

Sýni	BRL2		d	h		rök rúmþyngd*	Álag	Brotþol
	Dýpi (m)		(mm)	(mm)	h/d	kg/m3	kg	Mpa
A	15.30	15.70	44.8	90	2.0	2890-3130	14360	89.4
B	15.00	15.30	44.8	90	2.0	2690-2920	14140	88.0
C	14.35	14.55	44.8	90	2.0	3090-3290	21000	130.7

* spönn byggð á ±1ml vatn

Til samanburðar eru tölur úr álagsprófum fyrir (sbr. aftasta dálk í töflu 5.1):

Reykjavíkurgrágrýti 60-80 Mpa

Heillegt þóleiít 160-210 Mpa

(Birgir Jónsson, munnlegar upplýsingar)

Niðurstöður úr þessum prófum lenda þarna á milli en eru þó nær

Reykjavíkurgrágrýtinu sem er gropótt og því ekki með hátt álagsþol.

Má því álykta að sýnin séu undir meðallagi álagsþolin miðað við þessi próf. Hafa verður þó í huga að sýnin voru tekin á þróngu hæðarbili og aðeins úr öðrum kjarnanum þannig að prófin gefa kaksi ekki rétta heildarmynd af brotþoli gabbrósins.

6. Samantekt og niðurstöður

Þegar niðurstöður hér að framan eru teknar saman sést að kjarnarnir tveir eru nokkuð ólíkir að efnasamsetningu, annar er basískur en hinn er ísúr. Mestur steindafræðilegur munur á milli kjarna sést í feldspótum, þar sem plagíóklas sést aðeins í BRL1 en alkalífeldspót nær eingöngu í BRL2. Pýroxen hefur svipaða efnasamstningu nema að BRL2 er heldur járnrikari en BRL1. Hlutföll ilmeníts og magnetíts eru einnig ólík eftir kjörnum og magnetít er mismikið ummyndað. Í BRL2 eru einnig kvarts og kalsít sem ekki fundust í BRL1; báðar steindir benda til aðflutnings efnis með jarðhitavökum. Sprungufyllingar innihalda aðallega ummyndunarsteindina kalsít ásamt litlu magni af albíti, klóríti og epidót. Rannsóknirnar benda til þess að ummyndun sé töluverð í kjörnum. Umfang ummyndunar má meta út frá vatnsmagni mældu í steindum, en það ætti að vera lágt í fersku (óummynduðu) bergi. Vatn er aðallega að finna í ummyndunarsteindum í basalti. Prátt fyrir ólíka samsetningu kjarnanna bendir vatnsmælingin til þess að svipað magn ummyndunarsteinda sé í þeim eða um 15%. Ummyndunarsteindir, eins og leir, klórít og epidót, finnast einnig í öðrum mælingum sem gerðar voru. Ummyndun minnkar brotþolsstyrk bergsins eins og sést á álagsþófinu sem gert var og samanburði við ferskt berg..

Niðurstaðan er sú að ummyndun ásamt því að kjarnarnir virðast sprungnir er orsök þess að þetta gabbró reynist illa í varnargarða.

Heimildaskrá

Annels, A.E., 1967. *The geology of the Hornafjördur 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.* Björn Gunnarsson og Freysteinn Sigurðsson, 1982, Orkustofnun, Reykjavík, 61 bls.

Blake, D. H., 1964. *The volcanic geology of the Austurhorn area, south-eastern Iceland.* Doktorsritgerð, Imperial Collage, London University, 192 bls.

Buddington, A.F., Lindsley, D.H., 1964. *Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents.* Journal of Petrology **5**, 310-357.

Cargill, H. K., Hawkes, L. og Ledeboer, J. A., 1928. *The major intrusions of southeastern Iceland.* Journal of Geology **74**, 891-907.

Deer, W. A., Howie, R, A., Zussman, J., 1992. *The Rock Forming Minerals*, 2nd edition, Pearson Education Limited, England. 695 bls.

Fridleifsson, Guðmundur Ómar., 1983. *The geology and alteration history of the Geitafell central volcano, Southeast Iceland.* Doktorsritgerð, University of Edinburgh, 371 bls.

Helgi Torfason, 1979. *Investigations into the structure of south-eastern Iceland.* Doktorsritgerð, University of Liverpool, 568 bls.

Helgi Torfason, 1979. Jarðfræðikort af Íslandi, blað 9, Suðausturland. Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælingar Íslands.

Kristmannsdóttir, Hrefna, 1982. *Alteration in the IRDP drill hole compared with other drill holes in Iceland,* Journal of Geophysical Research **87**, 6525-6532

Landmælingar Íslands, 1998. Loftmynd O-9053 af Breiðárlóni

Myers, J., Eugster, H.P., 1983. *The system Fe-Si-O: Oxygen buffer calibrations to 1,500K*. Contributions to Mineralogy and Petrology **82**, 75-90.

Newman, Thomas C. M., 1967. *The geology of some ingenious intrusions tin the Hornafjörður region, S.E. Iceland*. Doktorsritgerð, Victoria University of Manchester, 168 bls.

Roobol, Michael J., 1969. *The Vesturhorn acid-basic intrusion, south-east Iceland*. Doktorsritgerð, Imperial Collage, London, 177 bls.

Sigurveig Árnadóttir, 2008. Magnreining montmorilloníts í basalti og áhrif þess á eiginleika til mannvirkjagerðar, MS ritgerð, Háskóli Íslands, 126 bls.

Snæbjörn Guðmundsson, 2009. Ummyndun á gabbróinniskotum á Suðausturlandi, BS-ritgerð, Háskóli Íslands. 38 bls.

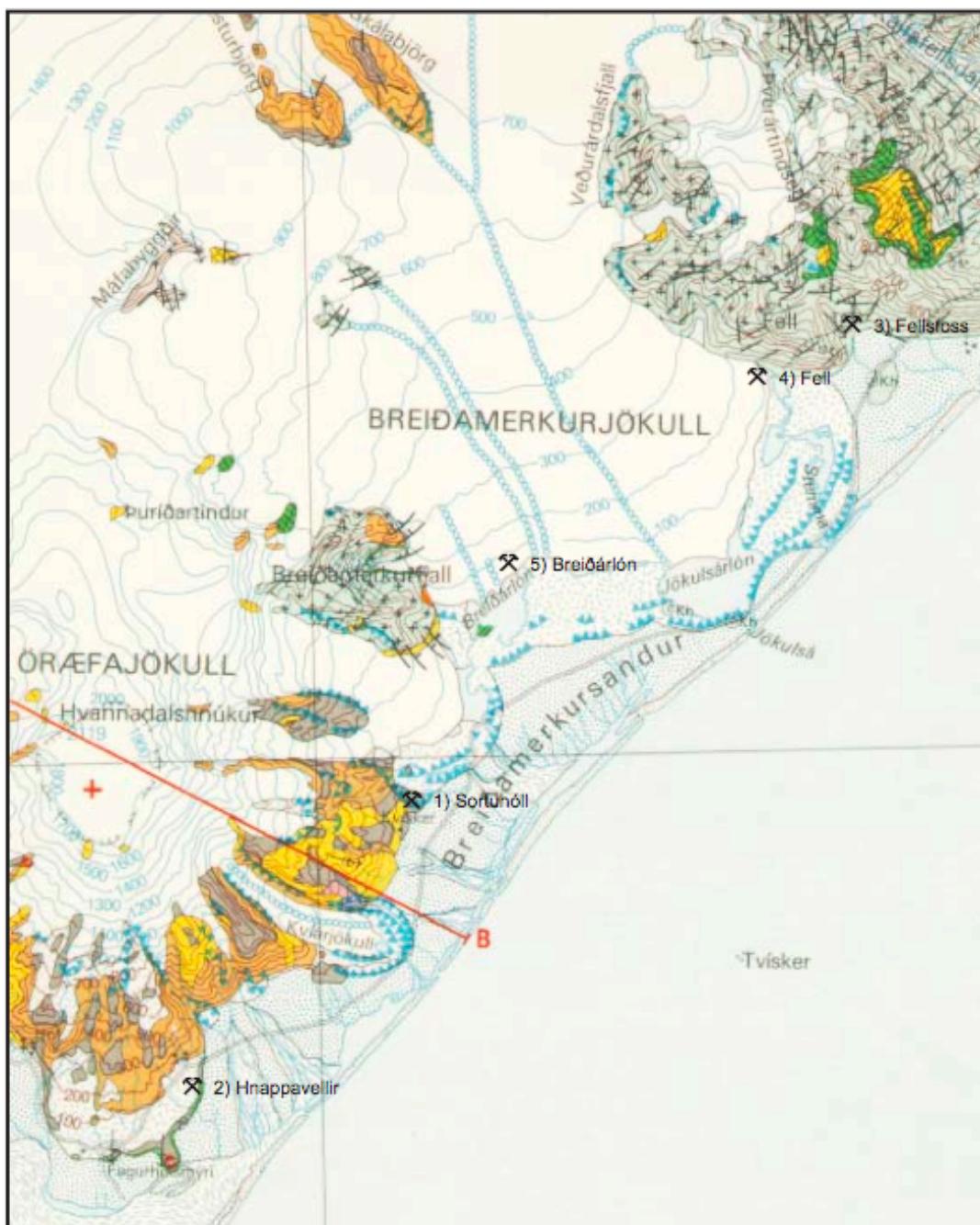
STAPI – Jarðfræðistofa, 2002. *Jökulsá á Breiðamerkursandi, grjótnám fyrir rofvarnir*, Greinargerð, 11 bls.

Sveinn P. Jakobsson, Kristján Jónasson og Ingvar A. Sigurðsson, 2008. The three igneous rock series of Iceland, Jökull, **58**. Jöklarannsóknarfélag Íslands og Jarðfræðifélag Íslands, 117-138.

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. 22 bls.

Viðaukar

Kort af Breiðamerkurjökli og nágreni



Mynd 1: Kort af Breiðamerkurjökli og nágreni, gabbrónáman er merkt; Beiðárlón.
(Helgi Torfason, 1985. Breytt af Ómari Bjarka Smárasyni)

Yfirlitsmynd af Breiðárlóni



Mynd 2: Loftmynd af Breiðárlóni, Gabbróið er við jökulsporðinn afmarkaður með grænum lit. (Landmælingar Íslands, 1998. Breytt af Ómari Bjarka Smárasyni)

Myndir frá gabbrónámunni við Breiðárlón



Mynd 3: Hæsti hluti gabbrósins norðan við Breiðárlón. (STAPI ehf – jarðfræðistofa, 2002)



Mynd 4: Horft yfir Breiðárlón af syðsta hluta gabbrósins (STAPI ehf – Jarðfræðistofa, 2002).

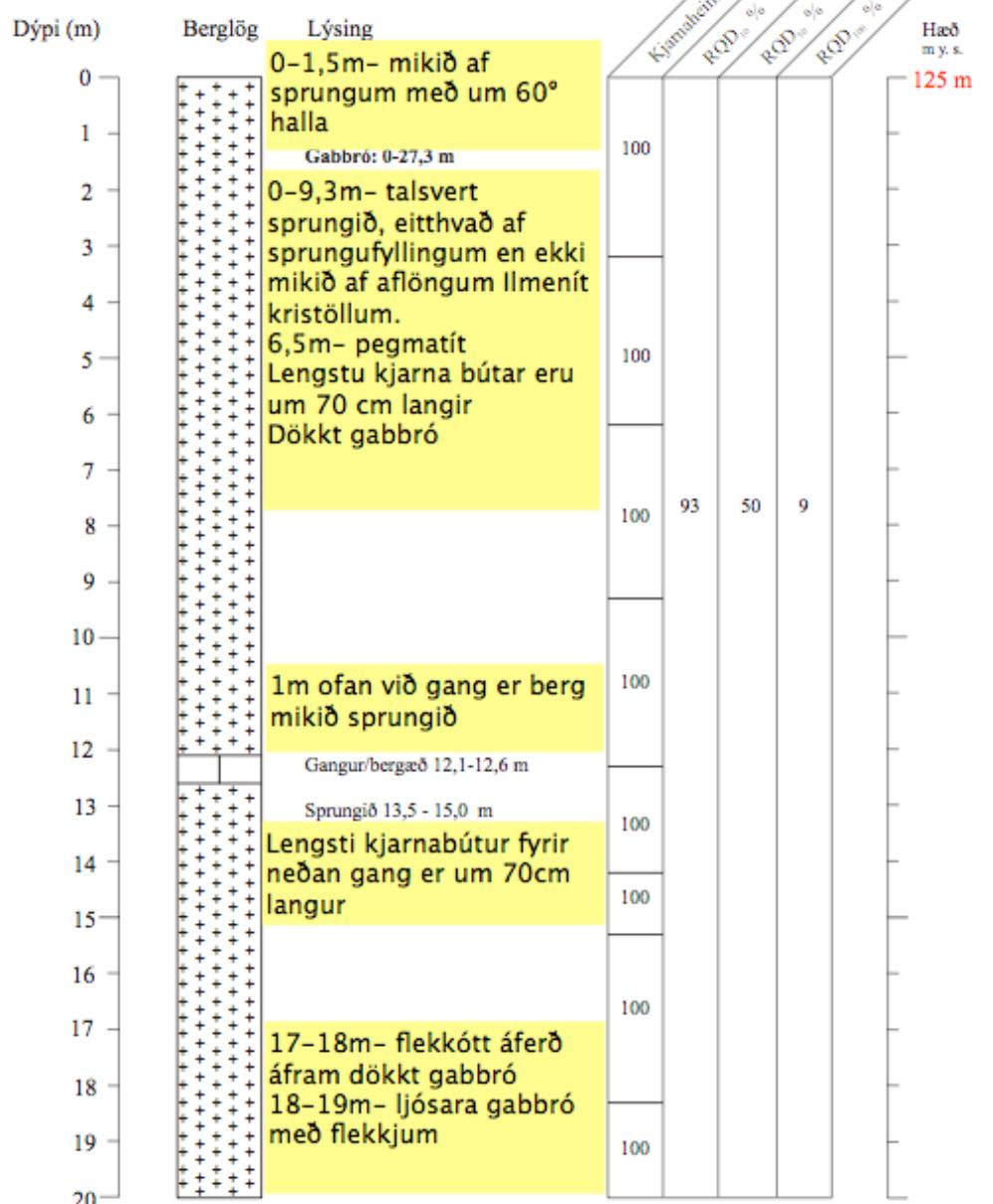
Kjarnalogg



18.03.04 Órin:teiknað: ÓBS/kdr

Breiðárlón

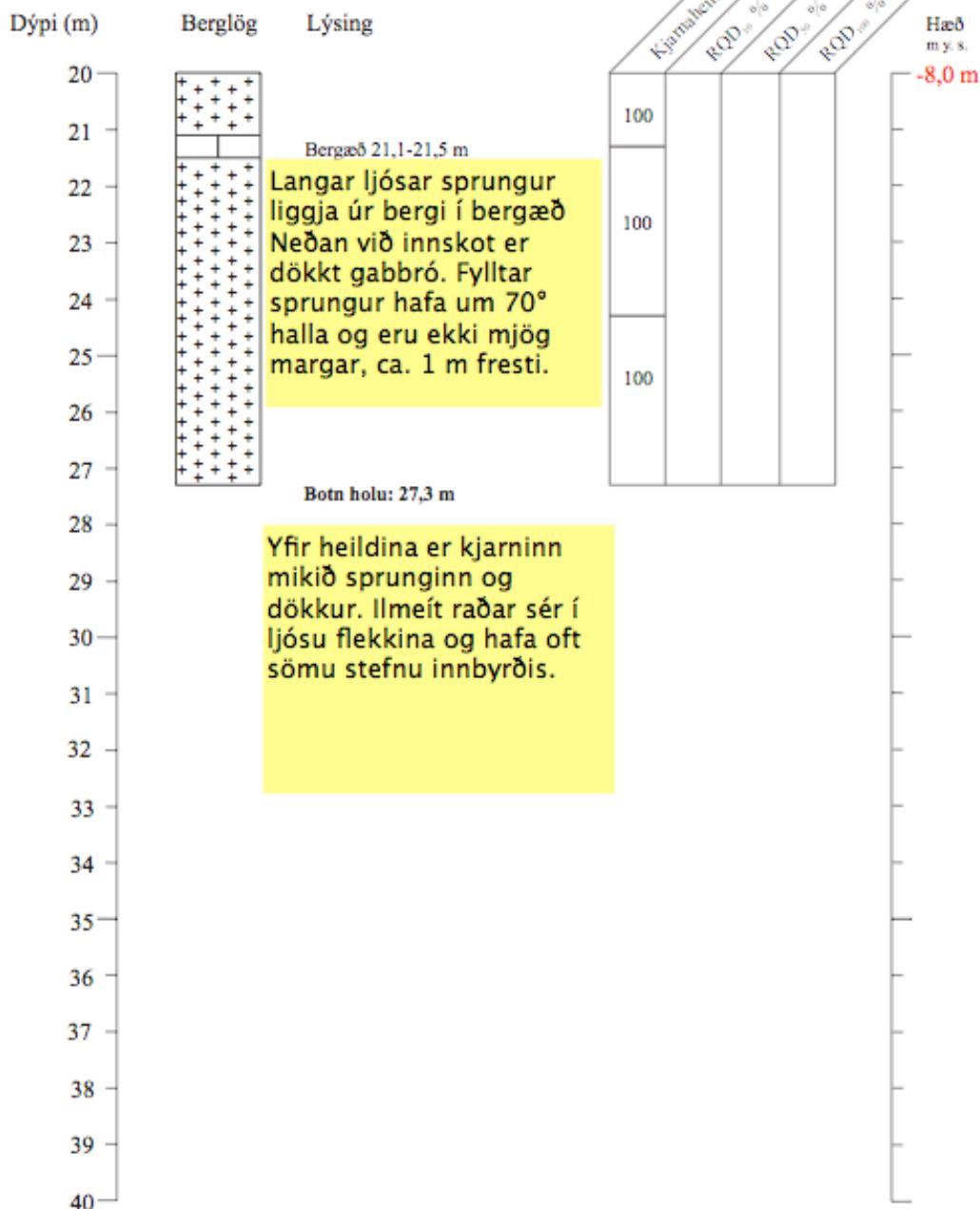
Hola BRL-1 (0 - 20 m)



Mynd 5; Kjarnalogg úr borholu BRL1 0-20m, breytingar gerðar af höfundi (STAPI ehf – jarðfræðistofa).

Breiðárlón

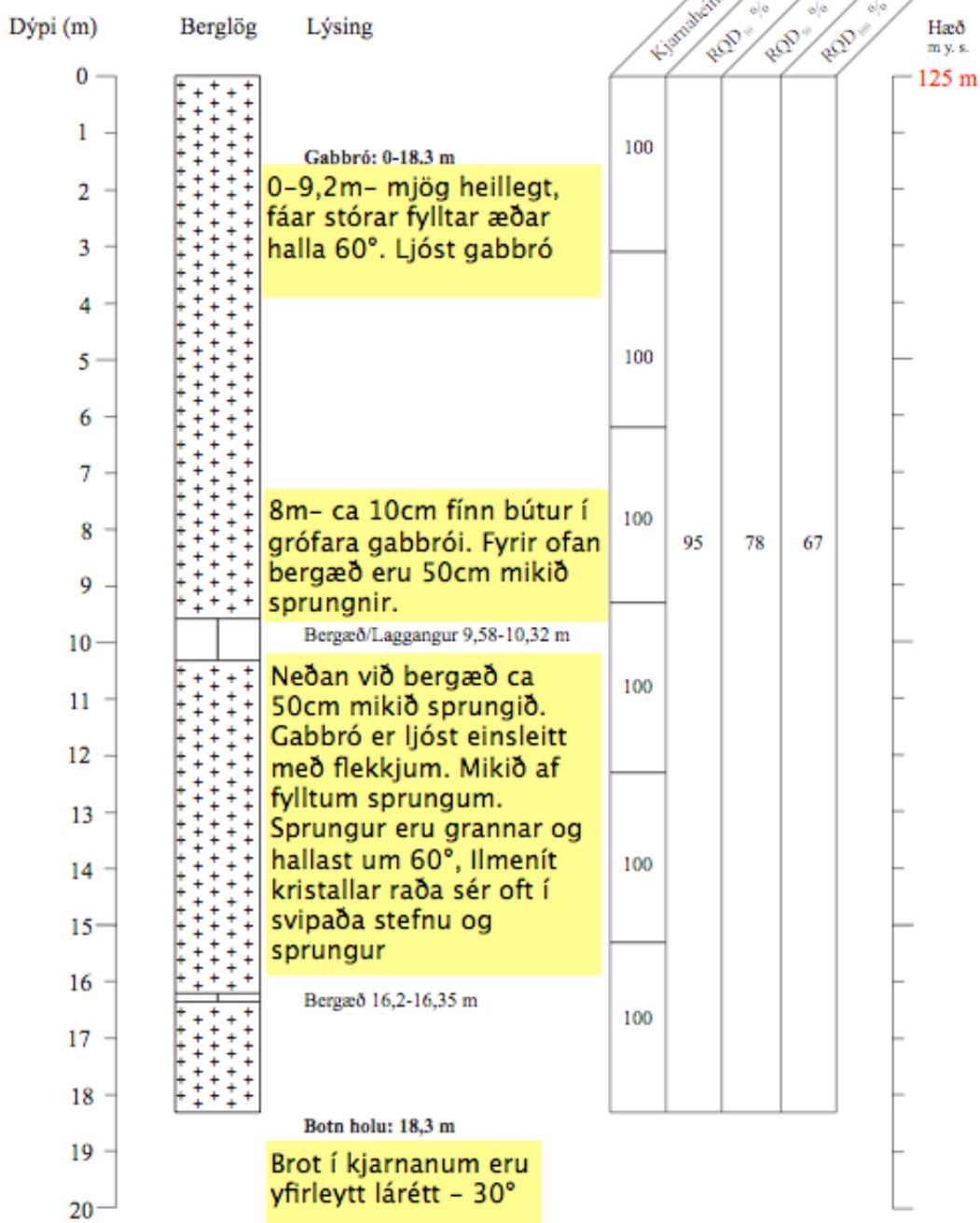
Hola BRL-1 (20 - 40 m)



Mynd 6: Kjarnalogg úr borholu BRL1 20-40m, breytingar gerðar af höfundi (STAPI ehf – jarðfræðistofa).

Breiðárlón

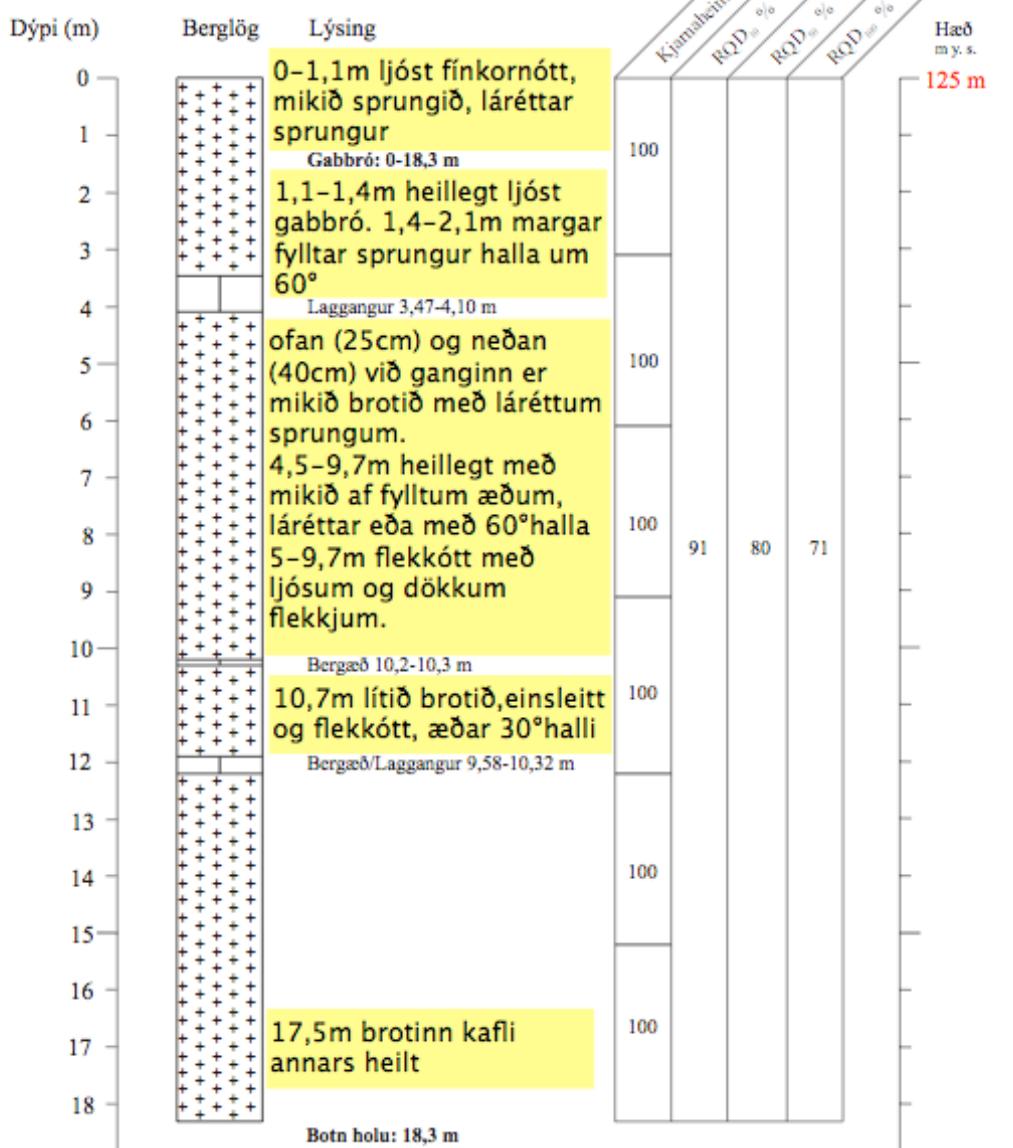
Hola BRL-2 (0 - 20 m)



Mynd 7: Kjarnalogg úr borholu BRL2 0-20m, breytingar gerðar af höfundi (STAPI ehf – jarðfræðistofa).

Breiðárlón

Hola BRL-3 (0 - 20 m)



Mynd 8: Kjarnalogg úr borholu BRL3 0-20m, breytingar gerðar af höfundi (STAPI ehf – jarðfræðistofa).

Ljósmyndir af kjörnum

BRL1 kassi 1



Mynd 9: Yfirlitsmynd, BRL1 kassi 1



Mynd 10: Nærmynd úr kassa 1, ljóst gabbró með ilmenítflekkjum

BRL1 kassi 2



Mynd 11: Yfirlitsmynd, BRL1, kassi 2



Mynd 12: Nærmynd úr kassa 2, efst sést basalt innskot en fyrir neðan er flekkótt gabbró

BRL1 kassi 3



Mynd 13: Yfirlitsmynd, BRL1 kassi 3.



Mynd 14: Nærmynd úr kassa 3. Í miðhólfinu er 40 cm þykkt basaltinnskot með kalsítfylltum sprungum þar fyrir ofan er ljóst gabbró en flekkótt þar fyrir neðan.

BRL2 kassi 1



Mynd 15: Yfirlitsmynd BRL2 kassi 1.



Mynd 16: Nærmynd úr kassa 2. Ljóst gabbró þar sem sjást langir ilmenít kristallar, í efsta hólfínú er stór sprungufylling.

BRL2 kassi 2



Mynd 17: Yfirlitsmynd, BRL2 kassi 2.



Mynd 18: Nærmynd, kassi 2. Basaltinniskot sést í miðjuhólfinu en fyrir ofan og neðan er ljóst gabbró með löngum ilmenítkristöllum.

BRL3 kassi 1



Mynd 19: Yfirlitsmynd, BRL3 kassi 1.



Mynd 20: Nærmynd, kassi 1. Flekkótt gabbró, í miðjuhófinu sést stór sprungufylling.

BRL3 kassi 2



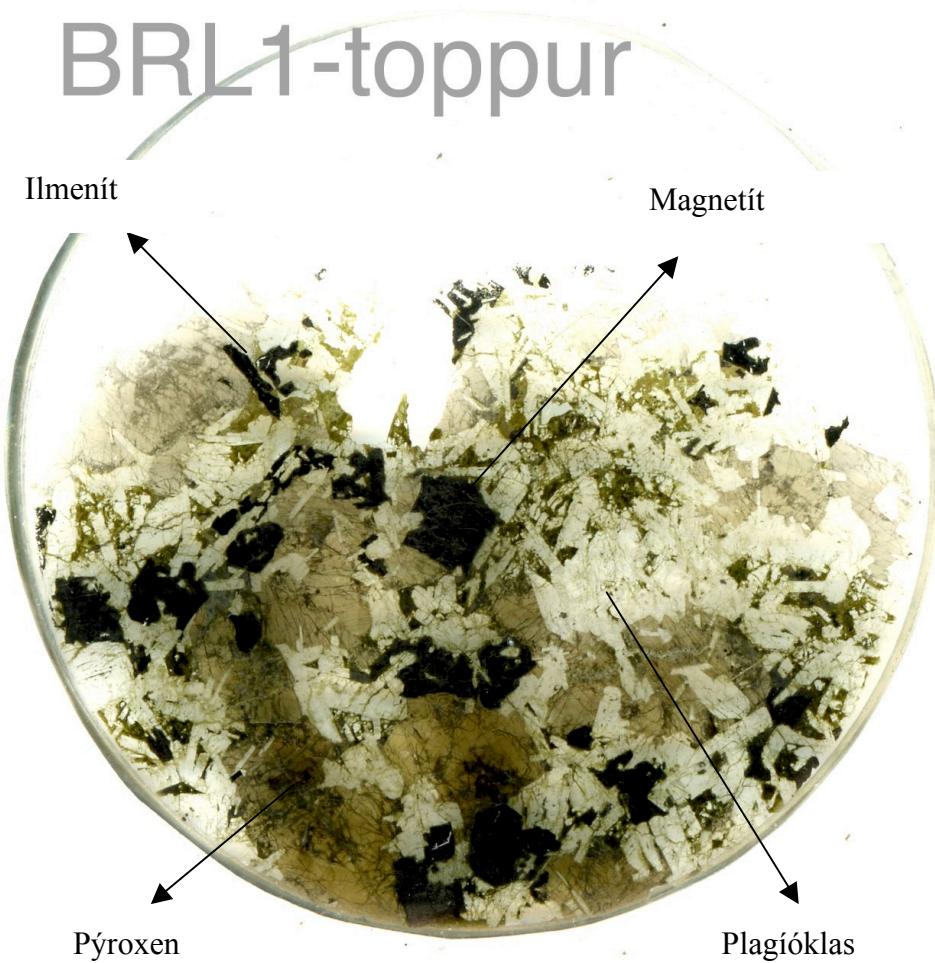
Mynd 21: Yfirlitsmynd, BRL3 kassi 2.



Mynd 22: Nærmynd, kassi 2. Flekkótt gabbró.

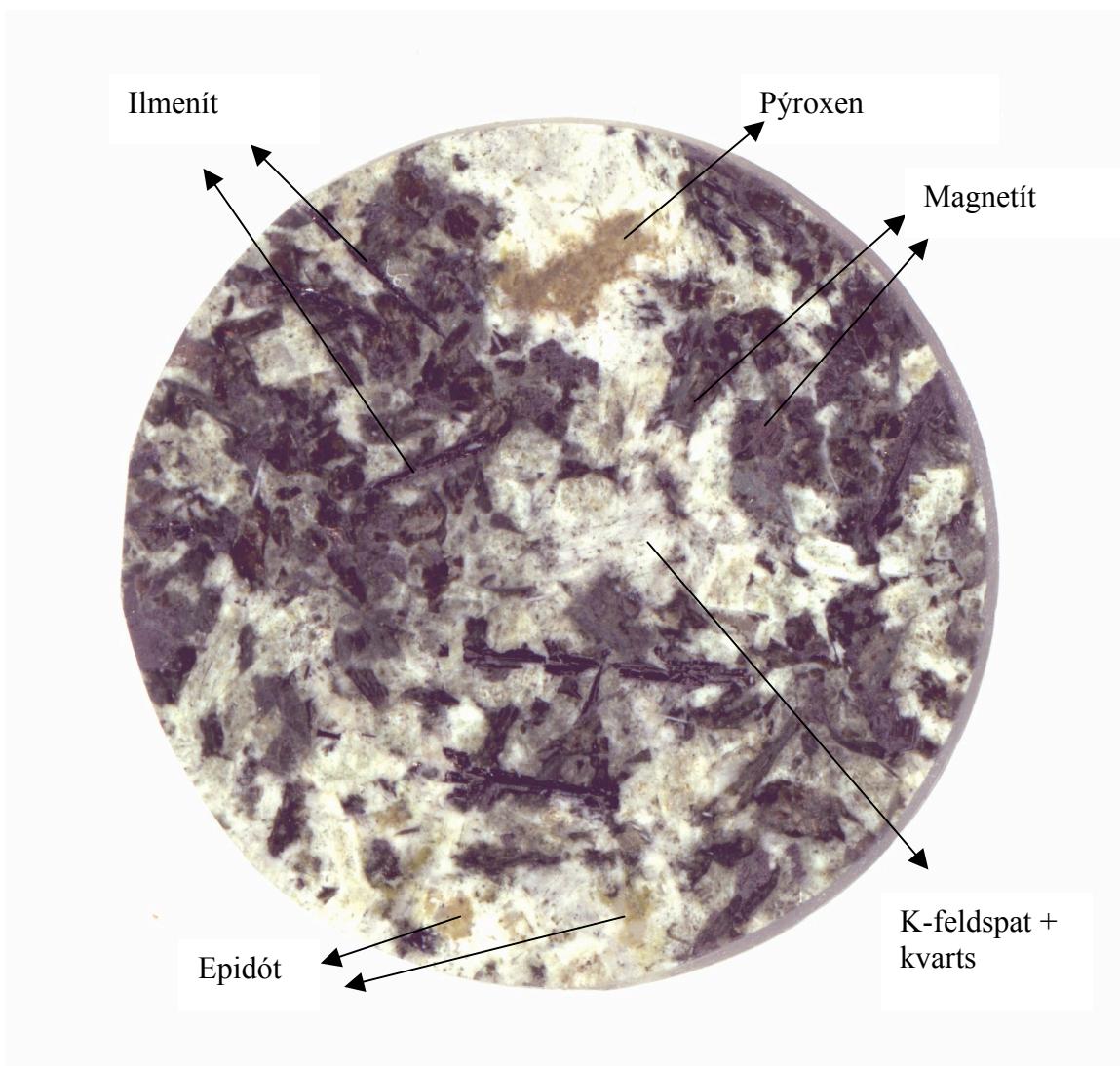
Þunnsneiðar notaðar í örgreiningu

BRL1 toppur



Mynd 23; BRL1 toppur, þunnsneið notuð til örgreiningar. Primary ilmenit er ekki áberandi en meira er af ummynduðu magnetíti. Pýroxen er brúnt en plagióklas er ljóst. Apatít sést í smásjá sem langir prismar.

BRL2- 10m



Mynd 24; BRL2 10m, þunnsneið notuð til örgreiningar. Primary ilmenít er algengt í löngum prismum, einnig er töluvert af afblönduðu magnetíti. Pyroxen er ekki algengt en ljósi hlutinn inniheldur alk-feldspót ásamt kvartsi. Epidót er gulleit og sést neðst í sneiðinni. Í örgreini og smásjá fannst einnig kalsít og apatít.

Efnagreiningar úr örgreini

Oxíð

#	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	summa	spinel	Rhomb
31	47.76	-0.76	46.91	4.05	-0.16	97.80		91.42
34	48.44	-0.82	45.50	4.03	-0.17	96.98		93.53
38	48.05	-0.75	46.04	4.04	-0.18	97.19		92.59
39	49.74	-0.97	47.01	4.13	-0.16	99.75		93.26
40	48.53	-0.92	45.58	3.94	-0.16	96.98		93.64
41	3.58	1.27	82.73	0.16	-0.20	87.53	11.32	
43	50.22	-1.04	46.00	4.13	-0.23	99.08		94.73
44	4.41	2.15	77.14	0.22	-0.21	83.71	14.89	
49	49.52	-1.15	46.00	3.96	-0.22	98.11		94.20
50	49.46	-1.17	45.97	3.95	-0.23	97.99		94.18
51	50.05	-1.15	45.72	4.45	-0.25	98.81		94.53
56	4.21	1.64	80.74	0.39	-0.34	86.64	13.56	
58	4.16	1.10	77.47	0.37	-0.13	82.97	13.88	
59	50.00	-1.34	45.70	3.94	-0.25	98.05		95.00
62	49.49	-1.26	44.50	4.17	-0.30	96.61		95.47
64	50.94	-1.44	45.46	4.04	-0.27	98.73		96.07
T°C		log fO₂						
610		-19						
						Usp%	Im%	
						13.41	94.05	
						N=4	N=12	

Tafla 1; Óleiðréttar efnagreiningar og útreikningar oxíða.

Feldspöt

	BRL1	feldspöt					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SUM
238	53.42	24.33	0.67	10.21	4.83	0.17	93.62
239	58.46	24.92	0.55	9.69	5.85	0.27	99.73
240	57.67	25.38	0.56	9.79	5.61	0.19	99.20
241	57.41	26.82	0.62	12.04	4.73	0.14	101.77
242	57.65	26.66	0.49	10.71	5.62	0.10	101.23
243	57.33	26.86	0.71	12.29	4.97	0.18	102.34
244	55.52	26.71	0.77	12.18	4.57	0.20	99.95
245	60.90	25.20	0.66	9.60	6.48	0.26	103.09
246	56.87	26.21	1.47	11.50	4.81	0.20	101.06
247	55.49	26.92	0.54	11.94	4.96	0.12	99.97
248	55.35	26.68	0.85	11.92	4.85	0.22	99.86
249	57.19	27.20	0.66	12.17	4.99	0.12	102.33
250	57.89	26.86	0.84	11.98	4.73	0.18	102.49
251	56.06	26.95	0.94	12.16	4.87	0.16	101.13
252	58.00	26.79	0.84	11.86	4.84	0.17	102.51
253	56.60	27.27	0.72	12.23	4.85	0.18	101.85

	BRL2	feldspöt					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SUM
206	69.74	18.90	0.31	0.97	11.21	0.08	101.22
207	71.59	18.31	0.17	0.52	11.45	0.07	102.11
208	70.20	18.81	0.06	0.66	10.83	0.17	100.73
209	69.12	19.11	0.06	0.68	11.31	0.18	100.47
101	68.40	19.53	0.03	0.60	10.63	0.13	99.32
102	68.54	19.14	0.02	0.51	9.10	3.17	100.47
103	70.90	20.28	0.03	0.52	10.78	0.20	102.70
106	68.72	19.40	0.24	0.76	10.64	0.34	100.10
108	69.06	18.97	0.06	0.47	11.27	0.12	99.95
113	67.59	21.01	0.27	3.02	9.51	0.25	101.65
116	72.27	22.31	0.01	0.50	8.23	3.88	107.20
117	71.02	20.30	0.01	0.56	11.13	0.20	103.23
118	71.08	17.60	0.12	0.21	3.83	10.62	103.46
119	69.22	19.72	0.05	0.94	10.81	0.81	101.54

Tafla 2; Efnagreiningar feldspata í örgreini.

Pýroxen

	BRL1	Pýroxen							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NaO	SUM
37	49.44	0.74	1.28	12.20	0.38	14.45	17.69	0.35	96.54
38	49.86	0.91	1.35	12.17	0.35	14.67	17.84	0.36	97.51
39	48.79	0.80	1.45	12.67	0.37	13.99	17.56	0.38	96.01
45	49.05	1.09	2.22	11.66	0.31	13.96	18.78	0.35	97.41
46	48.96	1.05	1.94	10.33	0.31	13.72	20.16	0.38	96.86
47	47.96	1.17	2.13	11.23	0.32	13.78	19.65	0.41	96.65
48	49.75	1.11	2.04	10.23	0.31	14.14	19.96	0.38	97.93
49	50.21	1.17	2.00	10.07	0.26	15.63	17.18	0.32	96.85
50	49.88	1.20	2.11	10.18	0.25	14.22	20.09	0.41	98.34
51	49.01	1.30	2.03	9.90	0.24	14.08	20.38	0.45	97.40
52	51.49	1.08	1.95	9.71	0.29	12.52	19.87	0.34	97.24
53	49.40	1.13	1.93	9.91	0.26	14.04	20.60	0.40	97.66
54	50.27	1.14	2.17	10.22	0.28	14.53	19.37	0.41	98.40
55	56.00	0.82	1.74	9.33	0.22	11.53	17.24	0.36	97.24
56	49.84	1.19	2.30	10.26	0.26	13.95	19.78	0.48	98.08
57	50.52	1.12	2.18	9.67	0.26	14.70	19.10	0.41	97.95

	BRL2-px	Pýroxen							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NaO	SUM
89	52.22	0.67	1.25	13.86	0.48	13.47	17.19	0.32	99.47
90	50.89	0.74	1.21	13.64	0.45	13.51	17.43	0.31	98.18
91	51.55	0.63	1.09	15.76	0.51	12.59	17.49	0.37	99.99
95	51.48	0.35	0.90	14.16	0.56	11.19	20.96	0.27	99.89
96	48.84	0.27	2.59	16.28	0.61	10.27	17.80	0.85	97.51
97	51.63	0.31	0.87	13.82	0.59	10.63	21.77	0.26	99.87
101	50.72	1.25	2.31	13.07	0.45	13.19	18.52	0.38	99.89
102	50.95	1.22	2.43	12.98	0.38	13.28	18.56	0.38	100.17
103	50.24	1.28	2.47	12.87	0.40	13.18	18.44	0.39	99.27
104	51.01	1.22	2.57	13.31	0.44	13.28	17.90	0.38	100.11
106	52.66	0.03	0.38	14.41	0.83	10.23	21.83	0.07	100.44
107	52.00	0.65	1.26	15.19	0.53	12.74	17.48	0.29	100.16
108	52.43	0.64	1.20	13.17	0.48	12.84	19.58	0.35	100.69
109	51.22	0.76	1.46	13.01	0.43	14.28	17.77	0.31	99.26
110	51.82	0.69	1.33	13.36	0.42	13.61	18.13	0.34	99.69

Tafla 3; Efnagreiningar pýroxena í örgreini.

Vatnsmæling

Frumniðurstöður

gr	Sýni 1	Sýni 2	Sýni 3	Sýni 4	Sýni 5	Sýni 6	Sýni 7	Sýni 8
W_0	20.74252	21.27844	18.89546	19.93835	20.29142	21.14735	20.41354	19.89911
$W_0 + W_s$	21.88079	22.29138	19.94637	21.03715	21.40262	22.22742	21.53154	20.94987
W_{110}	21.87990	22.29001	19.94467	21.03242	21.39970	22.22482	21.53003	20.94861
W_{150}	21.87990	22.29018	19.94465	21.03231	21.39967	22.22465	21.52989	20.94857
W_{200}	21.87948	22.28896	19.94333	21.03124	21.39801	22.22365	21.52870	20.94754
W_{250}	21.87935	22.28787	19.94232	21.03066	21.39736	22.22313	21.52786	20.94675
W_{300}	21.87918	22.28514	19.94059	21.03022	21.39729	22.22308	21.52748	20.94659
W_{350}	21.87901	22.28428	19.93907	21.02974	21.39679	22.22239	21.52630	20.94565
W_{400}	21.87879	22.28249	19.93512	21.02880	21.39514	22.22085	21.52507	20.94463
W_{450}	21.87866	22.28178	19.93365	21.02829	21.39469	22.22037	21.52455	20.94364
W_{500}	21.87813	22.27936	19.92856	21.02653	21.39298	22.21726	21.52207	20.94083
W_{550}	21.87563	22.27652	19.92259	21.02070	21.39090	22.20912	21.51741	20.93547
W_{600}	21.87545	22.27635	19.92199	21.01771	21.39054	22.20650	21.51636	20.93469
W_{650}	21.87525	22.27617	19.92124	21.01545	21.39025	22.20545	21.51518	20.93292
W_{700}	21.87653	22.27702	19.92133	21.01671	21.39101	22.21179	21.51578	20.93284
W_{800}	21.87595	22.27695	19.92095	21.01658	21.39090	22.21187	21.51570	20.93268

Tafla 4 Pyngd á sýnum með deyglu

gr	Sýni 1	Sýni 2	Sýni 3	Sýni 4	Sýni 5	Sýni 6	Sýni 7	Sýni 8
W_s	1.13827	1.01294	1.09464	1.09880	1.11120	1.08007	1.11800	1.05076
W_{110}	1.13738	1.01157	1.04921	1.09407	1.10828	1.07747	1.11649	1.04950
W_{150}	1.13738	1.01174	1.04919	1.09396	1.10825	1.07730	1.11635	1.04946
W_{200}	1.13696	1.01052	1.04787	1.09289	1.10659	1.07630	1.11516	1.04843
W_{250}	1.13683	1.00943	1.04686	1.09231	1.10594	1.07578	1.11432	1.04764
W_{300}	1.13666	1.00670	1.04513	1.09187	1.10587	1.07573	1.11394	1.04748
W_{350}	1.13649	1.00584	1.04361	1.09139	1.10537	1.07504	1.11276	1.04654
W_{400}	1.13627	1.00405	1.03966	1.09045	1.10372	1.07350	1.11153	1.04552
W_{450}	1.13614	1.00334	1.03819	1.08994	1.10327	1.07302	1.11101	1.04453
W_{500}	1.13561	1.00092	1.03310	1.08818	1.10156	1.06991	1.10853	1.04172
W_{550}	1.13311	0.99808	1.02713	1.08235	1.09948	1.06177	1.10387	1.03636
W_{600}	1.13293	0.99791	1.02653	1.07936	1.09912	1.05915	1.10282	1.03558
W_{650}	1.13273	0.99773	1.02578	1.07710	1.09883	1.05810	1.10164	1.03381
W_{700}	1.13401	0.99858	1.02587	1.07836	1.09959	1.06444	1.10224	1.03373
W_{800}	1.13343	0.99851	1.02549	1.07823	1.09948	1.06452	1.10216	1.03357

Tafla 5 Pyngd á sýnum án deyglu

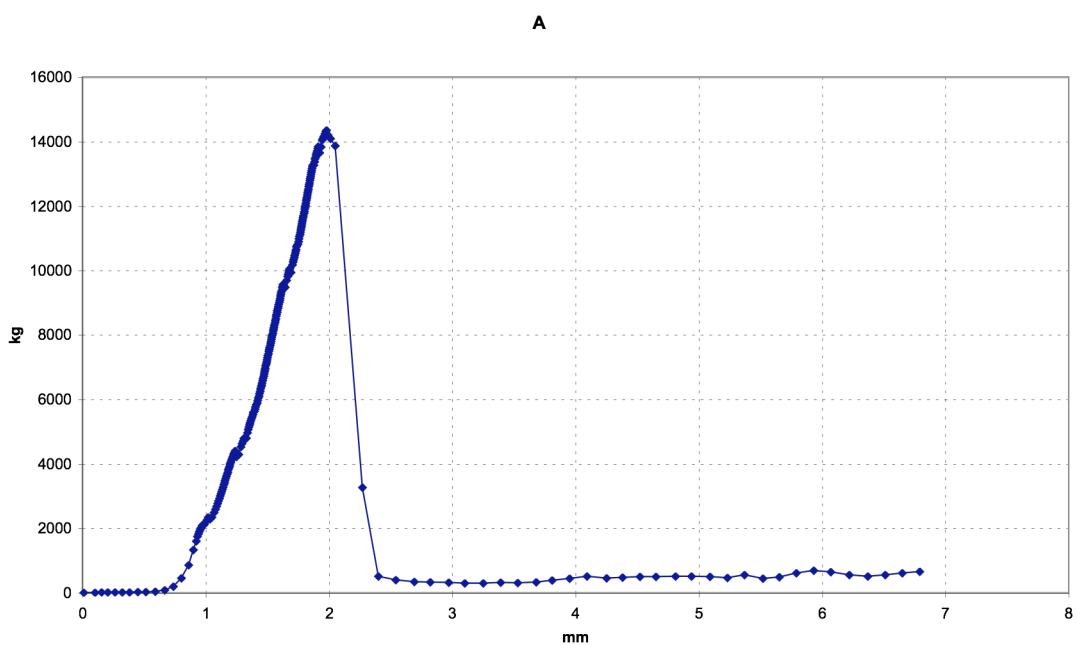
Lokaniðurstöður vatnsmælinga

$^{\circ}\text{C}$	Sýni 1	Sýni 2	Sýni 3	Sýni 4	Sýni 5	Sýni 6	Sýni 7	Sýni 8
20	0.07825	0.13543	0.16203	0.43233	0.26347	0.24131	0.13525	0.12006
110	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0.01681	-0.00191	-0.01005	-0.00271	-0.01578	-0.01254	-0.00381
200	-0.03693	-0.10380	-0.12772	-0.10785	-0.15249	-0.10859	-0.11912	-0.10195
250	-0.04836	-0.21155	-0.22398	-0.16087	-0.21114	-0.15685	-0.19436	-0.17723
300	-0.06330	-0.48143	-0.38886	-0.20108	-0.21745	-0.16149	-0.22839	-0.19247
350	-0.07825	-0.56645	-0.53373	-0.24496	-0.26257	-0.22553	-0.33408	-0.28204
400	-0.09759	-0.74340	-0.91021	-0.33087	-0.41145	-0.36846	-0.44425	-0.37923
450	-0.10902	-0.81359	-1.05031	-0.37749	-0.45205	-0.41300	-0.49082	-0.47356
500	-0.15562	-1.05282	-1.53544	-0.53836	-0.60634	-0.70164	-0.71295	-0.74131
550	-0.37542	-1.33357	-2.10444	-1.07123	-0.79402	-1.45712	-1.13033	-1.25202
600	-0.39125	-1.35038	-2.16163	-1.34452	-0.82651	-1.70028	-1.22437	-1.32635
650	-0.40883	-1.36817	-2.23311	-1.55109	-0.85267	-1.79773	-1.33006	-1.49500
700	-0.29629	-1.28414	-2.22453	-1.43592	-0.78410	-1.20931	-1.27632	-1.50262
800	-0.34729	-1.29106	-2.26075	-1.44780	-0.79402	-1.20189	-1.28349	-1.51787

Tafla 6 Vatnstag á sýnum reiknað í prósentum

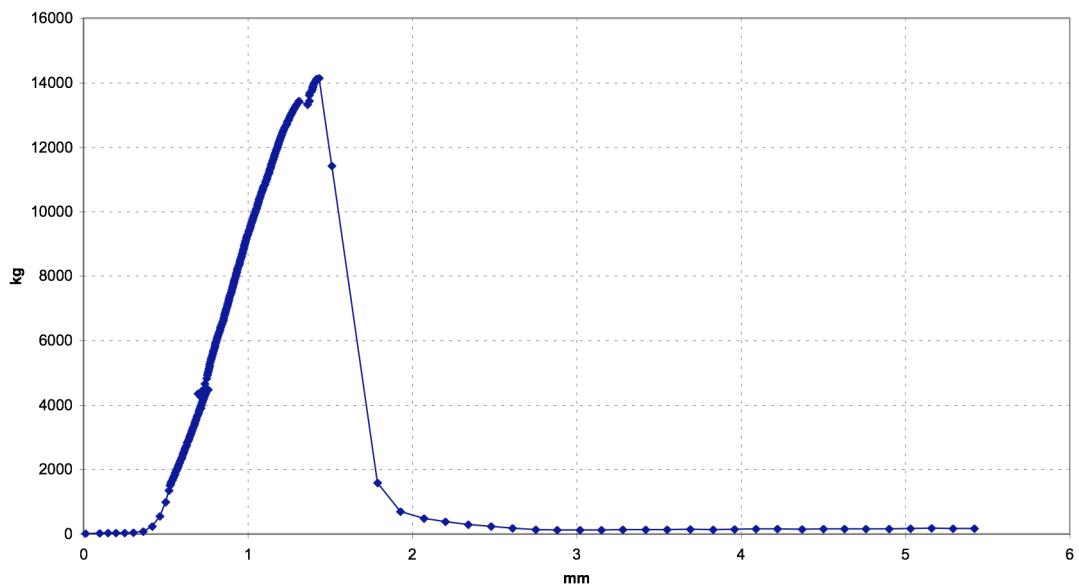
Álagspróf

Niðurstöður í línumriti



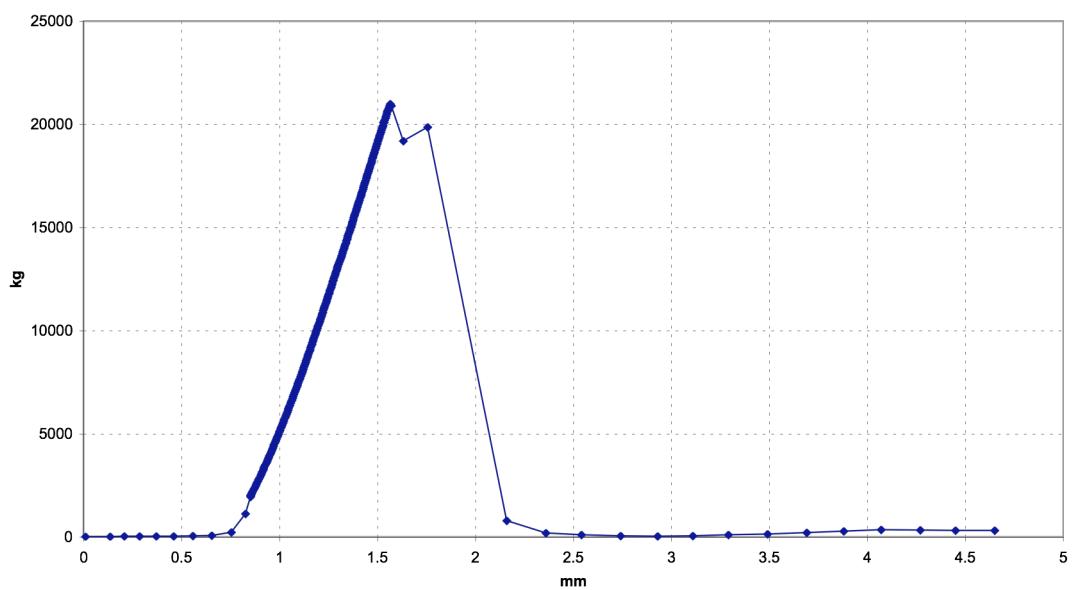
Mynd 25; Niðurstöður úr álagsprófi A.

B



Mynd 26; Niðurstöður úr álagsprófi B.

C



Mynd 27: Niðurstöður úr álagsprófi C.