



## Ummyndun og vökvabóluhiti í borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25 í Kröflu

Margrét Th. Jónsdóttir



Jarðvísindadeild  
Háskóli Íslands  
2014



# Ummyndun og vökvabóluhiti í borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25 í Kröflu

Margrét Th. Jónsdóttir

60 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í jarðfræði

Leiðbeinendur  
Karl Grönvold  
Árný Erla Sveinbjörnsdóttir  
Anette K. Mortensen  
Isor- nú hjá Orkuveitu Reykjavíkur

Prófdómari / Fulltrúi deildar  
Vigdís Harðardóttir  
Isor

Jarðvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, júní 2014

Ummyndun og vökvabóluhiti í borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25 í Kröflu.  
Ummyndun og vökvabóluhiti í jarðhitasvæði Kröflu.  
60 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í jarðfræði

Höfundarréttur © 2014 Margrét Th. Jónsdóttir  
Öll réttindi áskilin

Jarðvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Askja, Sturlugötu 7  
107 Reykjavík

Sími: 525 4600

Skráningarupplýsingar:

Margrét Th. Jónsdóttir, 2014, *Ummyndun og vökvabóluhiti í borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25 í Kröflu*, meistararitgerð, Jarðvísindadeild, Háskóli Íslands, 101 bls.

Prentun: Háskólaprent  
Reykjavík, júní 2014

# Ágrip

Rannsókn þessi snýr að dýpsta hluta jarðhitakerfis Kröflu. Vökvabólugreiningar voru gerðar á sýnum úr þremur borholum til að kanna þróun hitastigs í jarðhitakerfinu og bera það saman við jafnvægishita ummyndunarsteinda og mældan berghita. Mismunandi staðsetning holanna gefur færi á að kanna hvort marktækur hitamunur sé innan jarðhitakerfisins. Svarfgreining í bergfræðismásjá var notuð til að fá heildstæða mynd af jarðlögum svæðisins, meta ummyndun frumsteinda og gerð sprungufyllinga. SEM-EDS myndvinnsla og efnagreiningar voru einnig gerðar til að fá heildstæða mynd af steindasamfélagi svarfsins. Með þessum greiningum má fá nokkuð greinargóðan skilning á ummyndun í neðri hluta jarðhitasvæðiðsins í Kröflu. Unnt er að meta fornt hitastig þess að hluta og þannig hugsanlega að meta hvort svæðið sé að kólna eða hitna.

Frumsteindir sýnanna spanna stórt samsetningarbil sem staðfestir að frumbergið er allt frá frumstæðu þóleiít-basalti að rýólíti og endurspeglar samsetningin alla Kröflubergröðina. Ummyndunarsteindir benda eindregið til að dýptarbilið sem rannsakað var sé að mestu í klórít-epídót-ummyndunarbeltinu en nái einnig niður í epídót-aktínólít-beltið. Vökvabóluhitinn í ummyndunarsteindum Kröflusvæðisins er að miklu leyti yfir núverandi suðuferli vatns og má túlka það annars vegar með innskotavirkni sem veldur útfellingum og vökvabólumyndun við hita yfir suðuferli og hins vegar með hærri þrýstingi vegna jökulfargs. Helsta niðurstaða rannsóknarinnar er því sú að ummyndunarsteindirnar og vökvabólurnar hafa víðast hvar myndast við hærri hita en þann melda borholuhita sem nú er í Kröflukerfinu.



# Abstract

Fluid inclusion studies were implemented to assist in assembling the thermal history of the geothermal area of Krafla. Microthermometric analyses were performed on clear minerals, hand picked from cuttings from three deep wells in the Krafla geothermal field. The results were compared to alteration temperature and formation temperature of the samples. Different location of the boreholes allowed for determination of the temperature differences within the system. Cuttings were analysed in petrographic microscope in order to outline the stratigraphy of the area, evaluate the alteration of primary minerals and the origins of vein fillings. SEM-EDS image analysis and chemical analyses were also used to define the degree of alteration within the system. Together, these analyses give a comprehensive understanding of the alteration in the deeper part of the Krafla geothermal system. These analyses support the evaluation of the early temperature within the Krafla geothermal system and address the question if the system is getting colder or warmer.

Primary minerals of the samples show a wide compositional range that reflects rock composition from primitive tholeiite-basalt to rhyolite resembling the whole Krafla rock suite. Alteration minerals indicate that the samples of this study are mostly within the chlorite-epidote alteration zone although few samples reach into the epidote-actinolite zone. The homogenization temperatures of fluid inclusions in Krafla are generally above the boiling curve of water. This may be explained by intrusions causing mineral precipitation and formation of inclusions at temperatures above the boiling curve of water. The favored explanation is, however, that higher pressure due to glacier load controlled the boiling conditions during inclusion formation. The main result is that the alteration minerals and the fluid inclusions have in most parts been formed at higher temperature than the present formation temperature in Krafla.





*Ég vil tileinka þessa ritgerð manni mínum, Úlfari F. Stefánssyni og sonum mínum þremur,  
Jóni Jökli, Stefáni Arnari og ónefndum.*



# Efnisyfirlit

<b>Myndir</b> .....	<b>x</b>
<b>Tölur</b> .....	<b>xi</b>
<b>Þakir</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1 Inngangur</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Ágrip af jarðfræði Kröflu</b> .....	<b>5</b>
2.1 Uppbygging eldstöðvarinnar .....	5
2.2 Jarðhitaummyndun í Kröflu .....	9
<b>3 Greiningaraðferðir</b> .....	<b>17</b>
3.1 Svarfgreiningar .....	18
3.2 Mælingar á vökvabólum.....	19
<b>4 Ummyndunarrannsóknir</b> .....	<b>21</b>
4.1 SEM-EDS greiningar .....	21
4.1.1 Frumsteindir svarfsýnanna.....	21
4.1.2 Ummyndunarsteindir svarfsýnanna .....	26
<b>5 Vökvabólurannsóknir</b> .....	<b>33</b>
5.1 Borhola KJ-38 .....	33
5.2 Borhola KJ-39 .....	39
5.3 Borhola KG-25 .....	44
<b>6 Umræða og samantekt</b> .....	<b>49</b>
<b>Heimildir</b> .....	<b>51</b>
<b>Viðauki A – Efnagreiningar úr borholu KJ-16</b> .....	<b>55</b>
<b>Viðauki B – Flokkun ummyndunarbelta</b> .....	<b>57</b>
<b>Viðauki C – Stöðlun EDS-greininga</b> .....	<b>59</b>
<b>Viðauki D – Leirgreiningar</b> .....	<b>75</b>
<b>Viðauki E – Heimildalisti</b> .....	<b>77</b>

# Myndir

<i>Mynd 1.1 Staðsetning borhola sem unnið var með í þessu verkefni .....</i>	3
<i>Mynd 2.1 Kísilmagn í borsvarfi úr holum KJ-16, KJ-31 og yfirborðshraunum. ....</i>	7
<i>Mynd 2.2 Jarðhitasvæði Kröflu hefur verið skipt niður í undirsvæði með mismunandi eðliseiginleika.....</i>	8
<i>Mynd 2.3 Ummyndunarbelti í íslensku basalti og tengsl þeirra við bergummyndun og hitastig .....</i>	10
<i>Mynd 2.4 Lítilega breytt mynd frá Hrefnu Kristmannsdóttur (1978) þar sem samband ummyndunarbelta við berghitastig og svæðaummyndunarfés kemur fram.....</i>	11
<i>Mynd 2.5 Austur-vestur ummyndunarsnið um Vítismó og Víti. ....</i>	12
<i>Mynd 2.6 Norður-suður ummyndunarsnið um Víti, Suðurhlíðar og Sandbotnaskarð.....</i>	12
<i>Mynd 2.7 Jarðlagasnið úr borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25 .....</i>	14
<i>Mynd 2.8 Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun.....</i>	15
<i>Mynd 3.1 Uppsetning Linkam THMS600 vökvabólutækis með fljótandi köfnunarefni.....</i>	20
<i>Mynd 4.1 Na-Ca hlutföll plagióklas úr borsvarfi.....</i>	24
<i>Mynd 4.2 Feldspat þríhyrningur sem sýnir samsetningu sýna úr holu KJ-38 holu KJ- 39 og holu KG-25 .....</i>	24
<i>Mynd 4.3 Fe-Mg hlutföll í klínópýroxen úr borsvarfi .....</i>	25
<i>Mynd 4.4 Ca-Mg hlutföll í klínópýroxen úr borsvarfi.....</i>	25
<i>Mynd 4.5 FeTi oxíð úr borsvarfi. ....</i>	26
<i>Mynd 4.6 Séð ofan í vatnsæð í bergbroti þar sem wollastónít er að falla út og fylla æðina .....</i>	32
<i>Mynd 4.7 Sphene (Ca-títanít) myndast í cpx-ágít kristal .....</i>	32
<i>Mynd 5.1 Niðurstöður mælinga á samrunahita úr KJ-38.....</i>	36
<i>Mynd 5.2 Skýringarmynd úr vökvabólumælingum úr holu KJ-38. ....</i>	38
<i>Mynd 5.3 Frostmark í vökvabólum úr holu KJ-38. ....</i>	39
<i>Mynd 5.4 Mælingar á samrunahita í vökvabólum úr borholu KJ-39 .....</i>	41

<i>Mynd 5.5 Ljósmynd af vökvabólum af 2415-2424 m dýpi úr holu KJ-39, sem sýndu engar breytingar við mælingar.</i> .....	42
<i>Mynd 5.6 Skýringarmynd úr vökvabólumælingum úr holu KJ-39</i> .....	43
<i>Mynd 5.7 Yfirlitsmynd af kvarsí úr holu KJ-39 af 2020 m dýpi</i> .....	44
<i>Mynd 5.8 Mælingar á samrunahita í vökvabólum úr holu KG-25</i> .....	45
<i>Mynd 5.9 Skýringarmynd úr vökvabólumælingum úr holu KG-25</i> .....	47
<i>Mynd D.1 Röntgenlínurit (XRD) af leir á 2068 m dýpi í Holu KJ-38</i> .....	75

## Töflur

<i>Tafla 3.1 Sýnatökustaðir</i> .....	17
<i>Tafla 4.1 Niðurstöður SEM/EDS greininga á feldspötum.</i> .....	21
<i>Tafla 4.2 Niðurstöður SEM/EDS greininga á pýroxen.</i> .....	22
<i>Tafla 4.3 Niðurstöður SEM/EDS greininga á oxíðum.</i> .....	23
<i>Tafla 4.4 Niðurstöður SEM/EDS greininga á hydro-anorþít.</i> .....	26
<i>Tafla 4.5 Niðurstöður SEM/EDS greiningar á sphene.</i> .....	27
<i>Tafla 4.6 Niðurstöður SEM/EDS greininga á oxíðum.</i> .....	27
<i>Tafla 4.7 Niðurstöður SEM/EDS greininga á wollastónít.</i> .....	28
<i>Tafla 4.8 Niðurstöður SEM/EDS greininga á andradít.</i> .....	28
<i>Tafla 4.9 Niðurstöður SEM/EDS greininga á leir.</i> .....	28
<i>Tafla 4.10 Niðurstöður SEM/EDS greininga á epídót</i> .....	29
<i>Tafla 4.11 Niðurstöður SEM/EDS greininga á aktínólít.</i> .....	29
<i>Tafla 4.12 Yfirlit yfir steindir úr svarfsýnum.</i> .....	30
<i>Tafla D.13 Efnagreiningar af Klórít-Vermikulít leir</i> .....	76



# Þakkir

Þakkir mínar fá leiðbeinendur mínir fyrir leiðbeinslu og verkstjórn við framkvæmd rannsóknarinnar og yfirlestur ritgerðar.

Ég vil þakka Níels Óskarssyni sérstaklega fyrir góða hjálp og skemmtilegar umræður um námsefnið sem og annað áhugavert efni. Einnig langar mig til að þakka Guðmundi Heiðari fyrir hjálp við hin ýmsu verk, svo sem undirbúning sýna, greiningar í víðsjá og smásjá og ekki síst hjálp við vökvabólutæki.

ÍSOR, jarðhitaklasinn GEORG og Landsvirkjun fá þakkir fyrir að styrkja þetta verkefni.

Að lokum vil ég þakka eiginmanni mínum og drengjum fyrir ómældan stuðning og þolinmæði við vinnslu verkefnisins.





# 1 Inngangur

Kröflusvæðið er eitt mest rannsakaða jarðhitasvæði á Íslandi. Umfangsmiklar rannsóknir hafa farið þar fram síðan fyrirhugað var að nýta svæðið til raforkuframleiðslu í kringum 1969. Fyrstu rannsóknarholurnar voru boraðar árið 1974 og gáfu þær jákvæð merki um nýtanlegan jarðhita á svæðinu og var í kjölfarið hafist handa við borun á vinnsluholum (Kristján Sæmundsson o.fl., 1975). Eldgos hófst á virkjunarsvæði í lok árs 1975 skömmu eftir að framkvæmdir við virkjunina hófust en framkvæmdum var þó haldið áfram og aukinn kraftur var settur í að rannsaka hegðun eldvirkinnar sem gerði jarðvísindamönnum kleift að rannsaka bein áhrif kvikuhreyfinga á jarðhitann. Kröflustöð er jarðgufustöð sem nýtir blöndu af há- og lágþrýstigufu og er framleiðslugeta hennar nú 60 MW<sup>1</sup> en fyrirhugað er að reisa nýja jarðhitavirkjun til viðbótar við núverandi Kröflustöð. Það var fyrst með Kröfluvirkjun sem marktæk reynsla fékkst af virkjun jarðhita til raforkuvinnslu og hefur virkjunin verið fyrirmynd annarrar háhitanýtingar hér á landi síðan (Valgarður Stefánsson, 2009). Margir jarðvísindamenn komu að þessu verki með einhverjum hætti sem leiddi til þess að skilningur á sambandi jarðhita við eldvirkni jókst og hefur sú þekking nýst vel síðan. Fyrstu þrjá áratuginna var markvisst aflað þekkingar við boranir í Kröflu, nýjar mæliaðferðir voru notaðar og tíðni þeirra aukin. Dýpri og aukin þekking á háhita-jarðhita var því mjög hröð á þessum tíma.

Rannsóknir á ummyndunarsteindum í borsvarfi frá háhitasvæðum er viðamikil og vaxandi fræðigrein. Ummyndunarsteindir í megineldstöð myndast á löngum tíma þegar upphleðsla eldstöðvarinnar þekur og fergir yfirborðslögin sem þannig grafast dýpra í eldstöðina. Á hverjum tíma leita ummyndunarsteindir jarðlagastaflans jafnvægis við hitastigul megineldstöðvarinnar þannig að jafnvægisshitastig ummyndunarsteinda og jarðhitavökvans vex með dýpi. Með vaxandi hita og dýpi mynda ummyndunarsteindir jarðhitasvæðanna þau steindafylki sem eru undirstaða frummats á hitastigli svæðanna. Frávikin frá slíkum einfölduðum líkönum um dreifingu ummyndunar eru mörg. Skammvinnir atburðir í sögu eldstöðvar, eins og eldvirknitímabil, geta leitt til fráviks í ummyndunarröð jarðlagastaflans. Einnig má ætla að grunn innskot geti leitt til myndunar á steindafylkjum við hærri hita en dýpi þeirra segir til um, sé miðað við jarðlagastaflann í heild. Steindafylki ummyndunarsteinda eru afleiðing langrar og oft flókinnar ummyndunarsögu, hitakvarði byggður á þessum steindafylkjum hefur því fremur lága upplausn enda steindirnar myndaðar á mislöngum tíma og við mismunandi aðstæður.

Sá þáttur ummyndunar sem ætla má að hafi skemmstan myndunartíma er vökvabólur í ummyndunarsteindum. Ef mögulegt er að greina myndunarhita vökvabólanna í ummyndunarsteindum má meta raunverulegan myndunarhita þeirrar steindar burtséð frá öðrum eiginleikum steindafylkisins. Rannsókn á vökvabólum af mismunandi dýpi gæti þannig endurskapað hitastigul staflans en einnig mætti greina frávik frá reglulegum hitastigli svo sem háan hita vegna innskots. Einnig gætu vökvabólur, sem myndast hafa við lægri hita en hitastigul svæðisins, gefið til kynna að hluti staflans sé óvirkur í ummynduninni. Það væri hægt að skýra með lágri eða hverfandi gegndræpni bergsins.

---

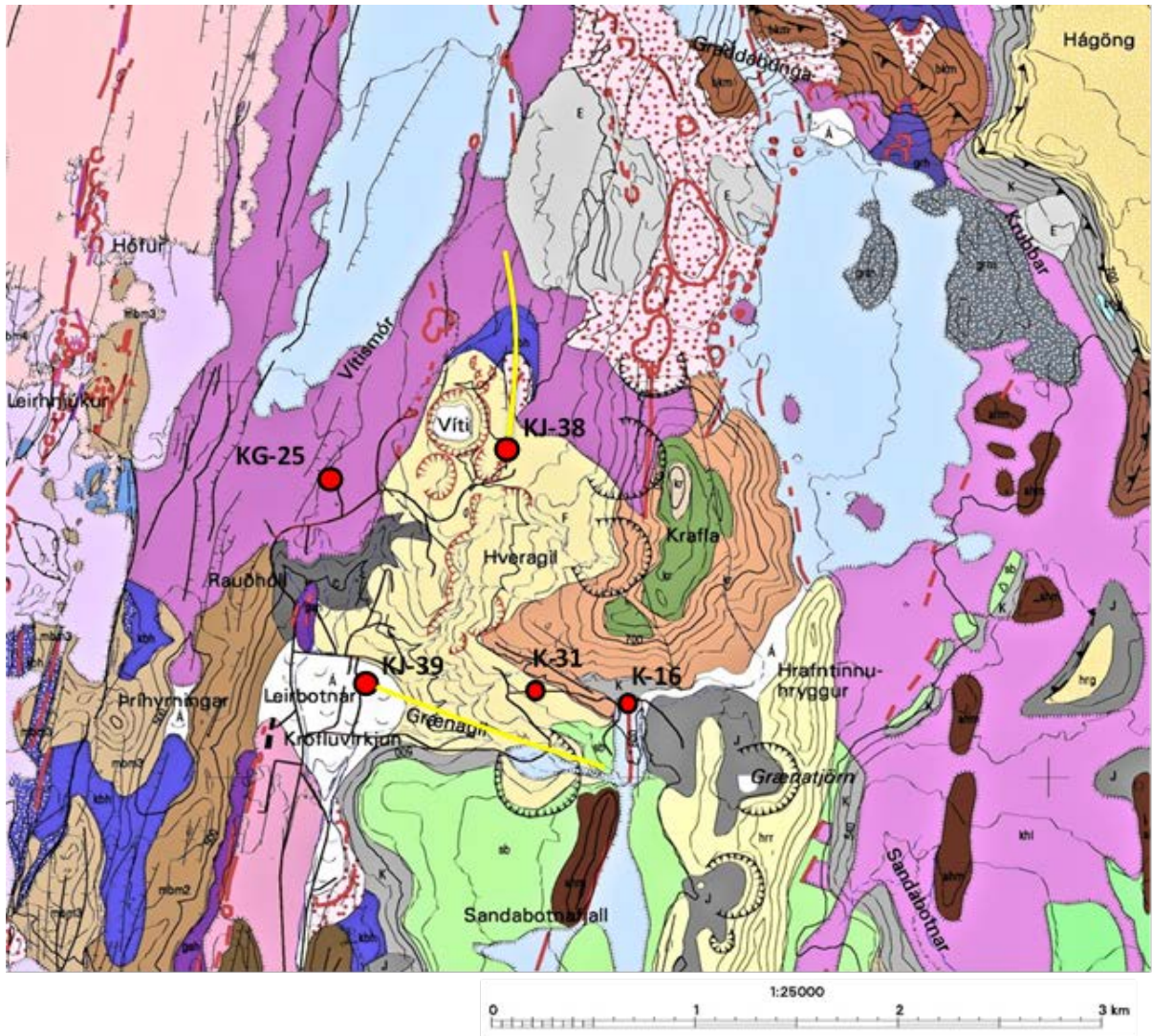
<sup>1</sup> Upplýsingar frá Landsvirkjun: <http://www.landsvirkjun.is/Fyrirtaekid/Aflstodvar/Kroflustod/>

Vökvabólur eru algengar í ummyndunarsteindum, þær eru innlyksur af jarðhitavökva sem lokast hafa inn í steindum. Þær eru oftast örsmáar, einungis nokkrir til tugir míkrómetrar að stærð. Myndun vökvabóla gerist þegar gas eða vökvi verður innlyksa við annað hvort vöxt kristallsins eða eftir að kristalmyndun er lokið, þá til dæmis vegna aflögunar sem leiðir til myndunar sprungna í kristalnum. Prímerar vökvabólur kallast þær bólur sem myndast þegar kristallinn er að vaxa og hjálpa þær til við að lýsa þeim jarðhitaaðstæðum sem ríktu í kerfinu þegar að kristallinn var að vaxa. Vökvabólur sem myndast eftir að kristöllun er lokið eru kallaðar sekúnderar vökvabólur og lýsa þær aðstæðum eftir að kristallinn myndaðist. Vökvabólur endurspeglar þannig það umhverfi sem ríkti þegar að bólurnar urðu innlyksa og geta innihaldið vísbendingar um fornt hitastig, þrýsting og efnasamsetningu jarðhitavökvans (Roedder, 1984; Goldstein og Reynolds, 1994; Hjalti Franzson, 2000).

Megináhersla þessarar rannsóknar er á dýpsta hluta jarðhitakerfisins í Kröflu. Þrjár borholur voru sérstaklega rannsakaðar til að kanna þróun hitastigs í jarðhitakerfinu og bera það saman við jafnvægishita ummyndunarsteinda og áætlaðan berghita út frá hitamælingum í borholum. Þær borholur sem voru rannsakaðar eru KJ-38, KJ-39 og KG-25. Þessar holur eru á mismunandi stöðum innan öskjunnar eins og sjá má á Mynd 1.1 og gefa þær því færi á að kanna hvort marktækur hitamunur sé innan kerfisins. Rannsóknin byggir á svarfsýnum sem safnað var meðan á borverkinu stóð.

Vökvabólugreiningar voru gerðar á 33 kristöllum úr þessum þremur holum og samrunahiti mældur í samtals 528 vökvabólum. Greiningar svarfs í bergfræðismásjá voru notaðar til að fá betri mynd af jarðlögum svæðisins í kringum sýnatökustaði og meta ummyndun á frumsteindum og gerð sprungufyllinga. SEM-EDS efnagreiningar voru einnig gerðar til að fá heildstæða mynd af steindasamfélagi svarfsins. Dýptarsvið sýna til vökvabólurannsóknar var valið með hliðsjón af svarfgreiningum og jarðlagagerð, þar sem sérstaklega var leitað eftir sýnum í nálægð við vatnsæðar þar sem gera má ráð fyrir að ummyndun sé mikil. Auk þessara greininga var gerð auðveld sýruprófun á svarfsýnum til að meta tilvist eða magn kalsíts og farið var yfir leirgreiningar sem Landsvirkjun hafði látið gera á völdum stöðum úr holunum.

Þessi ritgerð fjallar um frumsteindir, ummyndunarsteindir en einkum vökvabólurannsóknir frá 1800 metra dýpi í áðurnefndum borholum í Kröflu. Fyrst er fjallað almennt um jarðfræði Kröflusvæðisins, en í Viðauka E er ritlisti yfir jarð- og jarðeðlisfræðilegar rannsóknir á Kröflusvæðinu. Næst er fjallað um greiningaraðferðir og síðan breytileika í frumsteindagerð borsvarfsins ásamt efnasamsetningu ummyndunarsteindanna í þeim tilgangi að skilgreina ummyndunarbeltin í borholunum. Í kafla fimm eru niðurstöður á samrunahita í vökvabólum hveurrar holu skráðar og frumtúlkaðar. Í sama kafla eru settar fram myndir af niðurstöðum greininganna þar sem glögglega kemur fram að kerfið man eftir fleiri en einum atburði í sögu sinni. Í lokin eru helstu niðurstöður verkefnisins dregnar saman og túlkaðar.



Mynd 1.1 Staðsetning borhola sem unnið var með í þessu verkefni og borstefna þeirra, sett inn á jarðfræðikort af Kröflu. Mismunandi litir merkja misgömul hraun og jarðlagagerðir. Fjólublár (khh): Kröfluhálshraun, Ljósblár (hle): Hólseldahraun, Dökkfjólublár(kbh): Kleprahraun, Ljós gulur (F): Úrkast úr sprengigígum, Ljós gulur (hrr): Líparíthryggir, Hvítur: Hraun undir seti, Dökkgrár (c): Vatnahjallar, Ljósgrár (K): Fjallskriður, Grár (J): Jökulruðningur, Grænn (Kr): Krafla, hraunlög, Ljósbrúnn (Kr): Krafla, móberg, Ljós fjólublár (khl): Hraunlap á austursvæði, Bleikur (te): Kröflueldahraun. Kortið er frá Kristjáni Sæmundssyni (2008).

Með þessum greiningum má fá nokkuð dýpri skilning á ummyndun í neðri hluta jarðhitasvæðisins í Kröflu. Mögulegt er að meta fornt hitastig þess að hluta og þannig meta mögulega hitabreytingu á svæðinu. Niðurstöður þessa verkefnis mætti einnig nota sem grunn til frekari rannsókna á Kröflusvæðinu. Til dæmis væri áhugavert að nota vökvabólugreiningar til að auka skilning á ummyndunaráhrifum frá súrum innskotum neðarlega í borholunum.

Þessi ritgerð er afkrakstur rannsókna sem gerðar voru í samstarfi við ÍSOR, Háskóla Íslands og Landsvirkjun. Verkefnið var styrkt af jarðhitaklasanum GEORG og Landsvirkjun.



## 2 Ágrip af jarðfræði Kröflu

### 2.1 Uppbygging eldstöðvarinnar

Mikið er til af upplýsingum um jarðfræði Kröflu. Svæðið er þekkt fyrir ýmiss náttúrufrýrbæri sem hafa laðað að sér ófáa náttúruunnendur og vísindamenn sem hafa margir hverjir gefið athuganir sínar út á prenti. Í Viðauka E er að finna ítarlega heimildaskrá um Kröflurannsóknir en hér er þó einkum dvalið við rannsóknir sem tengjast nýtingu svæðisins til raforkuvinnslu. Orkustofnun hefur unnið að ýmsum rannsóknum á Kröflusvæðinu frá því fyrir 1950, til dæmis vegna virkjana í Laxá og Jökulsá á Fjöllum og vegna brennisteinsvinnslu í Námafjalli. Um 1970 hófust rannsóknir á vegum stofnunarinnar vegna áforma um nýtingu svæðisins til raforkuframleiðslu. Árið 1969 fóru jarðfræðingarnir Kristján Sæmundsson og Karl Grönvold í könnunarferð um Kröflusvæði og nágrennið í kring til þess meðal annars að kanna útbreiðslu á jarðhita og ummyndunar á svæðinu. Tiltölulega stutt er á milli háhitasvæðanna í Kröflu og Námafjalli en þau tilheyra sama eldstöðvakerfi og þótti því ástæða til að kanna það svæði vel strax í upphafi (Guðmundur Guðmundsson o.fl., 1971).

Á norðurgosbelti landsins, sem teygir sig frá Vatnajökli út í Öxarfjörð, er að finna fimm eldstöðvakerfi. Á síðustu þremur öldum hefur mest borið á eldvirkni í fjórum þeirra. Eitt þessara virku eldstöðvakerfa er megineldstöðin Krafla og sprungusveimur í tengslum við hana. Eldstöðvakerfið nær frá svæðinu vestan Bláfjalls í suðri til Öxarfjarðar í norðri og er í heild um 100 km langt. Megineldstöðin sjálf er um 21 km löng og 17 km breið. Í henni miðri er 8-10 km víð sporöskjulöguð askja sem er talin hafa myndast í kjölfar mikils þeytigoss fyrir um 100.000 árum. Askjan er umlukin ísúru gjóskubergslagi sem er tengt við myndun öskjunnar (Kristján Sæmundsson, 1991; Calderone o.fl. 1990). Kröflueldstöðin er þróuð megineldstöð því ásamt öskjunni er þar að finna bæði súrt berg og jarðhita (Kristján Jónasson, 1994; Calderone o.fl., 1990).

Ástæða þess að askjan er sporöskjulaga með langás í austur-vestur er talin vera gliðnun jarðskorpunnar um flekaskilin sem liggja um öskjuna (Kristján Sæmundsson, 1991). Í gegnum megineldstöðina liggur um 90 km langur sprungusveimur, hann er 5-8 km breiður og hefur meginstefnuna N10°A. Sprungusveimurinn skiptist í vestur- og austurhluta sem hafa báðir verið virkir á nútíma. Vesturreinin liggur yfir vestanverða öskjuna og er um 3 km breið sigdæld sem virðist vera nátengd vestara kvikuhólfinu en austurreinin liggur yfir miðja öskjuna og austurhluta hennar. Innan austurreinarinnar er hin eiginlega miðrein sprungusveimsins, en hún er 1,5-2 km breið og tengist virknin á undanförunum öldum þeirri rein (Kristján Sæmundsson, 1991). Gosprungur er helst að finna á svæðinu milli Hverfjalls og Hrutáfjalls þó mesta gosvirknin sé í Kröfluöskjunni og við Námafjall. Vitað er að eldsumbrot verða í gliðnunarhrinum á nokkur hundruð ára fresti og hefur hver umbrotahrina staðið yfir í 10-20 ár. Kröflueldar stóðu yfir frá 1975 til 1984 og Mývatnseldar 1724-1729 voru um 250 árum fyrr.

Öskjuveggirnir rísa nú lítið sem ekkert yfir umhverfi sitt vegna þess að askjan hefur að mestu fyllst af gosefnum og veggirnir rofnað. Í tengslum við öskjurimann er kerfi af

sveigsprungum (misgengjum, göngum og gossprungum) sem gosið hafa bæði basalti og líparíti. Sveiglaga gossprungur sem koma fyrir norðaustan til í öskjunni gætu verið yfirborðsmerki um keiluganga úr grunnstæðu kvikuhólfi en innan öskjunnar er stórt jarðhitasvæði sem er heitast austan við miðju en kaldara við jaðrana (Kristján Sæmundsson, 1991).

Frá því að boranir hófust í Kröflu hefur berggerð og ummyndun verið greind kerfisbundið í svarfsýnum og út frá þeim rannsóknum hefur þróast líkan af jarðlagastaflanum. Berggrunni svæðisins hefur verið skipt upp í þrjár meginmyndanir: Móbergsmyndun, basaltmyndun og innskotsmyndun úr basísku og súru bergi (Valgarður Stefánsson, 1981; Halldór Ármannsson o.fl. 1987; Kristján Sæmundsson, 1991; Anette K. Mortensen o.fl., 2009). Jarðlög á Kröflusvæðinu hafa hlaðist upp á síðustu 200.000 árum, á allra síðustu skeiðum ísaldar og á nútíma. Á jökulskeiðum hlóðust upp móbergsstaflar en á hlýskeiðum runnu hraun. Hægt er að greina ummerki frá tveimur meginhlýskeiðum og tveimur meginjökulskeiðum innan jarðlagastaflans. Elstu jarðlögin er að finna við Eilífsvötn og eru þau að mestu túffkennt móberg, en þar sunnan við liggja hraunlög ofan á móberginu. Halli laganna er til austurs út frá Kröflusvæðinu (Kristján Sæmundsson, 1991). Þunnar breiður af hraunlögum einkenna berggrunninn í suðvestur-hluta Kröfluhálendisins.

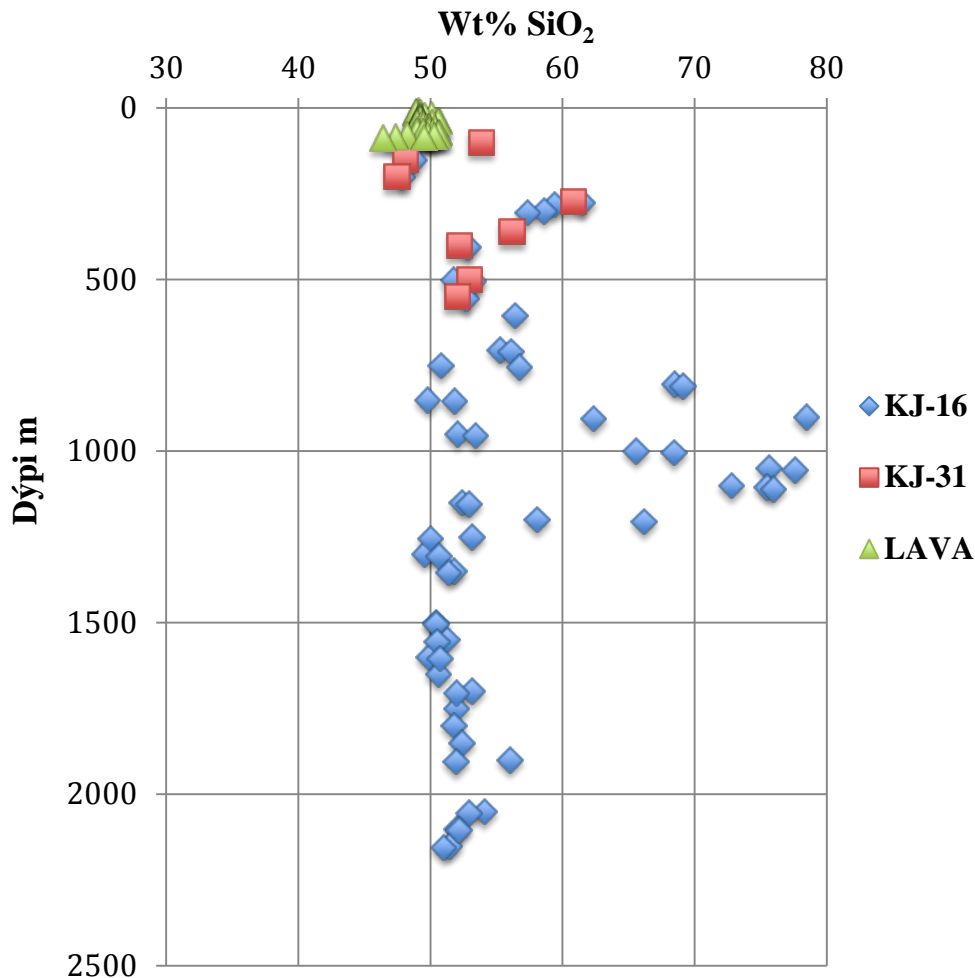
Bergsamsetning Kröflu er þrískipt (Nicholson, 1990; Kristján Jónasson, 1994): Þróað basalt (kvars-þóleiít) gýs innan öskjunnar ásamt smáræði af líparíti en utan hennar liggur eldstöðin á ólivín-þóleiítgrunni. Í kringum öskjuna rísa líparítfjöll, en það súra berg er nokkuð einsleitt. Súr smágos eins og Hrafninnuhryggur og Vítisgosið í upphafi Mývatnselda árið 1724 er að finna innan við öskjubarminn. Þessar þrjár berggerðir dreifast því þannig að innan öskjunnar er helst að finna þróað basalt og líparít en ólivín-þóleiít utan megineldstöðvarinnar og undir upphleðslu hennar.

Um 200-400 m þykk syrpa af súrum innskotum er áberandi á um 1000-1400 m dýpi (m.v. yfirborð) undir Suðurhlíðum, en þar fyrir neðan taka við gabbró innskot. Súr innskot eru ekki eins áberandi vestan við Hveragil og fyrir austan í Suðurhlíðum. Í Leirbotnum og í Vítismó koma fyrir þunn, súr innskot á mismiklu dýpi. Í tvígang hefur verið borað niður á súra kviku í Kröflu, í holu KJ-39 í Suðurhlíðum og í djúpborunarholunni (IDDP-01) í Vítismó, en það bendir til þess að súr kvika getur einnig komið fyrir grunnt í jarðlagastaflanum (Anette K. Mortensen o fl., 2009).

Talið hefur verið að súra kvikan í Kröflu myndist við hlutbræðslu úr vötnuðu basalti og nái að sameinast í misstórar kvikueiningar (Kristján Jónasson, 1994). Þær stærstu samsvara líparítfjöllunum umhverfis öskjuna en minni einingar koma einnig fyrir eins og til dæmis Hrafninnuhryggur. Sennilegt er að smæstu kvikueiningarnar, eins og Vítisgosið, nái oftast ekki yfirborði en geti myndað fjölda smárra innskota. Athyglisvert í þessu sambandi eru blönduð hraun við Hvannstöð (Kristján Jónasson, 1994) þar sem líparítkvika hefur blandast í basaltkviku á uppleið.

Á Mynd 2.1 er kísilmagn borsvarfs úr holu KJ-16 (bláir tíglar), holu KJ-31 (rauðir ferningar) og úr yfirborðshraunum úr Kröflueldum (grænir þríhyrningar) sýnt sem fall af dýpi (Níels Óskarsson o.fl., 2007). Í Viðauka A má sjá töflu með efnagreiningum úr holu KJ-16 þar sem nánast allt samsetningarbil borsvarfsins kemur fram. Borholur KJ-16 og KJ-31 eru úr Suðurhlíðum og eru ekki einkennandi fyrir allar holur í Kröflu en þær gefa engu að síður glögga mynd af upphleðslu eldstöðvarinnar. Einkennandi er að súrt berg er algengast milli 500 og 1500 m dýpis en þar fyrir neðan er samsetningin að mestu basalt.

Skiptingin bendir til þess að basísku jarðlögin hafi myndast áður en upphleðsla súra bergsins hófst að marki. Þessi niðurstaða merkir að ummyndunarumhverfi í Kröfluöskjunnni er ákaflega mismunandi, samsetning frumbergisins er breytileg og þá sér í lagi efst í öskjufyllingunni. Upphafsefni ummyndaða bergsins í borholum Kröflu er því aðallega þróað basalt með dreif af líparíti í efri hluta sniðsins en þóleíit með innskotsbergi af misþróuðu basalti og líparíti neðst í sniðinu.



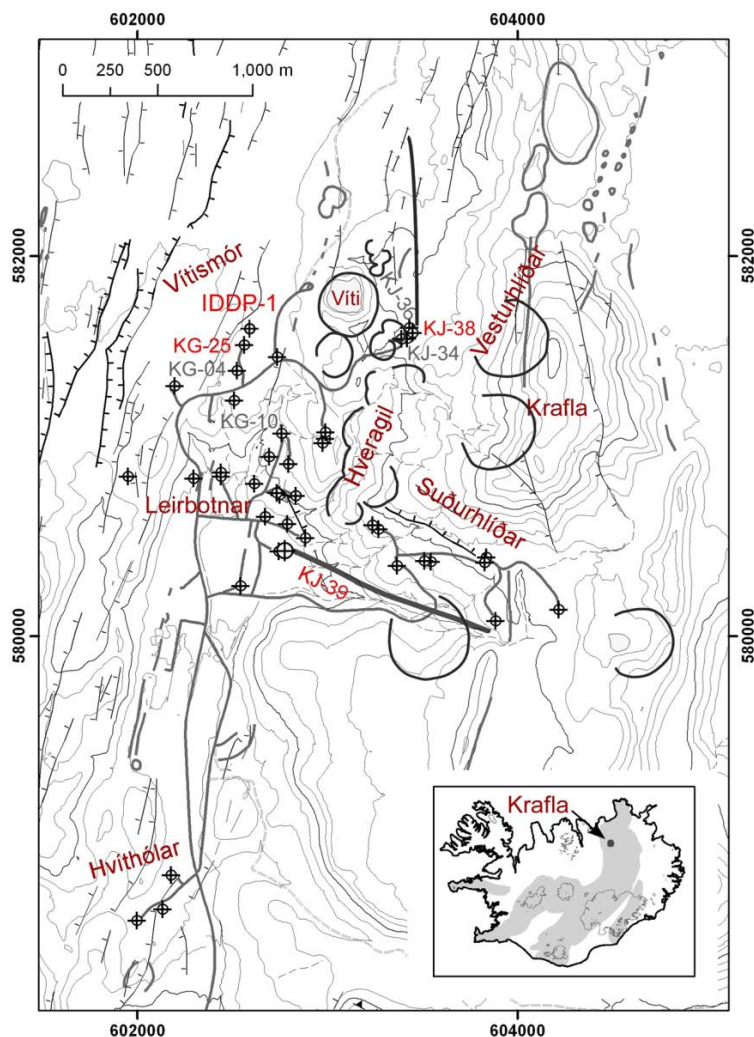
Mynd 2.1 Kísilmagn í borsvarfi úr holum KJ-16 (bláir tíglar) og KJ-31 (rauðir ferningar) og úr yfirborðshraunum úr Kröflueldum (grænir þríhyrningar). Þróað berg verður algengast milli 500-1500 m dýpis (Niels Óskarsson, 2007).

Góða samantekt um jarðlög, ummyndun og vatnsæðar í borholum Kröflu má finna í ritinu Jarðhitakerfið í Kröflu (Anette K. Mortensen o.fl., 2009) og ítarlegri upplýsingar má finna í áfangaskýrslum holanna sem listaðar eru í flokknum um borskýrslur frá Orkustofnun, Ísor og Landsvirkjun í Viðauka E.

Jarðhita- og eldvirknisvæði Kröflu hefur lengi verið þekkt og er vel rannsakað. Dreifingu jarðhitans á Kröflusvæðinu má að stærstum hluta skýra með staðbundinni innskotavirkni sem á síðustu árhúsundum hefur verið mest undir mið- og austurhluta jarðhitasvæðisins (Páll Einarsson, 1978). Uppstreymi kviku frá grunnstæðu kvikuhólfi er líkleg orsök þessarar innskotsvirkni og með tímanum varð til innskotsmassi sem víkkaði út í samræmi

við rekhraða og rekstefnu. Lögun jarðhitasvæðisins og dvínandi virkni þess austast og vestast á svæðinu væri hægt að skýra með þessum hætti. Staðbundin jarðhitavirkni er einnig við öskjujaðrana að vestan og sunnan. Hún tengist líklegast öskjubrotunum og innskotum sem halda jarðhitakerfinu við (Kristján Sæmundsson og Júlíus Sólnes, 2013).

Jarðhitasvæði Kröflu er flókið og hefur því verið skipt niður í undirsvæði með mismunandi eðliseiginleika, byggt á yfirborðsvirkni og eiginleikum borholuvökva (Halldór Ármannsson, 2010; Halldór Ármannsson o.fl., 2013; Anette K. Mortensen o.fl., 2009). Undirsvæðin eru Leirbotnar, Suðurhlíðar, Vesturhlíðar, Sandabotnar, Hvíthólar, Vestursvæði og Leirhnjúkur. Holar KJ-38, KJ-39 og KG-25 sem unnið var með í þessari rannsókn voru boraðar í Leirbotnakerfið (Vítismór), Vesturhlíðar og í Suðurhlíðar (Mynd 2.2). Jarðhitakerfið við Leirbotna einkennist af efra og neðra kerfi með mismunandi eiginleika. Efra kerfið er um 190-220°C niður á um 1000-1400 m dýpi en þar fyrir neðan fylgir hitinn suðumarksferli vatns. Jarðhitakerfið í Suðurhlíðum fylgir suðumarksferli vatns frá yfirborði og niður (Halldór Ármannsson o.fl., 2013).



Mynd 2.2 Jarðhitasvæði Kröflu hefur verið skipt niður í undirsvæði með mismunandi eðliseiginleika. Á kortið hafa undirsvæðin verið merkt inn ásamt þeim borholum sem unnið var með í þessari rannsókn.



## 2.2 Jarðhitaummyndun í Kröflu

Megineinkennin í höggunarmynstri Kröflu eru askjan og sprungusveimarnir sem kljúfa eldstöðina. Hitastigull eldstöðvarinnar fyrir myndun öskjunnar hefur líklega stjórnast af mikilli upphleðslu um miðhluta hennar sem marka má af myndun líparítfjallanna umhverfis öskjuna á síðasta jökulskeiði (Kristján Jónasson, 1994). Sé gert ráð fyrir um 1 km þykkum ís yfir eldstöðinni má jafnframt ætla að hitastigull efstu jarðlaganna hafi víða náð suðuferli vatns um 1 km ofar en á nútíma. Svipaðar skýringar hafa til dæmis komið fram fyrir Ölkelduháls (Benedikt Steingrímsson o.fl., 1997) og Reykjanesið (Marks o.fl., 2010). Öskjumyndunin og fylling öskjunnar hefur óhjákvæmilega valdið röskun á þeirri dýptarröð ummyndunarsteinda sem var í eldstöðinni á síðasta jökulskeiði. Sé gert ráð fyrir um 300 m landsigi (Guðmundur Guðmundsson o.fl., 1971) í öskjunni hefur það einnig valdið sökki ummyndunarsteinda, sem síðar hafa grafist undir köldu móbergi í öskjufyllingunni.

Líklegt er að núverandi hitastigull í jarðhitasvæði Kröflu hafi mótast af afstöðu til sprungusveimakerfisins á nútíma, þar sem virki sprungusveimurinn um Leirhnjúk er niðurfleðissvæði með tiltölulega lágan hita í efstu jarðlögum en Kröflufjall á eystri sprungusveimnum einkennist af hverasvæðum. Hverasvæði er yfirborð á sniði þar sem hitastigið fylgir suðuferli vatns (Guðmundur Guðmundsson o.fl., 1971). Sé gert ráð fyrir að hverasvæði sé virkt um þúsundir ára er líklegt að hvert hverasvæði myndi ummyndunarsnið í hitastigli sem fylgir suðuferli vatns. Svarfgreiningar úr borskýrslum af svæðinu sýna að hluti jarðlagasniðanna, í mismunandi borholum, er breytilegur hvað varðar ummyndunarsteindir og mælt hitastig en þeir þættir fara mest eftir afstöðu til virkra gangasveima og sögu hverasvæðanna. Þar sem um 20 kulnuð hverasvæði eru þekkt innan Kröfluöskjunnar (Guðmundur Guðmundsson o.fl., 1971) og bergið er bæði basalt og líparít má gera ráð fyrir því að fjölbreytileiki í ummyndun sé þar með mesta móti.

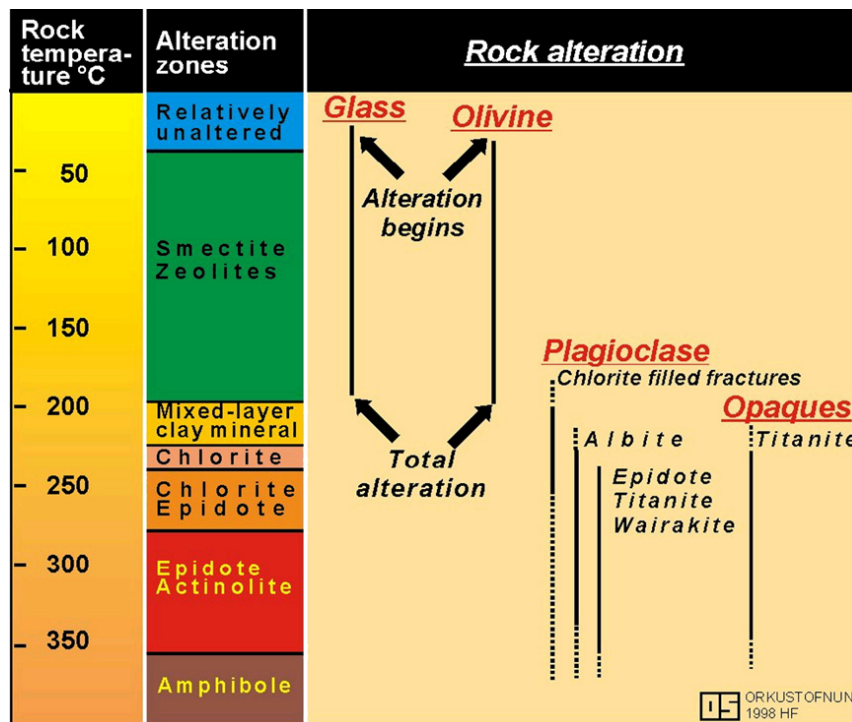
Í neðri hluta borholusniðanna er því líklegt að mjög mismunandi fylki ummyndunarsteinda finnist í berglögum milli innskota. Berglögin eiga langa ummyndunarsögu, allt frá þeim tíma að þau voru á yfirborði eldstöðvarinnar og þar til þau grófust undir jökli við háan hitastigul og síðar aðlögun að hitastigli á nútíma. Í dýpsta hluta borholanna í Kröflu má því búast við ummyndunarsteindum og vökvabólum sem mynduðust við bæði lægri og hærri hita en núverandi hitastigull segir til um.

Ummyndunarsteindir sem gefa til kynna lægra hitastig en á nútíma væru þá hugsanlega úr niðurgrofnun, þéttum berglögum sem ekki náðu jafnvægi vegna ógegndræpni. Ummyndunarsteindir sem gefa til kynna hærri hitastigul en á nútíma gætu verið frá tíma jökulfargsins þegar suðuferill vatnsins lá við herra hitastig.

Yfir þetta flókna mynstur leggjast síðan áhrif grunnra innskota sem á hverjum tíma geta leitt til staðbundinnar ummyndunar við hitastig yfir suðuferli vatns (Marks o.fl., 2011).

Niðurbrot frumsteinda í ummyndun hefst við veðrun á yfirborði og eykst síðan með dýpi, auknu hitastigi og lekt. Frumsteindirnar komast úr jafnvægi við breyttar aðstæður og efnahvörf geta átt sér stað milli jarðhitavökvans og bergsins. Í efri hluta berglaganna eru meiri líkur á að ummyndunarsteindir falli út í holrými bergsins án þess að mikið sjái á frumsteindum þess. Neðar í staflanum leysast frumsteindir bergsins auðveldar upp og áður myndaðar ummyndunarsteindir og nýjar ummyndunarsteindir koma í staðinn.

Frumsteindirnar brotna þannig niður og mynda ummyndunarsteindir sem endurspegla það hitastig sem var ríkjandi í jarðhitakerfinu þegar þær mynduðust (Mynd 2.3).



Mynd 2.3 Ummyndunarbelti í íslensku basalti og tengsl þeirra við bergummyndun og hitastig (Hjalti Franzson o.fl., 2008).

Ummyndun í gangbergi og innskotum er einfaldari að gerð en ummyndun jarðlagastafans. Háhituummyndun á innskotabergi getur átt sér stað án nokkurrar fyrri ummyndunarsögu þar sem ummyndunarsteindirnar myndast úr frumsteindum innskotsins og uppleystum efnum jarðhitavökvans í því ummyndunarbelti sem umlykur innskotið. Algengt er að sjá frumsteindir djúpbergs ummyndast í tiltölulega einsleitt fylki ummyndunarsteinda (Snæbjörn Guðmundsson, 2009).

Mismunandi ummyndunarsteindir eru stöðugar við mismunandi aðstæður í jarðhitakerfinu. Niðurstöður rannsókna sem gerðar hafa verið á ummynduðu bergi á háhitasvæðum á Íslandi hafa sýnt að nokkrar ummyndunarsteindir myndast aðeins á ákveðnu hitastigsbili og eru þær notaðar sem einskonar einkennissteindir fyrir tiltekið hitastigsbil (Hrefna Kristmannsdóttir, 1979; Hjalti Franzson, 1998).

Beltaskipting í ummyndun á háhitasvæðum hefur aðallega verið byggð á breytingum í leirsteindagerðum. Margar algengar ummyndunarsteindir eru stöðugar yfir stórt hitastigsbil, eins og til dæmis kvars og kalsít, en aðrar er ekki hægt að tengja beint við hitastig (Hrefna Kristmannsdóttir, 1978).

Á Mynd 2.4 er dregin upp einfölduð mynd af sambandi ummyndunarbelta við berghitastig á háhitasvæðum á Íslandi eins og þau eru skilgreind af Hrefnu Kristmannsdóttur (1978) en frekari skýringar á ummyndunarbeltunum má finna í Viðauka B. Á Mynd 2.4 er einnig merkt inn það dýptarbil sem þessi rannsókn tekur til.

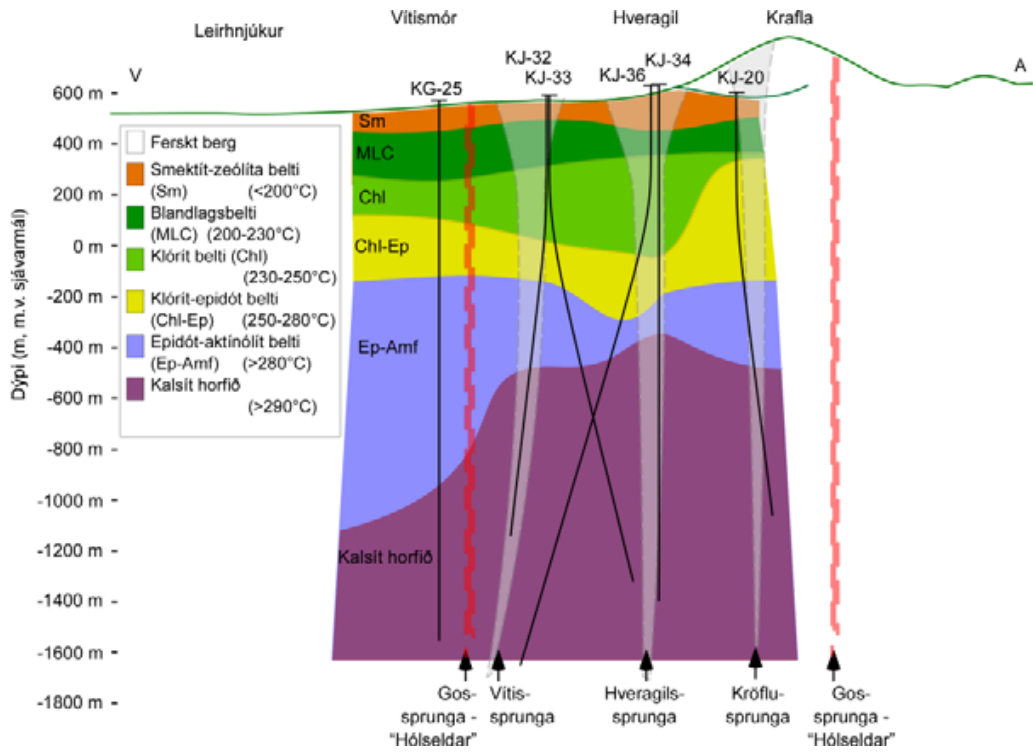
Berghitastig °C	Ummyndunar-belti	Einkennis-steindir	Breytingar á steindum og steindaflokkum	Fés í svæðaummyndun
50	a I b	Smektít Zeolítar	Lághita-zeolít og smektít myndast	ZEOLÍTA FÉS
100			Lághita-zeolít → laumontít	
150			Millilög hafa myndast í smektíti	
200			Laumontít → wairakít Smektít → blandlagsleirsteindir	
250	II	Blandlags-leirsteindir	Blandlagsleirsteindir → klórít Epídót myndast samfellt	GRÆNSKÍFU FÉS
300	III	Klórít Epídót	Aktinólít myndast Albítisering algeng í plagióklas	
	IV	Klórít/epídót Aktinólít		

Mynd 2.4 Lítlega breytt mynd frá Hrefnu Kristmannsdóttur (1978) þar sem samband ummyndunarbelta við berghitastig og svæðaummyndunarfés kemur fram. Skyggt svæði sýnir það dýptarbil sem þessi rannsókn tekur til.

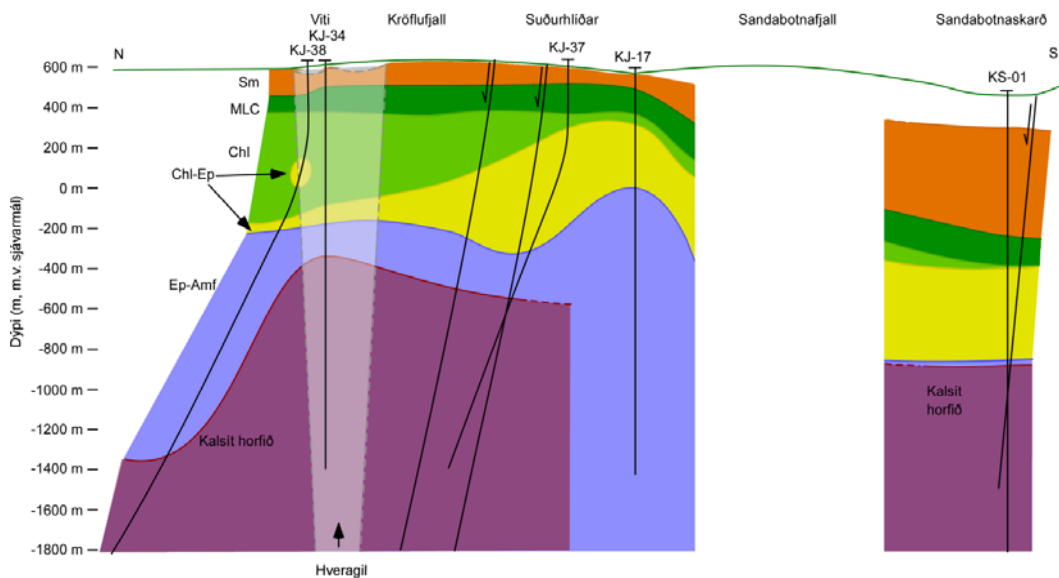
Í Kröflu hefur ummyndun verið kortlögð með dýpi út frá svarf-, þunnsneiða- og XRD-greiningum. Dæmi um einfölduð ummyndunarsnið byggð á rannsóknum á nýjustu borholunum má sjá á Mynd 2.5 og Mynd 2.6 (Anette K. Mortensen o.fl., 2009).

Við Hveragil eru skil í ummynduninni. Grunnt er niður á háhitaummyndun undir Suðurhlíðum, austan við Hveragil. Aukning á ummyndun er þar mjög hröð og komið er niður á klórít-epídót beltíð á 200-300 m dýpi m.v. sjávarmál. Vestan við Hveragil, í Leirbotnum, er grunnt á zeólíta-smektít og blandlagsbeltíð en þar fyrir neðan eykst ummyndunarstigið ekki eins hratt með dýpi. Í Leirbotnum og Vítismó eru skýr merki um kælingu sem ekki gætir í Suðurhlíðum. Norðar í kerfinu, hjá Víti, er dreifing ummyndunarsteinda álíka austan- og vestanmegin við Hveragil. Þessi háa ummyndun, á 200-300 m dýpi, í Suðurhlíðum, Leirbotnum og Vítismó bendir til að berghitinn hafi áður verið yfir núverandi suðumarksferli og er það mögulega merki um fyrra ástand í jarðhitakerfinu, til dæmis þegar að jökull lá yfir kerfinu (Anette K. Mortensen o.fl., 2009).

Í Hvíthólum er grunnt á háhitaummyndun og í Sandbotnaskarði eykst ummyndun jafnt og þétt með dýpi. Á Vestursvæðinu hefur komið í ljós mikil kólnun og ummyndunin gefur í skyn að svæðið hafi einkenst af hræringu, líklega vegna jarðhníks sem hefur greitt fyrir flæði af köldu vatni inn í jarðhitakerfið (Anette K. Mortensen o.fl., 2009).



Mynd 2.5 Austur-vestur ummyndunarsnið um Vítismó og Víti. Holu KG-25 má sjá á mynd (Anette K. Mortensen o.fl., 2009).



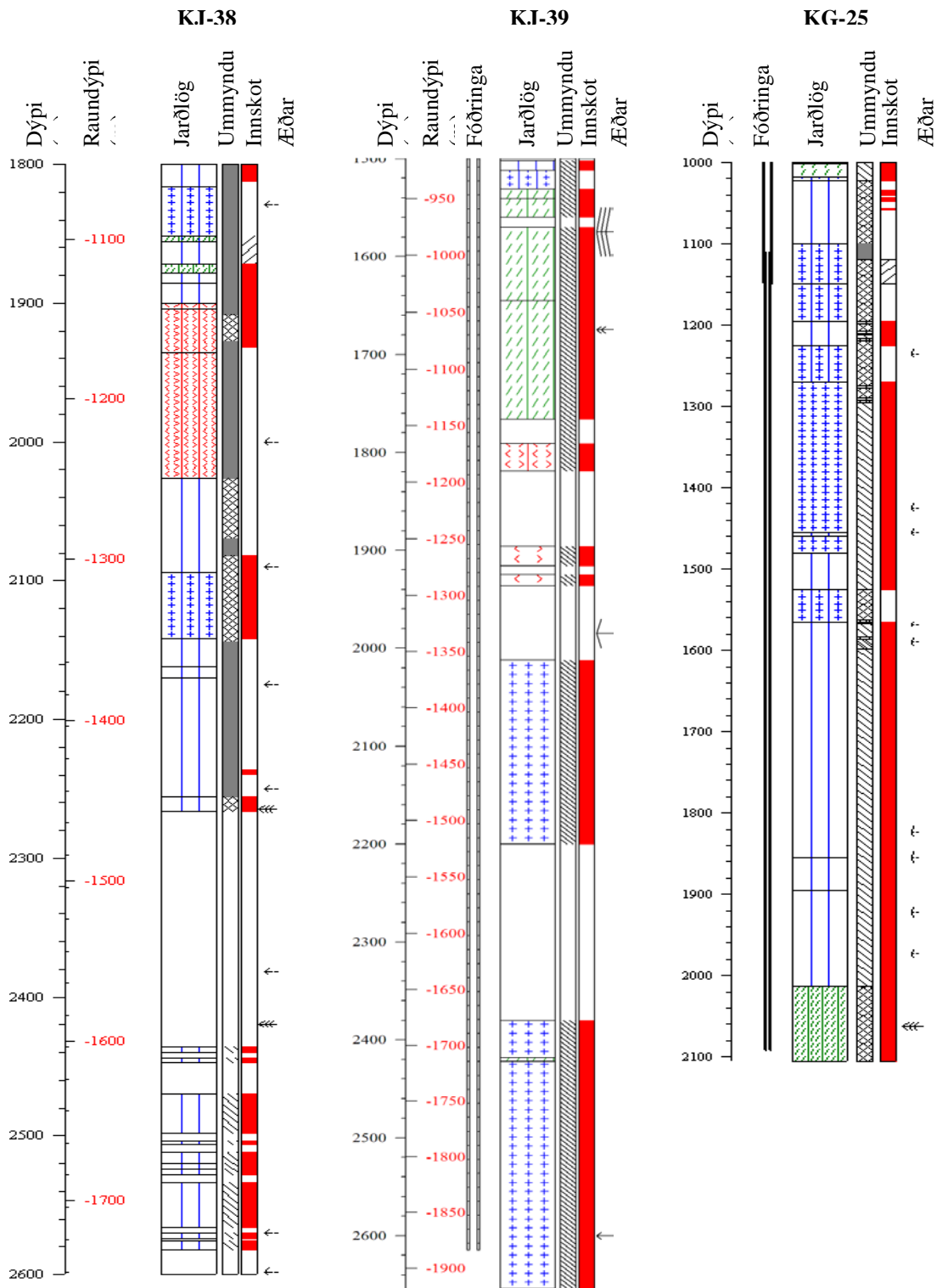
Mynd 2.6 Norður-suður ummyndunarsnið um Víti, Suðurhlíðar og Sandbotnaskarð. Holu KJ-38 má sjá á mynd (Anette K. Mortensen o.fl., 2009).

Á Mynd 2.7 eru sýnd jarðlagasnið úr borholuskýrslum frá Íslenskum orkurannsóknum. Sniðin sýna hvernig niðurstöður svarfgreininga úr holum KJ-38, KJ-39 og KG-25 eru notaðar til að greina jarðlagastaflann í mismunandi berggerðir. Á Mynd 2.8 má sjá skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun.

Hola KJ-38 er staðsett í Vítismó og var skáboruð til norðurs meðfram Hveragilssprungunni. Í holunni eru hraunlagasyrpur ráðandi frá 300 m u.s. og niður undir 1200 m u.s.. KJ-38 er ólík öðrum holum austan við sprengigíginn Víti að því leyti að í hinum er meira af móbergi, basalttúffi, breksíu og einnig súru bergi. Í neðri hluta holunnar eru hraunlög og innskot ráðandi. Bergummyndun er almennt mikil en á milli er fersklegt innskotsberg. Ummyndunarsteindir benda til að ummyndunarhiti sé 270-300°C neðst í holunni (Anette K. Mortensen o.fl., 2009; Magnús Á. Sigurgeirsson o.fl. 2008).

Hola KJ-39 er staðsett syðst í Leirbotnum. Móbergsmýndun einkennir efsta hluta holunnar, niður á rúmlega 200 m dýpi (Auður Ingimarsdóttir o.fl. 2009). Þar fyrir neðan, niður á tæplega 1400 m dýpi, er upphleðsluberg ráðandi og skiptast þar á fín- til grófkorna basaltlög og móbergsmýndanir. Innskotsberg er ráðandi neðan við 1400 m dýpi. Súrt og ísúrt innskotsberg er algengast á 1520-1990 m dýpi en fyrir neðan 200 m dýpi taka við dólerít og gabbró innskot. Ummyndunarsteindir benda til að berghiti neðan 1400 m dýpis sé í kringum 290°C (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009).

Hola KG-25 er staðsett í Vítismó á Leirbotnasvæðinu. Efsti hluti holunnar einkennist af hraunlögum og móbergstúffi, bergið er þar talsvert ummyndað en einstaka ferskleg innskot koma fyrir. Hraunlaga- og móbergsmýndanir skiptast á niður með holunni en tíðni innskota eykst talsvert í kringum 800 m dýpi og eru innskot ráðandi þar fyrir neðan. Innskotin eru að mestu basalt innskot en granófýr innskot koma fyrir á 1855-1895 m dýpi og á 2013-2085 m dýpi. Ummyndunarsteindir benda til að berghiti neðan við 1500-1600 m sé yfir 300°C.





Mynd 2.7 Jarðlagasnið úr borholum KJ-38, KJ-39 og KG-25. Jarðlagasniðin sýna aðeins það dýptarbil sem snýr að þessari rannsókn. Sniðin eru fengin úr borholuskýrslum frá Íslenskum orkurannsóknum (Magnús Á. Sigurgeirsson o.fl., 2008; Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009; Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2008). Skýringarmynd á næstu blaðsíðu.

## Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun

### Berggerðir

	Hraunlagakargi
	Basalttúff
	Basaltbreksía
	Glerjað basalt
	Fín-meðalkorna basalt
	Meðal-grófkorna basalt
	Grófkorna basalt
	Ísúrt túff
	Ísúr breksía
	Ísúrt dul-meðalkorna berg
	Ísúrt grófkorna berg
	Súrt túff
	Súr breksía
	Súrt dul-meðalkorna berg
	Súrt grófkorna berg
	Jökulberg
	Eðjusteinn
	Sandsteinn
	Möl og steinar
	Svarf vantar




### Innskot

	Innskot
	Hugsanlegt innskot



### Ummyndunarstig

	Engin ummyndun
	Lítill ummyndun
	Meðal ummyndun
	Mikil ummyndun

### Vatnsæðar

	Lítill æð
	Meðal æð
	Stór æð

### Greining ummyndunarsteinda

	Svarfgreining örugg
	Svarfgreining óviss

Mynd 2.8 Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun. Mynd fengin úr skýrslu Magnúsar Á. Sigurgeirssonar o.fl. (2008).





### 3 Greiningaraðferðir

Eins og áður hefur komið fram var sérstök áhersla lögð á dýpri hluta borholanna KJ-38, KJ-39 og KG-25 í þessari rannsókn. Lista yfir sýni sem rannsökuð voru og greiningaraðferðir má sjá í Töflu 3.1. Svarfsýni úr holunum, frá 1800 m dýpi og niður á botn, voru skoðuð í viðsjá en auk þess var gerð auðveld sýruprófun á þeim til að meta tilvist eða magn kalsíts.

Röntngreiningar (XRD) á leirsteindum voru einnig notaðar í þessu verkefni með leyfi Landsvirkjunar, en um óbirt gögn er að ræða. Röntgenróf leirsteindanna var túlkað eftir greiningarkerfi USGS<sup>2</sup>.

Tafla 3.1 Sýnatökustaðir

<b>KJ-38</b>	<b>KJ-39</b>	<b>KG-25</b>
<b>Vökvabólur (m)</b>	<b>Vökvabólur (m)</b>	<b>Vökvabólur (m)</b>
1850	1791-1800	1922
2050	2022-2031	2020
2200	2186-2195	2088
2440	2415-2424	2092/2094
	2597-2606	
	Botn-kvika	
<b>Punnsneiðar (m)</b>	<b>Punnsneiðar (m)</b>	<b>Punnsneiðar (m)</b>
1836	1695-1704	1870
1874	2012-2022	1960
1918	2157-2167	2108
1990	2405-2415	2082
2042	2577-2587	
2114	2615-2625	
2172	Botn-kvika	
2238		
2266		
2482		
2524		
2578		
<b>SEM/EDS (m)</b>	<b>SEM/EDS (m)</b>	<b>SEM/EDS (m)</b>
1874	2157-2167	2082
2266	Botn-kvika	
2578		

<sup>2</sup> Greiningarkerfi á vefsíðu USGS: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clay.htm>

## 3.1 Svarfgreiningar

Svarfsýni voru skoðuð í víðsjá til þess fyrst og fremst að velja úr kristalla til vökvabólurannsóknar. Víðsjágreining var einnig notuð til að meta berggerð svarfsýnanna og magn ummyndunar. Þó nokkrar frumsteindir og ummyndunarsteindir svo sem kvars, kalsít, pýrít og epídót má greina með nokkurri vissu með athugun í víðsjá.

Smásjárrannsóknir á þunnsneiðum í bergfræðismásjá geta gefið góða mynd af ummyndunarstigi frumsteindanna og gerð ummyndunarsteindanna en í þessu tilviki var það ekki raunin þar sem borsvarfið var mjög fínt. Tekin var sú ákvörðun að leggja meiri áherslu á efnagreiningar og því er ekki fjallað sérstaklega um þunnsneiðagreiningarnar í þessari ritgerð.

Í meistaraverkefninu var megináhersla lögð á greiningu með SEM/EDS tækni þar sem Hitachi TM3000 rafeindasmásjá með Bruker EDS-skynjara til efnagreininga var notuð. Þessi tækni tekur hefðbundnum smásjárrannsóknnum fram þar sem efnasamsetning allra steinda er greinanleg.

Æskilegast hefði verið að gera efnagreiningarnar í örgreini, en þar sem það var ekki mögulegt var notast við SEM/EDS tækni. Efnagreiningarnar sem gerðar voru fyrir þetta verkefni eru með fyrstu greiningum sem gerðar voru í nýju SEM-EDS tæki Háskóla Íslands. Áhugavert er að sjá hversu nákvæmar og góðar greiningar fengust.

Fyrir SEM/EDS greiningu eru svarfsýni þurrkuð og steipt í epoxy-massa á þunnsneiðagler. Yfirborð sýnisins er síðan sléttað þannig að eftir verður um 2 mm þykkt svarfsýni, sem síðan er húðað með 250 Å kolefni. Kolhúðin, sem gerð er í lofttæmi með glóandi kolefnisgjafa (CRESSINGTON), er nauðsynleg til að leiða rafstraum rafeindageislans frá sýni til jarðar. Sýnið er greint í há-lofttæmi með 15 kV geisla. Myndataka af sýninu og efnagreining steindanna er gerð nánast samtímis.

Mælingarnar eru þannig gerðar á skyggðum kolhúðuðum sýnum og staðlaðar með greiningu á staðalkristöllum, þeim sömu og notaðir eru við efnagreiningar í örgreini. Stöðlun EDS-greininganna er sýnd í Viðauka C. Í viðaukanum eru allir örgreiningastaðlar, sem notaðir voru, tilgreindir og kvörðunarjöfnur fyrir mismunandi efni sýndar. Neðri mörk efnagreininga (limit of detection) með EDS eru um 0,05% af þunga eða nokkru lægri og fer það nokkuð eftir bakgrunns-rófinu og hversu vel sýnin eru slípuð. Skekkja (Rel standard deviation) greininga með EDS er að jafnaði um 1-2% á slípuðum sýnum. Áreiðanleiki greininganna fer einnig eftir fjölda og gæðum staðlanna en eins og fram kemur í viðauka C virðast bergfræðigreiningar með EDS afar áreiðanlegar.

Við EDS efnagreiningu á vötnuðum steindum svo sem leirsteindum og geislasteinum er ráðlegt að greina flöt, sem er að minnsta kosti 10x10 µm að stærð vegna hættu á að Na losni úr efnatengjum og reiki undan geislanum. Þetta fyrirbæri er sambærilegt við Na-tap úr gleri og vötnuðum steindum við venjulegar örgreiningar. Frumsteindir og flestar ummyndunarsteindir má greina með kyrrstæðum rafeindageisla, sem er um 0.7 µm í þvermál.

## 3.2 Mælingar á vökvabólum

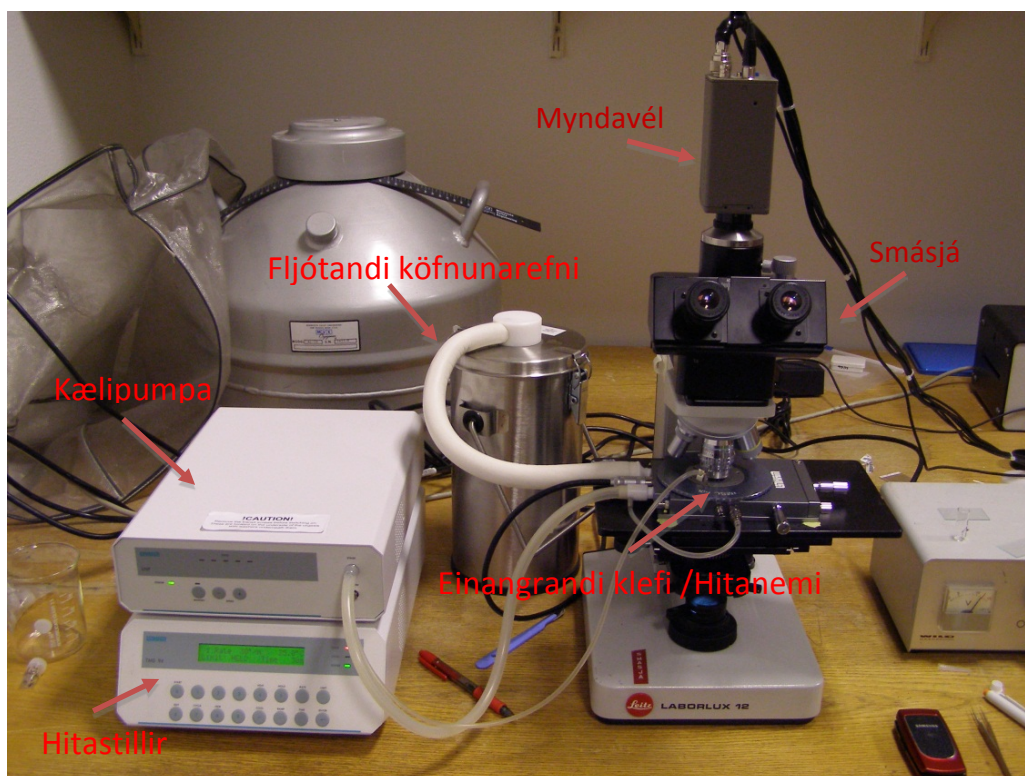
Vökvabólur hafa verið notaðar í yfir hundrað ár til að ákvarða hitastig í tenglum við mismunandi jarðfræðilega þætti (Roedder, 1984; Bodnar, 2003; Kesler o.fl., 2013). Rannsóknir á vökvabólum er góð aðferð til að kanna breytingar á hita og uppleystum efnum í jarðhitakerfum. Eins og fram kemur í kafla 2.2 um jarðhitaummyndun hér að framan, hefur verið sýnt fram á gott samband milli ýmissa ummyndunarsteinda og lágmarks myndunarhita þeirra í jarðhitakerfum landsins. Mælingar á vökvabólum geta eflt þessar rannsóknir auk þess að veita upplýsingar um þær breytingar sem hafa orðið á hitaástandi í kerfinu.

Vökvabólur myndast þegar gas eða vökvi lokast inn í kristöllum. Þegar vökvi sem lokast inni við til dæmis 200-300°C, kólnar niður í stofuhita dregst vökvinn saman og hringlaga gufubóla myndast sem merki um undirþrýsting vökvans (Hjalti Franzson, 2000).

Vökvabóla við umhverfishita á rannsóknarstofu inniheldur dropa af vökva og gasfasa. Mælingar á þessum vökvabólum eru yfirleitt tvenns konar; fyrst eru þær hitaðar upp og síðan eru þær frystar. Vökvabólurnar eru hitaðar upp þar til þær hverfa, en þá hafa þær náð svokölluðum samrunahita (e. temperature of homogenization) og það hitastig svarar til myndunarhita þess hluta steindarinnar sem umlykur vökvabóluna og er þannig mögulega hægt að ákvarða fornt hitastig í jarðhitakerfinu. Þegar vökvabólur eru frystar (e. ice melting temperature) er verið að leita eftir magni uppleystra efna í vökvanum þar sem frostmark lækkar með auknu magni uppleystra efna og er þá helst um að ræða seltu og koldíoxíð í jarðhitakerfum. Vökvabólurannsóknir geta því gefið vísbendingar um þróun uppleystra efna í jarðhitavökva yfir langan tíma.

Við greiningu er mikilvægt að kornin séu vel gegnsæ og helst með nokkuð slétt yfirborð. Kristallarnir eru límdir á glerplötu og póleraðir til að ná yfirborðinu sléttu. Eftir slípun eru kristallarnir leystir af plötunni með asetóni og greindir í bergfræðismásjá, en það er gert til að greina hvern einstaka kristal til tegundar áður en vökvabóluathugun er gerð.

Stakir kristallar eru valdir og settir á glerplötu með hitanema í einangrandi klefa. Hita klefans er stjórnað með loftdælingu og hitastiginu stjórnað með Linkam THMSG600 hitastýringu. Á sama tíma er sýnið skoðað í smásjá. Hitaneminn heldur kristalnum og mælir hitann samtímis og fæst þannig nákvæm mæling á samrunahita ( $T_h$ ). Frostmark ( $T_m$ ) er mælt með því að dæla fljótandi köfnunarefni inn í klefann. Kælt er niður í allt að -100°C til að ganga úr skugga um að allur vökvinn í bólunni sé frosinn. Klefinn er þá hitaður hægt og rólega upp þar til síðasti ísinn í bólunni hefur bráðnað. Á Mynd 3.1 má sjá uppsetningu vökvabólutækis með fljótandi köfnunarefni. Linkam THMSG600 getur gefið nákvæmni upp á 0,1°C en í þessu verkefni var miðað við  $\pm 5^\circ\text{C}$  við mælingu á samrunahita og  $\pm 0,5$  við mælingu á frostmarki.



Mynd 3.1 Uppsetning Linkam THMS600 vökvabólutækis með fljótandi köfnunarefni.

## 4 Ummyndunarrannsóknir

Borsvarf úr holunum KJ-38, KJ-39 og KG-25 er fínkorna, flest kornin langt undir 1 mm í þvermál og fáein um 1-2 mm. Umræða um textúr bergsins er því marklítil en mögulegt var að greina nokkra meginþætti í ummyndunarsögu frumsteindanna með greiningu á stærstu kornunum. Hér er stuðst við greiningu á þunnisneiðum en aðallega við greiningu með SEM/EDS þar sem innri afstaða kristalla og efnasamsetning þeirra er sjáanleg og greinanleg. Svarfsýni er tekið á 2 m fresti við borun, en hvert svarfsýni er líklegast safn efnis af nokkurra metra dýptarbili og því sennilegt að breytileiki frumsteinda og ummyndunarsteinda í hverju sýni geti verið mikill.

### 4.1 SEM-EDS greiningar

#### 4.1.1 Frumsteindir svarfsýnanna

Efnasamsetning allra sýnilega frumsteinda var greind með SEM/EDS tækni og eru niðurstöðurnar skráðar í Töflum 4.1, 4.2 og 4.3. SEM/EDS-tæknin gefur trausta heildarmynd að því steindasamfélagi sem finnst í svarfinu. Eins og við örgreiningar eru þó ekki allar SEM/EDS greiningar birtingarhæfar þótt flestar gefi þær sannfærandi niðurstöðu um tegund og samsetningu steindanna.

Tafla 4.1 Niðurstöður SEM/EDS greininga á feldspötum.

<b>FELDSPAT</b>									
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O			
38-2266	Jfr33-8	49.8	32.5	15.7	2	0	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr42-2	49.6	32.7	15.7	2	0	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr33-7	50.6	31.5	15.6	2.3	0.1	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr49-1	53.4	28.7	15.5	2.5	0	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr33-5	50.7	31.9	15.3	2	0	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr34-1	50.8	31.8	15.2	2.2	0	Plag	Bytownít	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr27-3	53	29.2	14.8	2.7	0.2	Plag	Bytownít	Basalt innskot
39-2157	Jfr15-4	53.2	29.5	13.8	3.2	0.2	Plag	Labradorít	Basalt innskot
39-2157	Jfr15-3	52.7	30.1	13.8	3.2	0.2	Plag	Labradorít	Basalt innskot
39-2157	Jfr27-6	54.3	29.5	13.7	2.2	0.2	Plag	Labradorít	Basalt innskot
25-2082	Jfr10-4	55.5	28	13.6	2.7	0.2	Plag	Labradorít	Súrt innskot
38-2266	Jfr39-1	53.3	29.8	13.5	3.2	0.1	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
38-1874	Jfr57-3	53.6	28.5	13.5	3.3	0.1	Plag	Labradorít	Súrt innskot
38-2266	Jfr45-2	54.9	28.6	13.1	3.3	0.2	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr30-6	55.4	27.9	12.9	3.6	0.2	Plag	Labradorít	Basalt innskot
38-2266	Jfr35-4	55.1	28.8	12.3	3.7	0.1	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr39-7	55.8	28.7	11.6	3.7	0.1	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)

(framhald)

Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O			
38-2266	Jfr33-10	56.1	28.2	11.6	4	0	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr34-2	55.6	29	11.4	3.9	0.1	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
38-1874	Jfr55-11	58.2	26	11.1	3.9	0.1	Plag	Labradorít	Súrt innskot
38-2266	Jfr34-6	57	28.2	10.4	4.3	0.1	Plag	Labradorít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr11-5	60.5	25.4	7.9	5.7	0.5	Plag	Andesín	Súrt innskot
25-2082	Jfr11-3	60	26.2	7.8	5.6	0.4	Plag	Andesín	Súrt innskot
39-2157	Jfr20-2	62	24.6	7.1	6.1	0.3	Plag	Andesín	Basalt innskot
39-2157	Jfr22-3	65.6	22.9	4.1	7.1	0.2	Plag	Andesín	Basalt innskot
39-2157	Jfr18-6	66.8	23	2.6	7.6	0.1	Plag	Andesín	Basalt innskot
25-2082	Jfr8-4	68.2	19.5	1.1	3.2	8	Alk fsp	Sanidín	Súrt innskot
25-2082	Jfr5-1	66.1	19.9	0.6	5.2	8.2	Alk fsp	Sanidín	Súrt innskot
25-2082	Jfr7-9	66.1	19.9	0.6	4.1	9.4	Alk fsp	Sanidín	Súrt innskot
39-2157	Jfr18-1	64	19.6	2.5	1.8	12.1	Alk fsp	Sanidín	Basalt innskot
25-2082	Jfr7-4	63.7	18.2	3.9	2.5	11.7	Alk fsp	Sanidín	Súrt innskot

Tafla 4.2 Niðurstöður SEM/EDS greininga á pýroxen.

## PÝROXEN

Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
38-2266	Jfr33-6	54.2	0	2.3	5.5	0.2	17	20.7	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr15-5	51.9	0.5	2.9	7.4	0.1	16.9	20	0.3	Ágít	Basalt innskot
38-2266	Jfr49-3	53	0.3	2.3	6.4	0.2	16.9	20.8	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr33-9	53.5	0.1	1.9	9.3	0.3	16.7	18.1	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr34-7	52.3	0.5	2.4	8.4	0.1	16.4	19.8	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr33-3	52.4	0.4	2.3	9.9	0.3	16	18.6	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr28-1	51.5	0	4.7	13.4	0.3	15.8	14	0.3	Ágít	Basalt innskot
38-2266	Jfr42-1	52.6	0.3	2.5	10.1	0.2	15.6	18.5	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr39-6	53.1	0.3	1.9	10.2	0.2	15	19.2	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr41-12	53.2	0.1	2	7.9	0.3	14.8	21.6	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr37-1	51.5	0.8	2.1	13.9	0.5	13.9	17.2	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr34-5	52	0.5	1.9	17.7	0.3	13.7	13.6	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr17-1	53.5	0	1.2	10.7	0.5	13.7	20.1	0.3	Ágít	Basalt innskot
39-2157	Jfr17-2	52.6	0.1	1.3	12	0.5	13.6	19.8	0.2	Ágít	Basalt innskot
38-2266	Jfr35-1	49	1.3	3.1	16.4	0.5	13.5	16	0.2	Ágít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr2-3	51.6	0.5	2.9	17.2	0.4	13.2	13.6	0.6	Ágít	Súrt innskot
25-2082	Jfr10-3	47.2	1.8	4.9	16.1	0.3	13.1	16.2	0.4	Ágít	Súrt innskot
38-2266	Jfr39-2	53.5	0	2.6	14.3	0.4	12.6	16.4	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-1874	Jfr54-5	51.7	0	5.3	18.9	0.3	12.5	10.3	1	Ágít	Súrt innskot
38-2266	Jfr45-1	50.9	0.6	4.7	13.9	0.5	12.2	16.4	0.7	Ágít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr13-4	50.2	0.8	2.4	18.4	0.3	12.1	15.5	0.3	Ágít	Súrt innskot
38-2266	Jfr35-5	48.9	1.9	3.6	15.6	0.4	12	17.4	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr33-4	52.4	0.6	2.8	16.3	0.2	12	15.2	0.4	Ágít	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr49-2	50.9	1	4	14.8	0.5	11.9	16.5	0.3	Ágít	Basalt (innskot?)

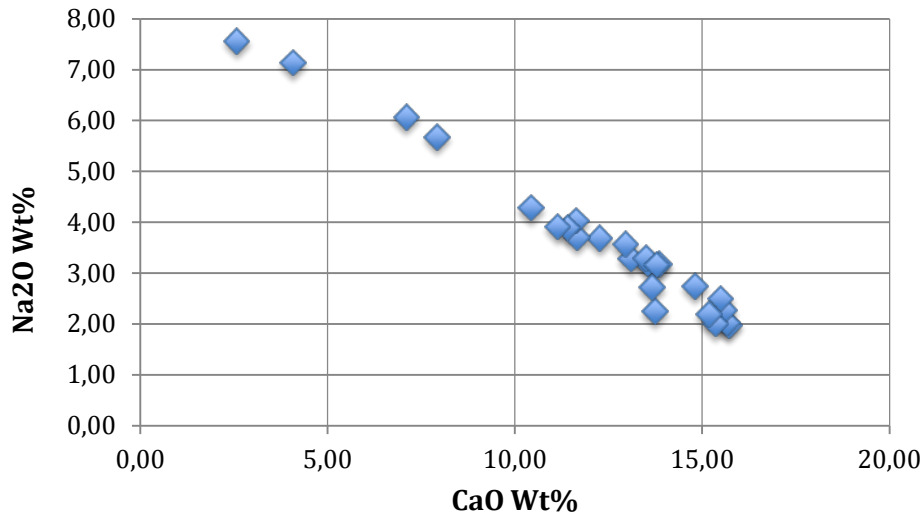
(framhald)

Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
38-2266	Jfr38-2	51.9	0.5	4.3	19.4	0.5	11.3	11.8	0.1	Ágít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr2-6	50.6	0.5	3.9	18.4	0.4	11.3	14.3	0.6	Ágít	Súrt innskot
39-2157	Jfr22-5	52.2	0	3	20.4	0.4	11.2	12.5	0.2	Ágít	Baslat innskot
38-1874	Jfr55-5	52.9	0	3.4	20.4	0.3	11.1	11.7	0.1	Ágít	Súrt innskot
39-2157	Jfr24-3	52.3	0.1	1.7	22.6	0.3	10.8	11.8	0.3	Ágít	Basalt innskot
38-2266	Jfr50-1	47.1	3.1	6.4	14.4	0.3	10.8	17.6	0.2	Ágít	Basalt (innskot?)
38-1874	Jfr55-3	55.7	0	3.5	14.6	0.4	10.7	14.7	0.4	Ágít	Súrt innskot
25-2082	Jfr6-3	51.3	0.5	2.5	18.5	0.4	10.6	16	0.1	Ágít	Súrt innskot
25-2082	Jfr13-5	50.6	0.7	4.5	17.9	0.2	10.6	14.8	0.6	Ágít	Súrt innskot
39-2157	Jfr14-6	54.4	0	3.2	19.6	0.4	10.3	11.6	0.4	Ágít	Baslat innskot
38-2266	Jfr50-4	47	3	5.8	16.6	0.7	10.2	16.7	0.2	Ágít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr6-6	50.2	0.4	4	19.3	0.4	10.1	14.9	0.6	Ágít	Súrt innskot
39-2157	Jfr24-5	51.7	0	1.6	23.6	0.5	9.9	12.6	0.1	Ágít	Baslat innskot
39-2157	Jfr30-3	50.2	0	3.2	24.5	0.5	8.7	12.7	0.1	Ágít	Baslat innskot
38-2266	Jfr38-4	52.9	0	3.1	19.2	0.3	8	16.2	0.2	Ágít	Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr2-1	49.7	0.5	2.3	28.5	0.5	12.1	6	0.3	Pig	Súrt innskot

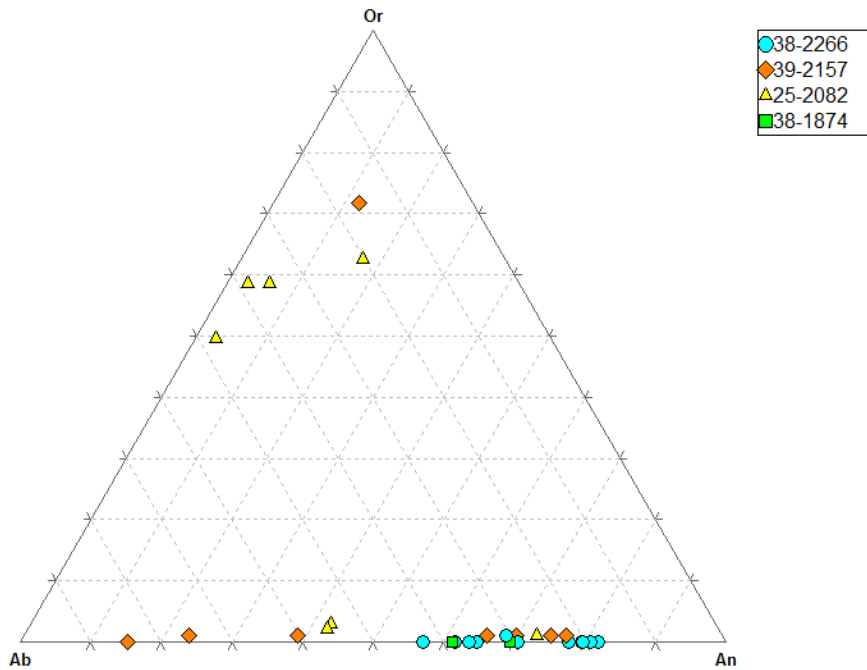
Tafla 4.3 Niðurstöður SEM/EDS greininga á oxíðum.

OXÍÐ										
Sýni	Greining	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO				
38-2266	Jfr37-2	52.2	0.2	46.1	1.3	0.3	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr39-3	51.2	0.2	47.2	1.2	0.1	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr2-5	49	1.1	48.4	1.2	0.3	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr37-3	49	0.6	48.6	1.6	0.1	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr50-2	49	0.5	48.5	2	0	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr47-4	47	0.3	50.8	1.7	0.2	Im			Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr47-2	43.1	0.8	54.4	1.5	0.1	Im			Basalt (innskot?)
25-2082	Jfr46-1	26.2	0.6	72.2	0.9	0.1	Ti-Mt			Súrt innskot
25-2082	Jfr11-5	23	1.1	75.1	0.4	0.4	Ti-Mt			Súrt innskot
25-2082	Jfr13-1	20.5	0.9	78	0.5	0.1	Ti-Mt			Súrt innskot
25-2082	Jfr13-7	19	0.8	79.8	0.3	0.1	Ti-Mt			Súrt innskot
25-2082	Jfr13-8	12.3	0.9	86.5	0.3	0	Ti-Mt			Súrt innskot

Efnasamsetning frumsteindanna er að hluta sýnd á Myndum 4.1 til 4.5. Það er trúlegt að samsetning plagíóklas, frá oligóklas til bytownít, eigi við basalt og þróað berg úr allri Kröfluberggröðinni en auk þess kemur fyrir alkali-feldspat (Tafla 4.1 og Mynd 4.2). Öll sýnin innihalda labradorít en ljóst er að sýnin 25-2082 og 39-2157 (Tafla 4.1 og Mynd 4.2) eru að hluta til með þróaðasta bergið.



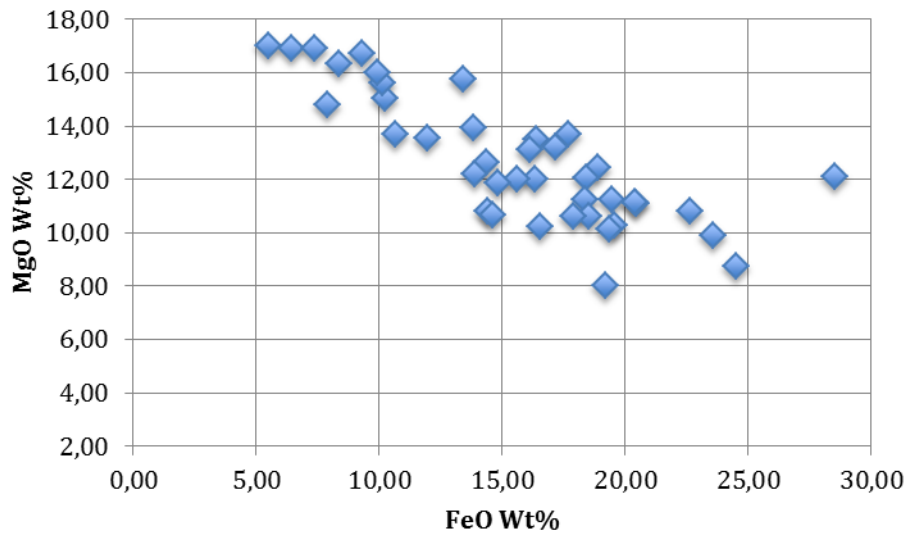
Mynd 4.1 Na-Ca hlutföll plagíóklas úr borsvarfi. Myndin sýnir svipaða samsetningarbreyðing og eldstöðin í heild (Nicholson, H., 1990 og Kristján Jónsson, 1994).



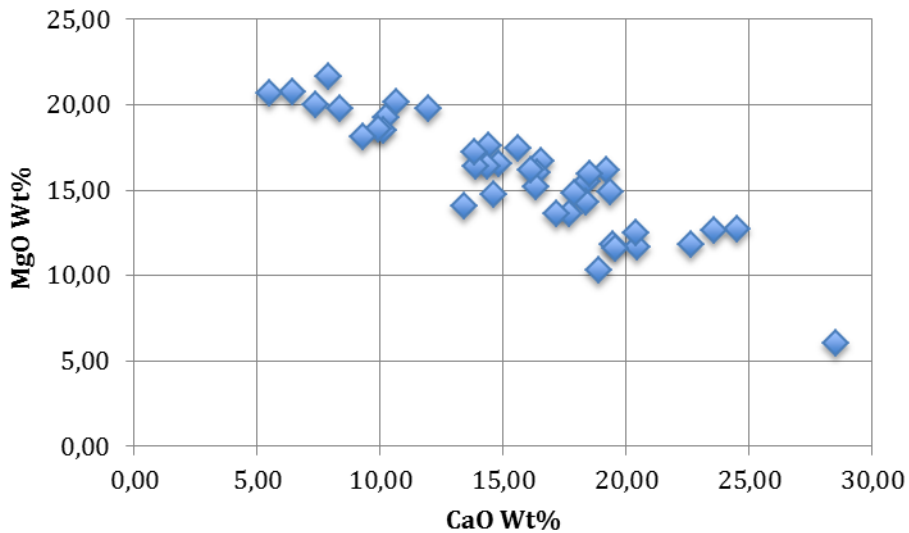
Mynd 4.2 Feldspat þríhyrningur sem sýnir samsetningu sýna úr holu KJ-38 (bláir hringir og grænir kassar), holu KJ-39 (appelsínugulir tíglar) og holu KG-25 (gulir þríhyrningar). Öll sýnin innihalda labradorít en sýni úr holu KG-25 og KJ-39 eru augljóslega með þróaðasta bergið að hluta.

Svipaða niðurstöðu má draga af klínópýroxen-greiningunum, sem sýna samsetningu frá díopsíði að járnríku ágíti. Í sýnunum finnst ekki alkali-pýroxen (ægerít-ágít), sem búast mætti við að kæmi fyrir í litlum mæli í granófýr. Á Myndum 4.3 og 4.4 sést pigeonít lengst til hægri. Pigeonít hefur greinst áður í súru bergi samanber rannsókn Zierenberg o.fl., (2013).



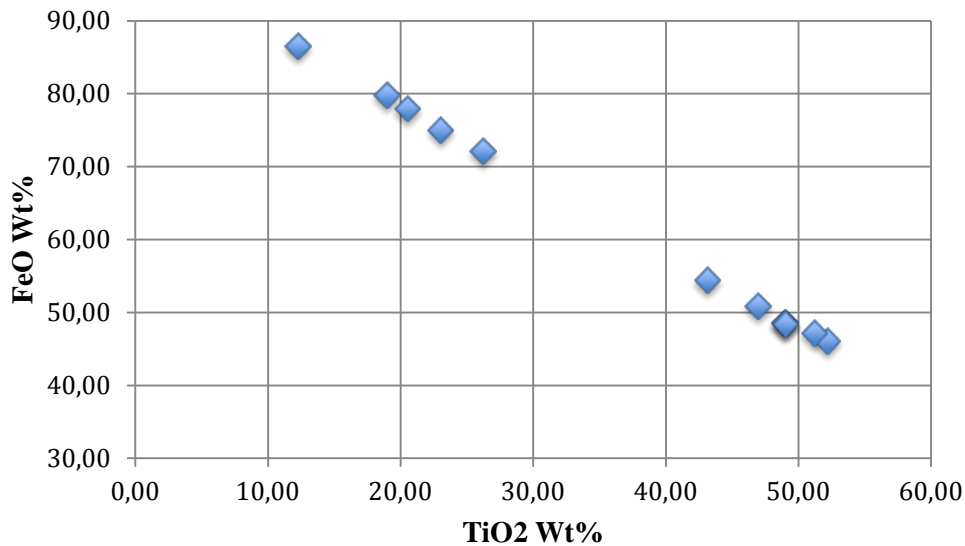


Mynd 4.3 Fe-Mg hlutföll í klínópýroxen úr borsvarfi. Myndin sýnir svipaða samsetningarbreydd og eldstöðin í heild (Nicholson, H., 1990 og Kristján Jónasson, 1994). Sýnið lengst til hægri er pigeonít.



Mynd 4.4 Ca-Mg hlutföll í klínópýroxen úr borsvarfi. Myndin sýnir svipaða samsetningarbreydd og eldstöðin í heild. Sýnið lengst til hægri er pigeonít (Nicholson, H., 1990 og Kristján Jónasson, 1994).

Oxíð-frumsteindir svarfsýnanna eru ilmenít og títánómagnetít en efnasamsetning þeirra er skráð í Töflu 4.3. Ilmenít í töflunni eru úr sýni 38-2266 og títánómagnetít úr sýni 25-2082.



Mynd 4.5 FeTi oxíð úr borsvarfi.

#### 4.1.2 Ummyndunarsteindir svarfsýnanna

Efnagreiningar ummyndunarsteinda, sem fundust í sýnunum, eru skráðar í töflum 4.4 til 4.11 en í Töflu 4.12 eru þær ummyndunarsteindir sem fundust í hverri holu skráðar.

Í holunum er einkennandi að hreint og vel kristallað kvars er algengt, ekki tókst þó að greina hreint albít og míkroklín sem líklega eru jafnvægissteindir í þessum sýnum. Í því samhengi er helst að benda á fínkorna massa af kvarsi og jarðhita-feldspatana, þar sem ekki var hægt að finna nógu vel slípaða fleti til efnagreiningar. Þessi samsettu korn eru engu að síður talin réttlæta það að telja albít og míkroklín með ummyndunarsteindunum.

SEM/EDS efnagreiningar voru gerðar á öllum steindum sem skráðar eru í Töflu 4.12. Efnagreining ummyndunarsteindanna í þessum sýnum er erfið vegna kornasmæðar svarfsins en í stærstu kornunum kemur vel fram að flestar frumsteindirnar ummyndast verulega en kristalstærð ummyndunarsteindanna er að mestu leyti smá eða nokkrir tugir míkrometra.

Efnagreiningatöflur ummyndunarsteindanna ná ekki yfir efnasamsetningu einsleitra steinda, sem eru pýrít, kalsít, kvars og zirkon, sem þótti óþarfi að birta.

Tafla 4.4 Niðurstöður SEM/EDS greininga á hydro-anorþít.

HYDRÓ-ANORÞÍT							
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
38-2266	Jfr38-1	44.8	34.5	20.2	0.6	0	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr32-1	46.5	34.4	18.3	0.8	0	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr40-3	47.5	33.1	17.8	0.7	0	Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr41-8	46.8	33.6	18.3	0.7	0	Basalt (innskot?)

Tafla 4.5 Niðurstöður SEM/EDS greiningar á sphene.

<b>SPHENE</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	
39-2157	Jfr21-1	32.2	39.6	1.6	1.2	0	0.5	24.7	0.1	Basalt innskot
39-2157	Jfr30-1	32.2	39.3	2.6	1.2	0	0	24.7	0.1	Basalt innskot
39-2157	Jfr30-7	31.7	37.2	3.2	1.8	0	0	25.9	0.1	Basalt innskot
38-2266	Jfr31-2	33.7	30.9	6	4	0.1	0.5	24.7	0.1	Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr18-5	41.1	25.4	9	3.4	0	0	18.2	2.3	Basalt innskot
38-2266	Jfr46-2	39.8	22.7	3.7	7.6	0.1	6.1	19.7	0.1	Basalt (innskot?)

Tafla 4.6 Niðurstöður SEM/EDS greininga á oxíðum.

<b>OXÍÐ</b>									
Sýni	Greining	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO			
25-2082	Jfr11-1	7.4	0.5	90.5	1.3	0.2	Mt-Mh	Súrt innskot	
25-2082	Jfr9-10	6.7	0.3	90.8	1.4	0.7	Mt-Mh	Súrt innskot	
38-2266	Jfr45-3	0.5	0.6	98.9	0	0	Mt/Mh	Basalt (innskot?)	
38-2266	Jfr36-3	0.4	0.8	98.6	0.1	0.2	Mt/Mh	Basalt (innskot?)	
38-2266	Jfr31-1	0.2	0.5	99.2	0	0.1	Mt/Mh	Basalt (innskot?)	
39-2157	Jfr16-2	0.1	1.8	97	1.2	0	Hm	Basalt innskot	
25-2082	Jfr4-2	0.1	0.8	99.2	0	0	Hm	Súrt innskot	
25-2082	Jfr3-6	0.1	0.3	99.3	0.2	0.1	Hm	Súrt innskot	
25-2082	Jfr4-5	0	0.3	99.7	0	0	Hm	Súrt innskot	
39-2157	Jfr15-2	0	0.4	99.3	0.3	0.1	Hm	Basalt innskot	
39-2157	Jfr16-1	0	0.3	98.6	1	0.1	Hm	Basalt innskot	
39-2157	Jfr26-1	0	0.2	99.5	0.1	0.2	Hm	Basalt innskot	
25-2082	Jfr4-6	0	0.2	99.8	0	0	Hm	Súrt innskot	
25-2082	Jfr5-2	0	0.3	98.5	1.2	0	Hm	Súrt innskot	
25-2082	Jfr4-1	0	0.3	99.6	0.1	0.1	Hm	Súrt innskot	

Tafla 4.7 Niðurstöður SEM/EDS greininga á wollastónít.

<b>WOLLASTÓNÍT</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
38-1874	Jfr54-7	50	0.5	1.2	0.6	0.1	47.8	0.1	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr64-1	53	0.4	0.1	0.3	0	46.2	0.1	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr52-1	53.1	0.8	0.5	0.1	0.1	45.5	0.1	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr51-1	52.5	1	0.7	0.1	0	45.5	0.3	0.1	Súrt innskot
38-1874	Jfr52-2	53.3	1	0.5	0.3	0	45	0.1	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr52-4	51.7	2	1	0	0.1	44.5	0.6	0.3	Súrt innskot
38-1874	Jfr64-5	54.7	0.7	0.1	0.6	0	44	0.2	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr64-3	54.9	0.8	0.4	0.4	0.1	43.4	0.2	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr64-2	54.7	0.9	0.2	0.8	0.1	43.1	0.2	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr54-8	52.8	0.9	2.1	0.6	0.7	43	0.1	0	Súrt innskot
38-1874	Jfr64-4	56.7	1.3	0.1	0.4	0.4	40.6	0.6	0.1	Súrt innskot
38-1874	Jfr55-12	50.6	1.9	6	0.2	2.6	38.5	0.2	0.1	Súrt innskot

Tafla 4.8 Niðurstöður SEM/EDS greininga á andradít.

<b>ANDRADÍT</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
38-1874	Jfr51-4	39.5	3.7	23.9	0.2	0	32.7	0.1		Súrt innskot
38-1874	Jfr59-1	40	5.5	21.6	1.2	0	31.6	0.2		Súrt innskot

Tafla 4.9 Niðurstöður SEM/EDS greininga á leir.

<b>LEIR - KLÓRÍT/VERMIKÚLÍT</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
38-1874	Jfr66-5	36.8	19.5	32.1	0.3	10.4	0.4	0.4		Súrt innskot
38-1874	Jfr61-1	31.1	19.4	37	0.5	11.6	0.2	0.1		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-4	37.4	19.2	31.6	0.4	10.4	0.5	0.4		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-2	31.7	19.1	38	0.5	10	0.5	0.1		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-3	38.8	19.1	30.2	0.4	10.5	0.5	0.3		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-6	39.4	18.9	30.7	0.3	10.1	0.3	0.3		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-7	39.2	18.6	31.4	0.2	9.7	0.5	0.3		Súrt innskot
38-1874	Jfr66-1	38.8	17.9	32.6	0.5	9.3	0.4	0.2		Súrt innskot
39-2157	Jfr22-1	28.8	20.3	42	0.6	6.8	0.6	0.8		Basalt innskot
39-2157	Jfr30-2	30	21.2	39.2	0.6	8.3	0.4	0.2		Basalt innskot
39-2157	Jfr22-6	30	20.9	39.9	0.5	7.5	0.5	0.7		Basalt innskot
38-2266	Jfr48-1	40.5	14.7	23.6	0.3	18	0.4	0.1		Basalt (innskot?)
38-2266	Jfr36-1	33.7	11.5	37.2	0.2	16.5	0.9	0.1		Basalt (innskot?)
39-2157	Jfr19-1	36.9	17	23.6	0.3	20.1	2.1	0.1		Basalt innskot

Tafla 4.10 Niðurstöður SEM/EDS greininga á epídót

<b>EPÍDÓT</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
38-2266	Jfr41-10	39.7	24.1	12.4	0.2	0	23.5	0.1	Epídót	Basalt (innskot?)
38-1874	Jfr53-3	40.2	21.3	15.7	0.2	0.1	22.5	0.1	Epídót	Súrt innskot
38-1874	Jfr59-3	41.7	23.6	11.7	0.3	0.5	22.1	0.2	Epídót	Súrt innskot
38-1874	Jfr59-2	43.8	23.7	11.6	0.4	0.6	19.7	0.2	Epídót	Súrt innskot
38-1874	Jfr52-3	39.6	12.5	10.3	0.1	2.6	34.1	0.6	Epídót	Súrt innskot
38-1874	Jfr53-4	39.9	12.2	16.5	2.1	0	29.3	0.1	Epídót	Súrt innskot
38-1874	Jfr51-2	40.1	17.7	4.9	0.1	1.8	35.2	0.2	Ep-Clínózóisít	Súrt innskot

Tafla 4.11 Niðurstöður SEM/EDS greininga á aktínólít.

<b>AKTÍNÓLÍT</b>										
Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O		
25-2082	Jfr10-5	52.9	6.9	13.2	0.5	8.8	15.3	2	Súrt innskot	
25-2082	Jfr2-2	50.7	6.6	17.1	0.3	10.2	13.6	1	Súrt innskot	
25-2082	Jfr1-7	49.1	7.5	16.9	0.3	11.2	13.5	1.1	Súrt innskot	

Leirsteindir eru sá hluti steindakerfisins sem auðveldast ætti með að laga sig að breytingum í hitastigi og vökvasamsetningu. Þetta ræðst af jónaskiptahæfni leirsteindanna og því að vötnuð blöð leirsteindanna eru sameiginleg mörgum þeirra, svo sem brúsílag í klóríti og vermikúlíti. Klórít myndar þanninn blandleir með montmorilloníti við lagan hita (til dæmis Chl:Mont = 1:1, þ.e.a.s. corrensít). Hreint klórít er sjaldgæft í jarðhitaummyndun (Torrence-Martin, 1954) en algengast er að óþaninn klórít-smektít, klórít-vermikúlít eða klórít-illít blandleir sé ríkjandi. Allar þessar gerðir af blandleir (interstratified chlorite) eru í raun lítillaga aflagaðir klórít-kristallar og eru greindar sem undirtegundir af klóríti og taka við af klórít-montmorillonít þenjanlegum blandleir við hækkandi hita. Klórít-blandleir myndast í basalt-umhverfi eins og lýst er af Schiffman og Friðleifsson (1991), sem töldu, á grunni efnagreininga, að í jarðhitasvæðinu á Nesjavöllum væru leirsteindir í dýpri hluta svæðisins reglulegur klórít-smektít blandleir. Wilson (2013) benti á að sú niðurstaða sé ekki studd XRD-greiningum og að líklegast sé að smávægileg óregluleg íblöndun smektítлага í klórít sé ríkjandi.

Mikil og góð röntgengögn (XRD) um leirsteindir úr holum KJ-38 og KG-25 eru aðgengileg, með leyfi Landsvirkjunar, hjá ÍSOR. Greiningar og túlkanir úr þeim gögnum má sjá í Viðauka D. Meginniðurstaða þeirra greininga er sú að leirsteindirnar í neðri hluta holanna er klórít/vermikúlít leir.

Tafla 4.12 Yfirlit yfir steindir úr svarfsýnum.

<b>KJ-38</b>	<b>KG-25</b>	<b>KJ-38</b>	<b>KJ-39</b>
<b>1874 m</b>	<b>2082 m</b>	<b>2266 m</b>	<b>2157-2167 m</b>
<b>Frumsteindir</b>			
Plagíóklas	Plagíóklas	Plagíóklas	Plagíóklas
Ágít	Ágít (+pig)	Ágít	Ágít
FeTi-oxíð (mt-im)	FeTi-oxíð (mt-im) Zircon	FeTi-oxíð (mt-im)	FeTi-oxíð (mt-im) Apatít
<b>Ummyndunarsteindir</b>			
(Albít-míkróklín)	(Albít-míkróklín)	(Albít-míkróklín)	(Albít-míkróklín)
Kvars	Kvars	Kvars	Kvars
Klórít-Vermikulít	Klórít-Vermikulít	Klórít-Vermikulít	Klórít-Vermikulít
Pýrít-Pýrrhótít	Pýrít-Pýrrhótít	Pýrít-Pýrrhótít	
Kalsít (óverulegt)	Kalsít (óverulegt)	Kalsít (óverulegt)	Kalsít (óverulegt)
Epídót-Ep/Clinozoicite		Epídót-Ep/Clinozoicite	Epídót-Ep/Clinozoicite
Mt/Maghemít	Mt/Maghemít	Mt/Maghemít	Mt/Maghemít
Hematít	Hematít	Hematít	Hematít
Sphene (títanítt)	Sphene (títanítt)	Sphene (títanítt)	Sphene (títanítt)
	Fe-aktínólít	Fe-aktínólít	Fe-aktínólít
Andradít			Andradít
Wollastónít			

Steindafylkið sem kemur fram í Töflu 4.12 nær yfir alla Kröflubergröðina. Það sem einkennir það fyrst og fremst er ríkjandi kísil-feldspatmassi sýnanna sem endurspeglar kísilríkt umhverfi frumbergisins. Aðrar ummyndunarsteindir eins og kalsít, Mg-Fe leirsteindir, epídót og oxíð finnast því í minna mæli. Annað einkenni er hátt oxunarstig járns sem kemur fram í samsetningu Fe-oxíðanna (Tafla 4.6). Í Töflu 4.6 eru samsetningar með 0,1% eða minna af TiO<sub>2</sub> nefndar hematít en sýni með meira TiO<sub>2</sub> eru nefnd Magnetít/Maghemít. Hér er um ágiskun að ræða sem byggir á því að maghemít er oftast með nokkur prósent af TiO<sub>2</sub> en samt miklu lægri en magnetít í gosbergi. Umröðun TiO<sub>2</sub> í oxíðunum endurspeglast í niðurbroti ilmeníts og myndun sphene ásamt oxun títánómagnetíts í maghemít og síðar hematít (Sigurður Steinþórsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir, 1981). Þessu ferli í oxíðum jarðhitasvæðisins í Kröflu er einnig lýst ítarlega í Oliva-Urcia (2011) en þar einnig bent á að niðurbrot títánómagnetíts og ilmeníts í gosbergi fylgir myndun títánómaghemíts og sphene (títanítt), sem tekur upp megnið af Ti úr FeTi-oxíðum gosbergisins þegar þau verða óstöðug vegna oxunar. Þetta er talið skýra mikla segulmögnun bergsins. Í nálægð við innskot breytist títánómaghemít nær undantekningalaust í hematít, sem er nánast Ti-snautt. Þar sem örsmáir oxíð-kristallarnir eru of smáir til að greina í málmsteinasmásjá er SEM efnagreiningin notuð til að geta sér til um kristalgerðina.

Það er einmitt oxunin sem einnig gæti valdið því að klórít-leirinn í öllum sýnum er klórít-vermikulít blandleir. Kodama o.fl., (1982), sem gerðu Mösbauer-greiningar til að rekja oxun klóríts benda sérstaklega á að chamosite myndi klórít-vermikulít blandleir (vermiculite interstratified chamosite) við oxun járnsins. Þannig á oxunin mikinn þátt í gerð leirsteindanna í klórít epídót beltinu.

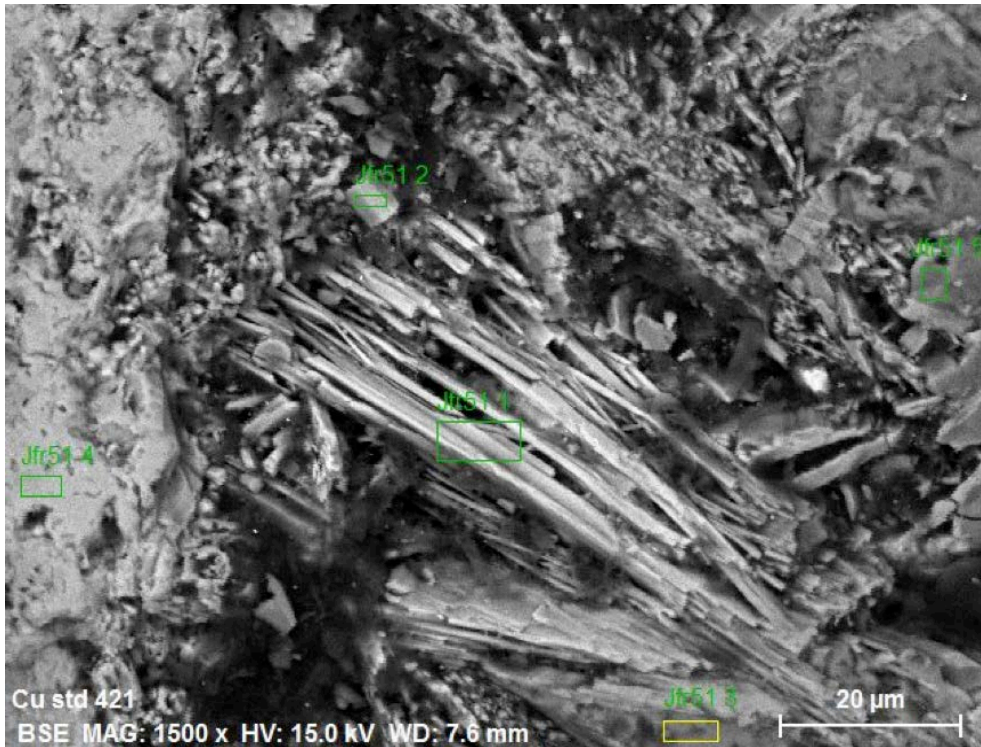
Epídót, sem er  $\text{Fe}^{+3}$  steind, er afar sjaldgæfur í stórum kristöllum í þessum sýnum og sum kornin (sýni 38-1874) gætu flokkast sem klínózóisít (Tafla 4.10).

Nokkur munur er á ummyndunarsteindum í vatnsæðum og í bergmassanum. Dæmi um þetta má sjá á Mynd 4.6 þar sem sést ofan í vatnsæð í bergbroti af 1874 m dýpi úr holu KJ-38. Í grunnmassanum (greining 4) er andradít granat ( $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ) og í æðinni hefur wollastónít (greining 1) og epídót (greining 2) fallið út. Svo virðist sem epídót taki við af andradíti sem ríkjandi Fe(III) silikat. Samtímis myndast wollastónít, sem er kalsíum silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ), og gæti það tekið upp kalsíum úr andradíti til að falla út meðan þrígilda járníð fer í epídót strendinginn.

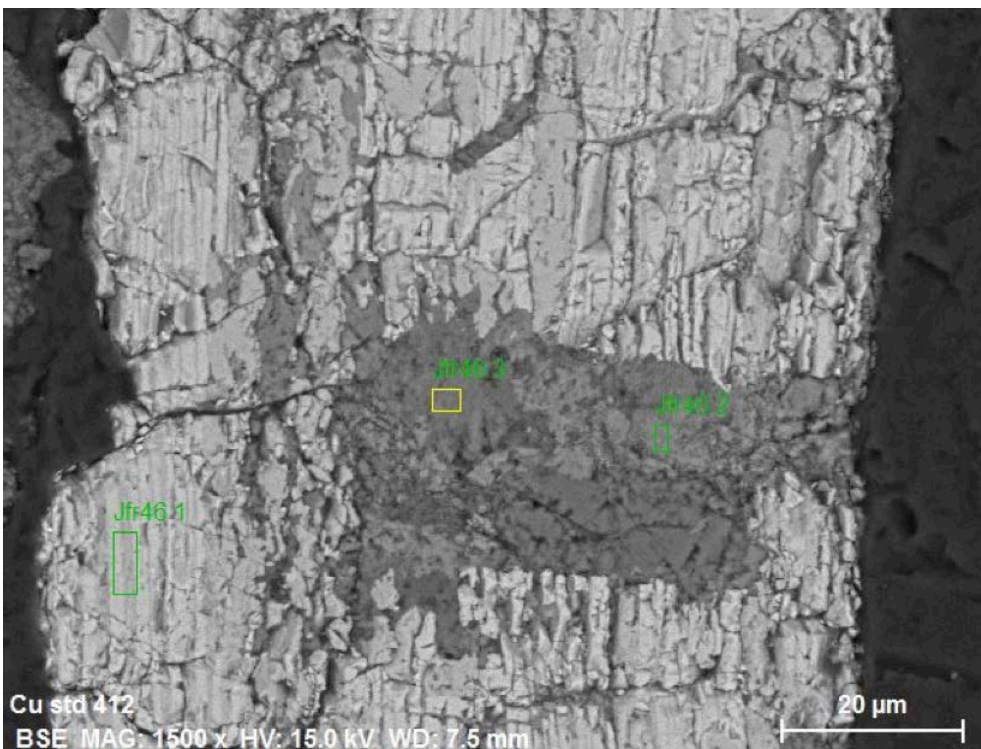
Sphene kemur fyrir í sýnum 39-2157 (Mynd 4.7) og 38-2266.

Ferro-aktínólít var staðfest með efnagreiningu í sýni 25-2082 (Tafla 4.11). Samsetning aktínólítsins einkennist af háu  $\text{Na}_2\text{O}$  sem endurspeglar efnasamsetningu umhverfisins. Natríum situr nær eingöngu í A-sæti aktínólítsins en getur einnig staðgengið lítillega fyrir Ca (Deer et al., 1992). Magn Na í A-sætinu getur numið 0,4 mól af formúlu amfíbóls (miðað við 23 súrefni). Þetta samsvarar 2,0-2,2 þungaprósentum af  $\text{Na}_2\text{O}$ , en þungaprósenta Na breytist lítillega með Fe/Mg hlutfalli kristalsins þar sem Mg er léttur málmur. Í Töflu 4.11 sést að hátt Ca og Na fer saman við lágt Fe og Mg eins og gera má ráð fyrir. Ferro-aktínólítið í Kröflu endurspeglar hátt Na í umhverfinu og er þannig frábrugðið Na-lausu ferro-aktínólíti úr einsleitu, ummynduðu alkali-snaudu basalti. Munurinn liggur því aðeins í Na innihaldi en í Na-snaudu aktínólíti er A-sætið ekki fyllt.

Niðurstaðan er sú að mismunur í ummyndunarsteindum sýnanna orsakast af mismunandi bergsamsetningu og mismunandi oxun en vissulega eru öll sýnin í klórít-epidót beltinu og hugsanlega í efri hitamörkum þess sem marka má af tilvist aktínólíts.



Mynd 4.6 Séð ofan í vatnsæð í bergbroti þar sem wollastónít er að falla út og fylla æðina (greining 1, fyrir miðja mynd). Einnig má sjá stakan epídót-kristal (greining 2, ofarlega, vinstra megin við miðju) myndast þarna á milli. Greining númer 4 (vinstra megin á mynd) sýnir andradít í grunnmassanum.



Mynd 4.7 Sphene (Ca-títanítt) myndast í cpx-ágít kristal. Ti losnar úr ilmenít eftir oxun þess og FeO losnar úr cpx-grindinni eftir oxun. Oxaða járníð sem losnar úr cpx-kristalnum nýtist til að mynda til dæmis Hm, epídót eðat leir.



## 5 Vökvabólurannsóknir

Vökvabólurannsókn var gerð á sýnum úr þremur borholum (KJ-38, KJ-39 og KG-25) innan Kröflusvæðisins. Þessar holur eru staðsettar á ólíkum stöðum innan Kröfluöskjunnar og því athyglisvert að sjá hvort mælingar gefi mismunandi niðurstöður á milli svæða. Allar holurnar urðu fyrir áhrifum Kröflugoss, þegar kvikugas komst inn í jarðhitakerfið. Sýni voru valin á um 200 metra fresti frá 1800 metra dýpi og niður á botn holanna. Flestar greiningar voru gerðar í kvarsí og plagíóklas en einnig voru vökvabólur skoðaðar í prehníti, kalsíti, epídóti og wairakíti. Vökvabólur í wairakíti þykja þó ekki nægilega áreiðanlegar þegar kemur að mælingu á samrunahita, því við hitun á vökvinn auðvelt með að sleppa út úr vökvabólunni og inn í kristalstrúktúrinn, en mikilvægt er að rúmmálið sem vökvabólur er í breytist ekki til að nákvæmar mælingar fáiast (Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, munnleg heimild, 2012). Jarðlaga- og berggreiningar voru hafðar til hliðsjónar þegar sýnin voru valin.

Við vökvabólurannsóknir á tilraunastofum er mikið lagt upp úr því að greina svokölluð „fluid inclusion assemblage (FIA)” þar sem gengið er út frá því að allar innlyksur á sama svæði séu af sama uppruna, hafa myndast við nákvæmlega sama hita og þrýsting, og séu með sömu efnasamsetningu (Bodnar, R.J., 2003). Ekki er hægt að gefa sér þessi skilyrði í þessari rannsókn þar sem ekki var lögð sérstök áhersla á að greina þessi fylki.

Vökvabólurannsóknir úr svarfi eru erfiðar og oft nær ógerlegt er að greina um hvort vökvainnlyksur séu prímerar eða sekúnderar þar sem kornin eru bæði brotin og mjög smá. Af þeim sökum var ekki lögð sérstök áhersla á greiningu af þessu tagi, en þar sem það var greinilegt voru innlyksurnar að mestu leyti sekúnderar. Sekúnderar innlyksurnar einkennast af því að þær safnast saman og mynda röð eða þyrpingar í sprunguþlani kristalsins.

Innskot við ríkjandi bergþrýsting getur aðeins verið þar sem innskotið er einangrað frá grunnvatni. Vökvabólur í slíku innskoti væru þar af leiðandi úr eldfjallagasi og kristallarnir jafnvægiskristallar bergs en ekki ummyndunarsteindir. Í þessu verkefni er gert ráð fyrir að innlyksur í ummyndunarsteindum á 2 km dýpi hafi myndast við 0,2 kbar þrýsting við íslausar aðstæður eða mögulega allt að 0,3 kbara þrýsting ef að auki er gert ráð fyrir um 1 km þykkum jökli yfir svæðinu. Þessi lági þrýstingur gerir það að verkum að hugsanlegar þrýstingsákvarðanir út frá vökvabólum eru nánast ógerlegar.

Viðfangsefnið er rætt út frá þeirri staðhæfingu að vökvabólur myndist í tvífasa kerfi, þ.e. á suðumarksferli.

### 5.1 Borhola KJ-38

Hola KJ-38 í Kröflu var boruð sumarið 2008 í þeim tilgangi að afla meiri orku vegna fyrirhugaðrar stækkunar Kröfluvirkjunar. Holan er staðsett rétt norðan við Hveragil og suðaustan við sprengigíginn Víti (Mynd 1.1). Hún var stefnuboruð skáhallt á

Hveragilssprunguna til að kanna lekt sprungukerfanna til norðurs og vinnslueiginleika jarðhitavökvans (Anette K. Mortensen o.fl., 2008). Lokadýpi holunnar var 2700,1 metrar.

Hveragil markar skilin á milli Suðurhlíða- og Leirbotnakerfanna í Kröflu (Valgarður Stefánsson, 1981; Halldór Ármannsson o.fl., 1987). Mælt hitastig í holunni bendir til að holan sé boruð í Leirbotnakerfið þar sem hitinn var innan við 210°C niður á 1650 m dýpi. Eftir að borun lauk var mældur hiti kominn yfir 300°C neðan við 2100 m (Magnús Á. Sigurgeirsson o.fl., 2008).

Sýni úr holu KJ-38 voru tekin af fimm dýptarbilum á 1850 m, 2050 m, 2200 m, 2440 m og 2580 m dýpi. Svarfið úr þessari holu er mjög fínt og því í mörgum tilfellum erfitt að greina kristallana til tegunda með fullri vissu. Kristallarnir voru límdir upp á plötu og póleraðir öðru megin en ekki var unnt að pólera báðar hliðar vegna smæðar þeirra. Reynt var að greina þá kristalla sem höfðu flatan og tæran kristalflöt án þess að slípa þá.

Samrunahiti var mældur í 16 kristöllum og voru þeir að mestu leyti kvars, þ.e. 11 af 16 kristöllum. Aðrar tegundir voru plagíóklas, kalsít og prehnít. Mikill munur var á því hversu margar vökvabólur fundust í hverju sýni, allt frá einni vökvabólu upp í 42. Samrunahiti var mældur í samtals 178 vökvabólum í þessum sýnum.

Niðurstöður vökvabólumælinga úr borholu KJ-38 eru sýndar á Mynd 5.1. Mælingar á samrunahita eru þar teknar saman og settar í stöplarit ásamt áætluðum berghita. Samrunahitinn reyndist vera talsvert breytilegur.

Mældur vökvabóluhiti í mörgum bólu í sama kristal eða í samgrónum kristöllum sýnir ávallt nokkra dreifingu. Í slíku tilfalli er meðaltal mælingana notað sem endanleg hitamæling.

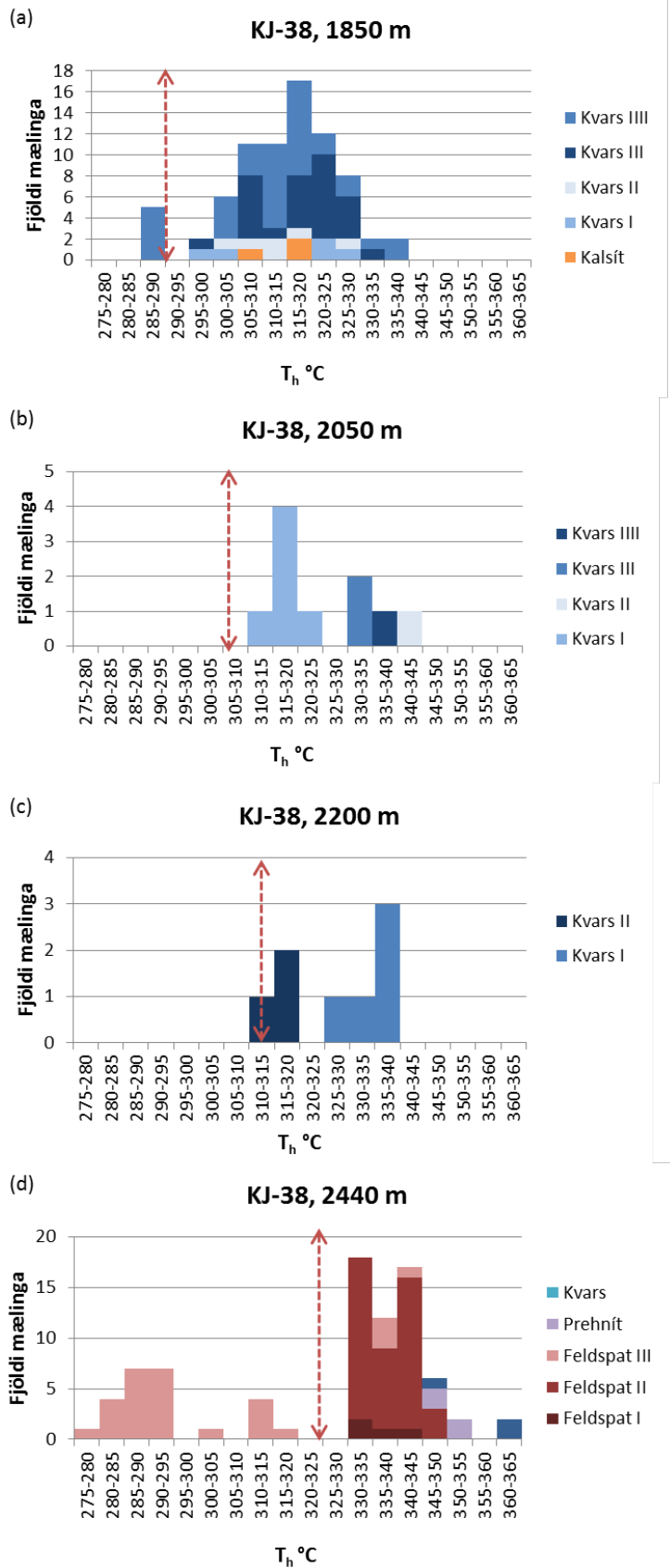
$T_h$  gildið á 1850 m dýpi í holu KJ-38 náði frá 285–340°C í kvarsi og frá 305–320°C í kalsíti (Mynd 5.1(a)). Áætlaður berghiti á þessu dýpi er 290°C. Lægsta  $T_h$  gildið (285°C) í kvarsi er 5°C lægra en áætlað berghitastig og hæsta  $T_h$  gildið (340°C) í kvarsi er 50°C hærra en berghiti á þessu dýpi (290°C). Meðalhiti fyrir vökvabólur í kvarsi á 1850 m dýpi er 299°C og er 9°C hærra en berghitinn. Í kalsít er lægsta  $T_h$  gildið (305°C) 15°C hærra en berghiti og hæsta gildið (320°C) er 30°C hærra en berghiti. Meðalhitinn í kalsít er 312,5°C sem er 22,5°C hærra en berghiti. Vökvabólur í kvarsi sýna hitastig í nálægð við áætlaðan berghita en vökvabólur í kalsíti eilítið hærra hitastig, en það gæti bent til þess að vökvinn í þessari innlyksu hafi lokast inni þegar hitastig í kerfinu var svolítið hærra. Hitastigsmunurinn er þó ekki nógu afgerandi til að hægt sé að segja til um hvort jarðhitakerfið sé að kólna.

$T_h$  gildið á 2050 m dýpi náði frá 310–345°C í kvarsi (Mynd 5.1(b)). Áætlaður berghiti á þessu dýpi er 306°C. Lægsta  $T_h$  gildið (310°C) er aðeins 4°C hærra en berghitinn en hæsta  $T_h$  gildið (345°C) er 39°C hærra. Meðalhitinn í vökvabólum í kvarsi á þessu dýpi er 327,5°C og er þá 21,5°C hærri en berghitinn. Þessi hitamunur gefur til kynna að vökvinn hefur lokast inni í kristöllunum við talsvert hærra hitastig en mælist nú í kerfinu.

$T_h$  gildið á 2200 m dýpi náði frá 310–340°C í kvarsi (Mynd 5.1(c)). Áætlaður berghiti á þessu dýpi er 312°C. Lægsta  $T_h$  gildið (310°C) er aðeins 2°C lægra en berghitinn en hæsta gildið (340°C) er 28°C hærra. Meðalhitastig er 325°C og er 13°C hærra en berghitinn. Þessi gildi eru nokkuð nálægt núverandi hitaástandi kerfisins.

$T_h$  gildið á 2440 m dýpi náði frá 345-365°C í kvarsi og frá 345-355°C í prehnít (Mynd 5.1(d)). Hitastigið var mun dreifðara í feldspat krilstöllum, en þar var bilið á milli 275-350°C. Áætlaður berghiti er 320°C. Lægsta  $T_h$  gildið í kvarsi (345°C) er 25°C hærra en berghitinn og hæsta gildið (365°C) er 35°C hærra. Meðalhitinn er 355°C og er 35°C hærra en berghitinn. Lægsta  $T_h$  gildi í prehníti (345°C) er 25°C hærra en berghitinn og hæsta gildið (355°C) er 35°C hærra, meðalhitagildið er 350°C og er 30°C hærra en áætlaður berghiti. Í feldspat krilstöllum var lægsta  $T_h$  gildið (275°C) 45°C lægra en berghitinn en hæsta  $T_h$  gildið (350°C) 30°C hærra. Meðalhitastig í vökvabólum í feldspat er 312,5°C, sem er 7,5°C lægri en áætlaður berghitastig. Þetta segir okkur að þegar vökvinn í kvarsi og prehnít lokaðist inní krilstöllum sínum var kerfið eitthvað heitara eða aðstæður við myndun þessara steinda aðrar en við myndun feldspatsins sem sýnir lægra hitastig en áætlaður berghiti. Líklega er hér um að ræða mismunandi kynslóðir af innlyksum í krilstöllum sem eru að myndast við mismunandi aðstæður. Mikil breidd er í hitamælingum í feldspatinum og væri hægt að skýra það með því að kristallinn sé mjög gamall og eigi sér langa myndunarsögu sem gefur misheitar vökvabólur.

Ekki var mögulegt að greina neinar vökvabólur úr svarfi af 2580 metra dýpi. Svarfið var mjög smátt og ekki hægt að slípa kornin án þess að tapa þeim flestum. Gerðar voru athuganir á fáeinum krilstöllum, án þess að slípa þá, en ekki var unnt að greina neinar vökvabólur.

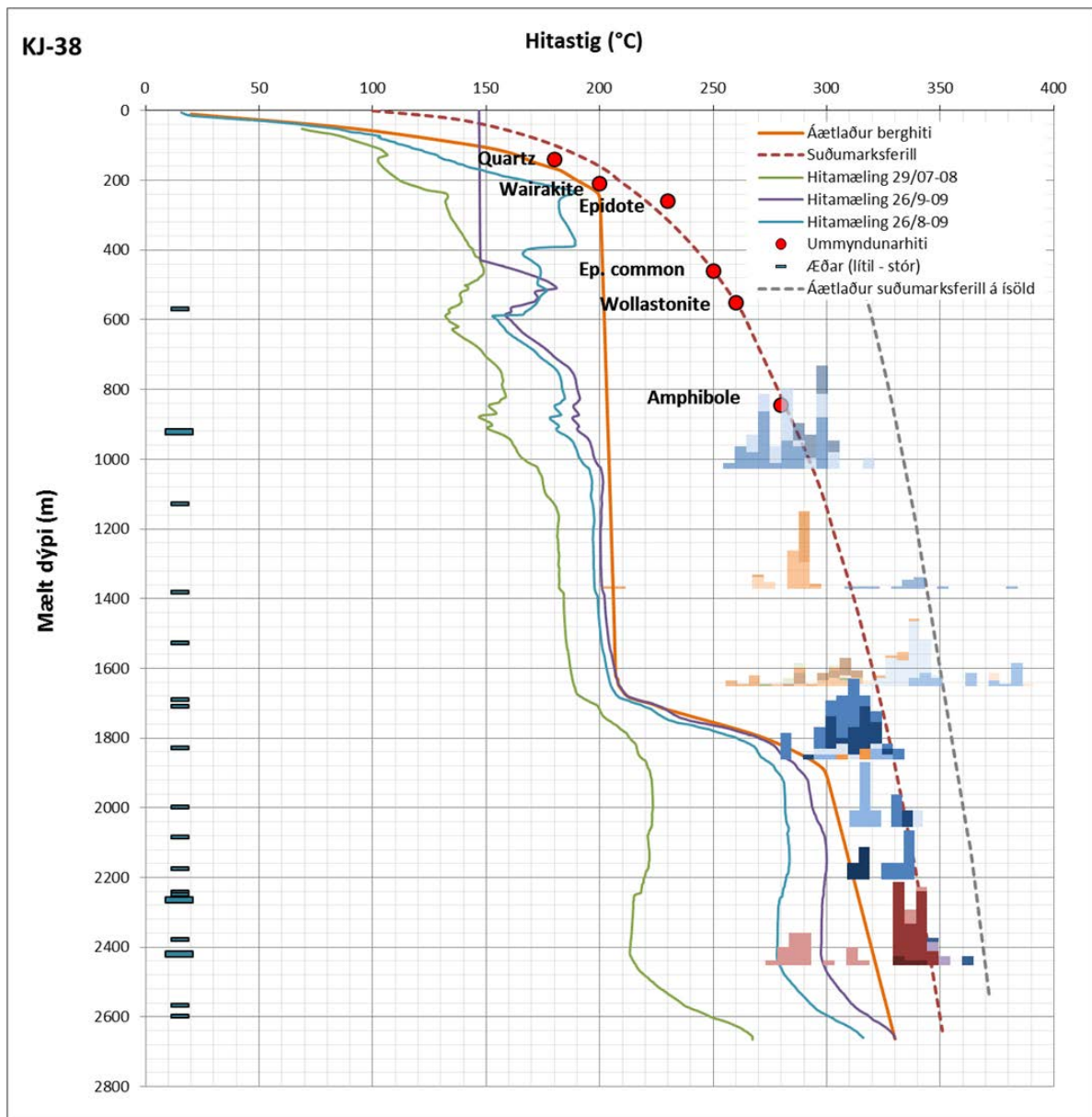


Mynd 5.1 Niðurstöður mælinga á samrunahita úr KJ-38. Hvert stöplarit sýnir ákveðið sýnadýpi úr borholunni. Fjöldi mælinga á y-ás er teiknaður á móti samrunahita á x-ás. Hver kristall er táknður með sér lit og áætlaður berghiti fyrir tiltekið dýpi er táknður með raudri línu.

Á Mynd 5.2 er samrunahiti í vökvabólum borinn saman við mældan hita, áætlaðan berghita úr frá hitamælingum og ummyndunarhita í holunni. Einnig má sjá suðumarksferil vatns, miðað við mælt dýpi og áætlaðan suðumarksferil vatns ef gert er ráð fyrir 1 km þykku jökulfargi. Ummyndunarhitinn sýnir að jarðhitakerfið hefur verið við suðumark niður að minnsta kosti 900 m dýpi og um 270-300°C heitt neðst í holunni. Þegar niðurstöður mælinga á samrunahita úr vökvabólum eru skoðaðar sérstaklega, sést að samrunahitinn fellur á suðumarksferilinn á öllum mældum dýpum. Á 2200 m og 2440 m dýpi var algengast að hitinn mældist við suðumark og á 1850 m, 2050 m og 2440 m dýpi mældist hiti yfir suðumarki í vökvabólum í kvarsí og prehníti. Jarðhitakerfið hefur því verið sjóðandi allt niður á 2440 m dýpi. Hitastig í innlyksum sem mælist yfir suðumarki er hægt að skýra á fleiri en einn veg, til dæmis með auknu hitastigi eða með auknum þrýstingi. Mikill hiti fylgir nýjum innskotum og kristallar taka að falla út við sama hitastig og þrýsting. Við þesskonar aðstæður ætti hitadreifing í vökvabólum ekki að vera mikil, sérstaklega ekki í prímerum vökvabólum en hún gæti verið nokkur í sekúnderum vökvabólum. Aukinn þrýstingur á kerfið vegna jökulfargs er önnur skýring, en aukinn þrýstingur breytir stöðu suðumarksferilsins í kerfinu og því líklegt að vökvainnlyksurnar hafi myndast á suðumarksferlinum við meiri þrýsting. Önnur möguleg skýring getur verið breytilegt gufuhlutfall í vökvabólunum en því meiri sem gufan er því herra hitastig getur fengist og styður það þá kenningu að vökvabólurnar hafi myndast þegar vökvinn í jarðhitakerfinu var í suðu.

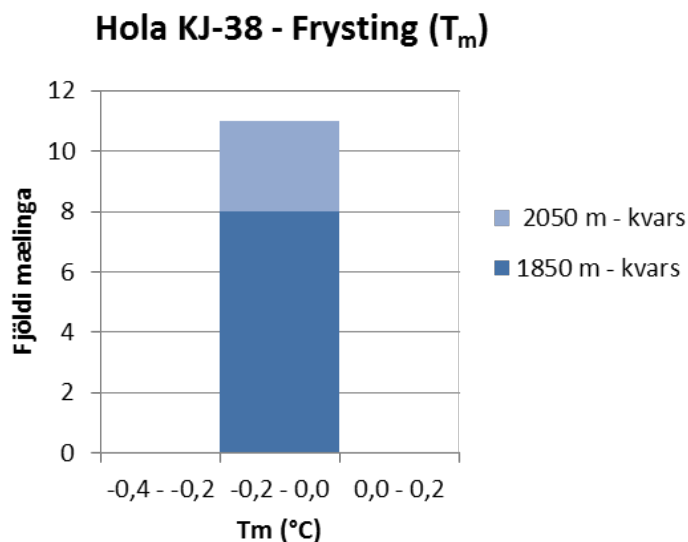
Ummyndunarhiti í holunni fylgir suðumarksferlinum nokkuð vel en vert er að hafa í huga að ummyndunarsteindirnar geta verið að sýna atburði frá öðru tímaskeiði. Kvars og wairakít lenda aðeins fyrir innan suðumarksferilinn sem hægt væri að skýra á þá vegu að þessir kristallar hafi myndast á yfirborði við lægri hita og þrýsting en með tímanum hafi þeir færst dýpra í kerfið. Epídót lendir rétt fyrir ofan suðumarksferilinn og wollastónít og amphíból lenda beint á hann. Epídótið er það nálægt suðumarksferlinum að mögulega gæti verið um skekkju að ræða en einnig væri hægt að skýra háan hita þess með auknum þrýstingi á kerfið vegna jökulfargs. Mælt hitastig í vökvabólum úr 2440 m dýpi er mjög breytilegt og nær frá 275°C til 365°C. Algengasta mælda hitastigið er 330-335°C og er rétt fyrir neðan suðumark en næstalgengasta hitastigið er 340-345°C og fellur það beint á suðumarksferilinn. Einn felspat kristall mældist með mun lægra hitastig sem fellur neðan við berghitann. Þessi kristall gæti hafa myndast ofar í kerfinu, eins og skýringin um ummyndunarsteindirnar kvars og wairakít, og með tímanum færst neðar í staflann, en hann gæti einnig hafa blandast í svarfið á leið sinni upp úr holunni. Önnur skýring, er að hann sé vísbending um kælingu þó svo að samrunahitinn hafi í flestum tilvikum mælst mun hærri.

Á myndinni má sjá þrjú stöplarit í veikari lit sem sýna samrunahita í vökvabólum frá dýptarbilunum 1028-1050 m, 1368-1390 m og 1672-1686 m. Ákveðið var að hafa þessar mælingar með til að fá sem besta heildarmynd af holunni. Anette K. Mortensen og Helga Margrét Helgadóttir (2009, 2010) greindu þessi sýni úr kalsít- og kvarsútfellingum árið 2008. Vökvabólumælingar þeirra eru að hluta til sambærilegar og í þessari rannsókn, en vökvabólur ofar í holunni sýna mikla breidd. Á 1300-1600 m dýpi greindist vökvabóluhiti milli 200°C-380°C. Hæstu hitastigin mæld í þeirra rannsókn eru líklega ekki úr eiginlegum jarðhitavökva því hitinn er hærri en krítískur hiti vatns. Slíkar vökvabólur gætu hafa myndast við innskot. Megin niðurstaða Helgu Margrétar og Anette er að hitadreifingin endurspeglar blöndun og suðu, sem virðist bera vel saman við það að ekki mælist svona hár hiti neðar í holunni.



Mynd 5.2 Skýringarmynd úr vökvólumælingum úr holu KJ-38. Á myndinni má sjá mældan samrunahita í vökvabólum (stöplar), ummyndunarhita (rauðir hringir), mældan hita í borholu (línur), áætlaðan berghita (appelsínugul lína), suðumarksferil (rauð brotalína) og áætlaðan suðumarksferil á ísöld (grá brotalína). Einnig má sjá þrjú stöplarit í veikari lit sem eru úr rannsókn Anette K. Mortensens og Helgu Margrétar Helgadóttur (2009). Á y-ás er mælt dýpi og á x-ás hitastig.

Frostmark ( $T_m$ ) var mælt í 11 vökvabólum úr tveimur kvarskristöllum. Annar var tekinn af 1850 m dýpi og hinn af 2050 m dýpi. Í öllum bólunum var fyrsta hreyfing greind við  $-0,2^\circ\text{C}$  og allur ís var horfinn við  $0^\circ\text{C}$ , því má ætla að um ferskvatn sé að ræða (Mynd 5.3).



Mynd 5.3 Frostmark í vökvabólum úr holu KJ-38.

## 5.2 Borhola KJ-39

Hola KJ-39 í Kröflu var boruð sumarið 2008 og var endanlegt dýpi hennar 2865 metrar en þá komst borinn ofan í hreina kviku. Holan er staðsett syðst í Leirbotnum, rétt sunnan og vestan við Hveragil (Mynd 1.1). Holan var skáboruð og stefnt í austurátt úr Leirbotnasvæðinu yfir í Suðurhlíðasvæðið undir Grænagili. Hitamælingar sýna enga lekt fyrir neðan 2720 m dýpi, en hitinn hækkaði hratt þar fyrir neðan og á 2815 m dýpi mældist hann  $385,6^{\circ}\text{C}$  sem er hæsti hiti sem mælst hefur í borholu á Íslandi (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009).

Sýni voru tekin á sex dýptarbilum úr holu KJ-39, á 1791-1800 m, 2022-2031 m, 2186-2195m, 2415-2424 m og 2597-2606 metra og úr botni holunnar. Vökvabóluhiti var helst mældur í feldspat og kvars en erfitt var að finna aðrar nothæfar steindir á þessum dýptarbilum. Kristallarnir voru margir greindir ópóleraðir en flestir voru límdir upp og póleraðir öðru megin, en svarfið var of smátt til að hægt væri að pólera tvær hliðar kristallsins.

Samrunahiti var mældur í vökvabólum úr 10 kristöllum úr efstu þremur dýptarbilunum. Þar af voru sex feldspat kristallar, tveir kvars kristallar, einn prehnít og wairakít. Samtals voru greindar 100 vökvabólur í þessum kristöllum. Mikill munur var á því hversu margar vökvabólur fundust í hverju sýni, en það má skýra með því að einungis er um brot af kristöllum að ræða en ekki heila kristalla. Talsvert fleiri kristallar voru skoðaðir á þessum dýptarbilum og fyrir neðan 2195 metra, en í þeim kristöllum virtust allar bólurnar vera “tómar” eða einfasa. Ekki var hægt að greina neina breytingu á bólunum þrátt fyrir að kristallarnir hafi verið hitaðir upp í allt að  $600^{\circ}\text{C}$  og má af því telja að um einfasa gasbólur sé að ræða fremur en glerlinsur, en áberandi ljósbrotsmunur á kanti vökvabólunnar gerir þær frábrugnar frá glerlinsum.

Á Mynd 5.4 hafa verið settir upp stöplur sem sýna niðurstöður samrunahitamælinga í vökvabólum úr holu KJ-39 og áætlaðan berghita. Samrunahitinn í vökvabólunum var talsvert breytilegur.

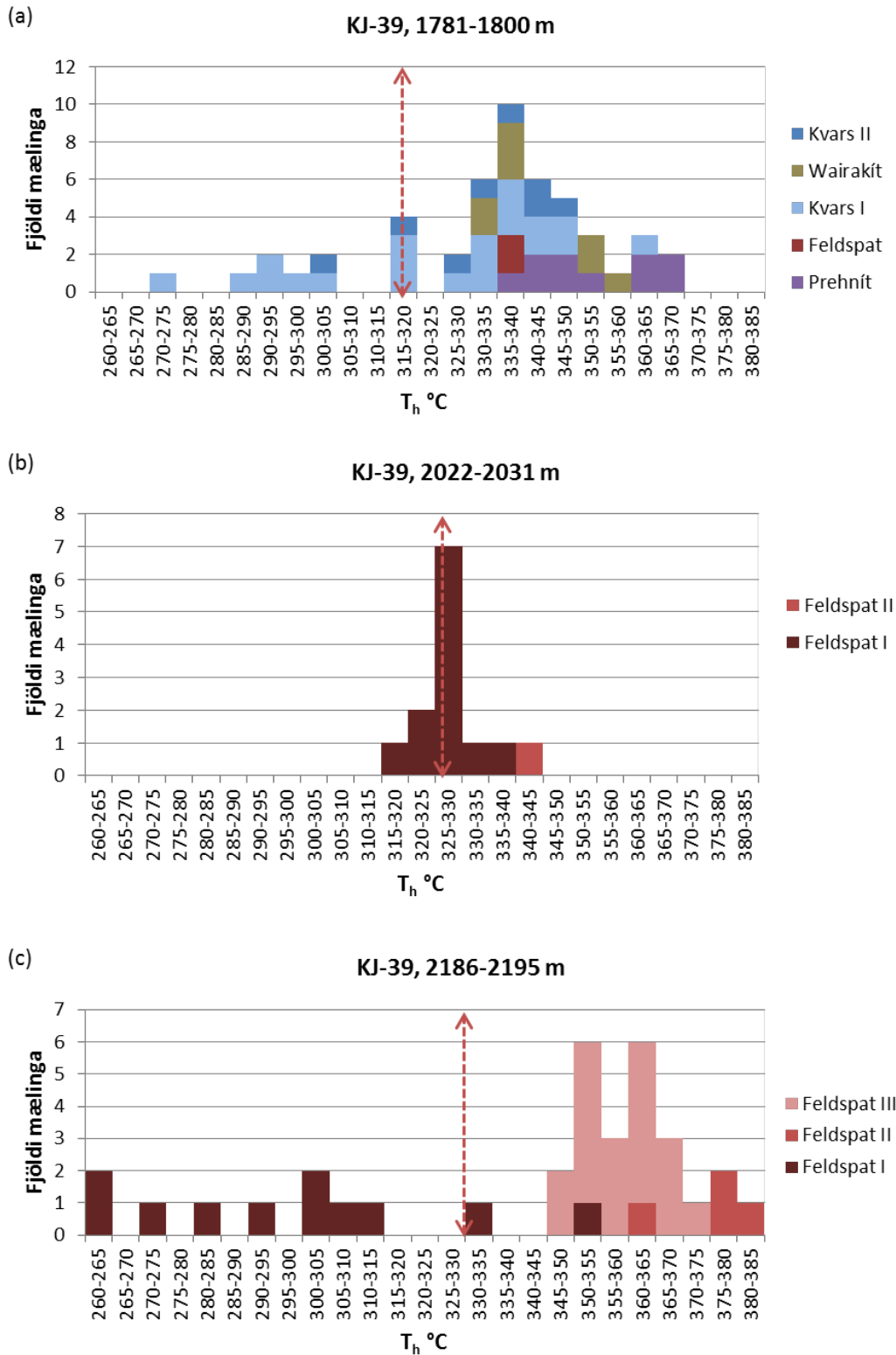
$T_h$  gildið á 1781-1800 m dýpi náði frá 260-350°C í kvarsi, frá 330-360°C í wairakít, 335-355 í prehníti og 335-340°C í feldspat (Mynd 5.4(a)). Áætlaður berghiti á þessu dýpi fylgir suðumarksferlinum og er á 1800 m dýpi 318°C. Í kvarsi er lægsta  $T_h$  gildið (260°C) 58°C lægra en berghitinn og hæsta gildið (350°C) er 32°C hærra. Þessi hitabreyting er talsvert mikil í sama korninu og því líklegast um mjög gamlan kristal að ræða með langa myndunarsögu. Vökvainnlyksurnar eru eflaust ekki af sömu kynslóð og hafa því ekki lokast inni á sama tíma. Heitari innlyksurnar eru líkega sekúnderar og hafa lokast inni þegar meiri þrýstingur var í kerfinu eins og á ísöld þegar jökulís lá yfir svæðinu. Þær kaldari væru þá prímerar og hafa lokast inni við myndun kristallsins ofar í kerfinu við lægri hita og þrýsting. Meðalhitastigið í þessum vökvabólum er 305°C og er það 13°C lægra en suðumarksferillinn og berghitinn. Í wairakít er lægsta  $T_h$  gildið (330°C) 12°C hærra en berghitinn og hæsta gildið (360°C) 42°C hærra. Meðalgildið er 345°C sem er 27°C hærra en mældur berghiti. Í prehnít er þetta líkt og í wairakít, en þar er lægsta gildið (335°C) 17°C hærra en berghitinn og hæsta gildið (355°C) 37°C hærra. Meðalgildið (345°C) er 27°C hærra, eins og í wairakít. Í feldspat er hitadreifingin lítil (335°C-340°C) og eru gildin þar 17°C og 22°C hærra en berghitinn. Þær vökvainnlyksur sem falla talsvert yfir suðumarksferilinn gætu hafa myndast vegna innskotavirkni, en samkvæmt svarfgreiningum er ráðandi berggerð á þessu dýpi innskotsberg. Önnur líkleg skýring er að innlyksurnar hafi myndast við meiri þrýsting vegna jökulfargs.

$T_h$  gildið á 2022-2031 m dýpi náði frá 315-345°C í feldspat (Mynd 5.4(b)). Áætlaður berghiti á 2030 m dýpi er 326,5°C. Lægsta gildið (315°C) er 11,5°C lægra en berghitinn og hæsta gildið (345°C) er 18,5°C hærra. Meðalhitastig í vökvabólum á þessu dýpi er 330°C sem er aðeins 3,5°C hærra en áætlaður berghiti og sýnir það því nánast óbreytt hitaástand.

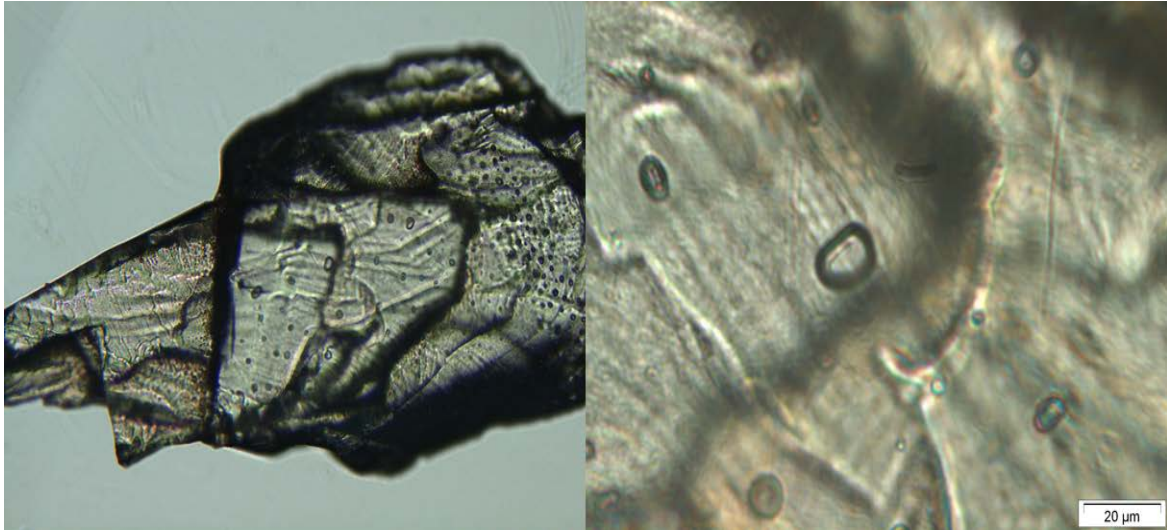
$T_h$  gildið á 2186-2195 m dýpi náði frá 260-385°C í feldspat (Mynd 5.4(c)). Áætlaður berghitastig á 2191 m dýpi er 331,9°C. Lægsta gildið (260°C) er 71,9°C lægra en mældur berghiti og hæsta gildið (385°C) er 53,1°C hærra. Þetta er mjög breytt hitabil og líklegasta skýringin á því væri mismunandi kynslóðir af innlyksum. Meðalhitinn er 302,5°C sem er 29,4°C lægra en áætlaður berghiti.

Enginn vökví var greinanlegur í vökvabólum á tveimur neðstu dýptarbilunum. Á 2415-2424 m dýpi voru kristallarnir fyrst athugaðir ópóleraðir, það reyndist ekki vel. Kristallarnir voru þá póleraðir öðru megin, en ekki var hægt að slípa tvær hliðar vegna smæðar þeirra. Að því loknu voru kristallarnir skoðaðir í bergfræðismjásjá með linsum með 5× og allt upp í 50× stækkun. Töluvert var um örsmáar, “tómar” bólur (Mynd 5.5) sem ekki var hægt að mæla samrunahita í. Á 2597-2606 m dýpi voru ótalmargar, pínulitlar, “tómar” bólur en í þeim var ekki hægt að greina neinn vökva. Líklega eru þessar innlyksur einfasa gasbólur þó einnig sé möguleiki á að þetta séu glerinnlyksur. Svarfið úr botni holunnar var að mestu leyti feldspat, pýroxen og járn-oxíð auk um 30-40% af fersku, súru gleri. Erfitt var að finna nægilega góð korn til að vinna með, en þau korn sem greind voru sýndu engin merki um vökvainnlyksur.





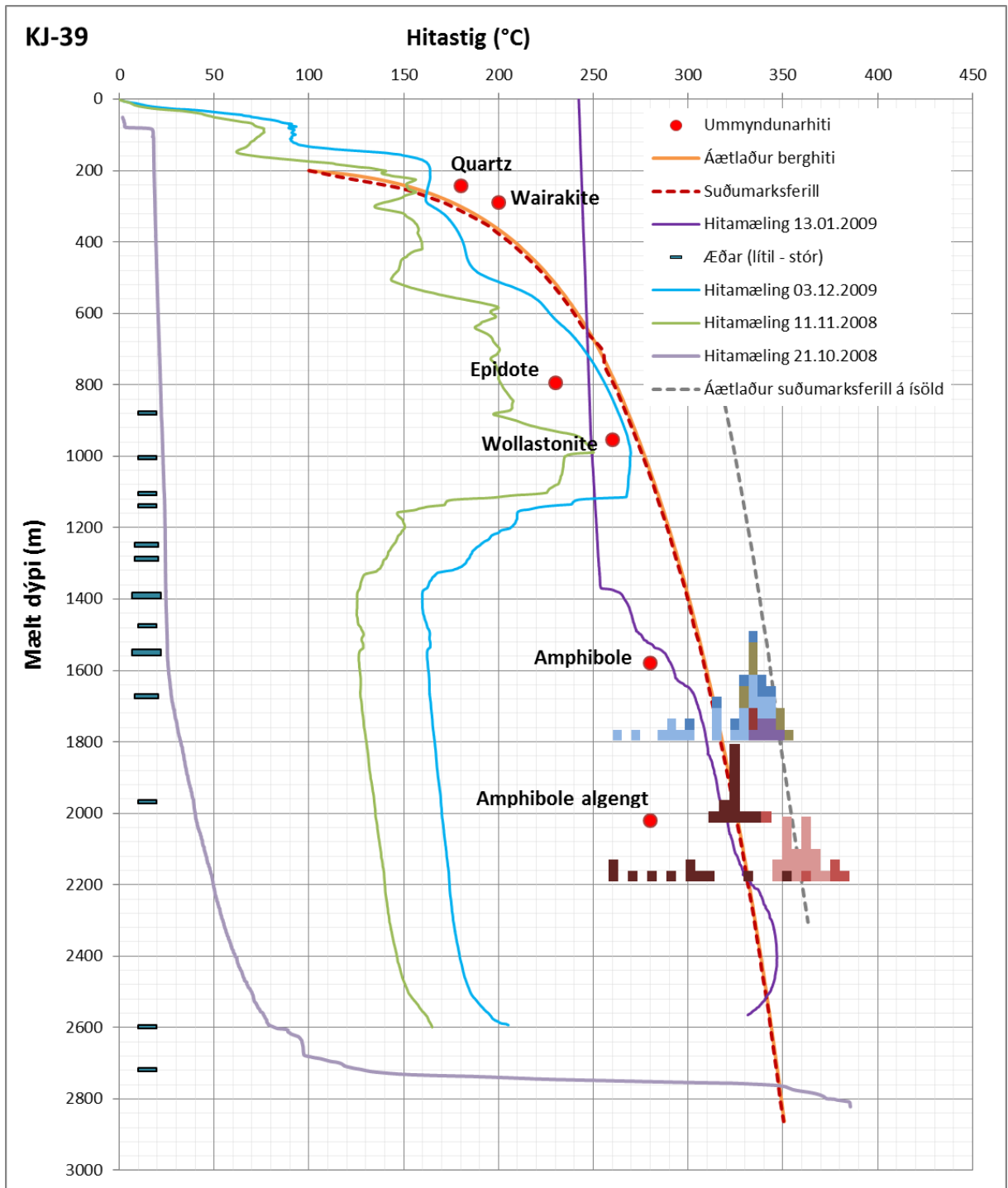
Mynd 5.4 Mælingar á samrunahita í vökvabólum úr borholu KJ-39. Mælingarnar eru sýndar á þremur stöplaritum sem hvert um sig sýnir ákveðið rannsakað dýptarbil. Á 1781-1800 m dýpi var hiti mældur í samtals 49 vökvabólum úr fimm kristöllum. Á 2022-2031 m dýpi var hiti mældur í 13 vökvabólum úr tveimur kristöllum og í alls 38 vökvabólum úr þremur kristöllum úr dýptarbili 2186-2195 m. Áætlað berghitastig fyrir hvert dýpi er táknad með rauðri línu.



Mynd 5.5 Ljósmynd af vökvabólum af 2415-2424 m dýpi úr holu KJ-39, sem sýndu engar breytingar við mælingar. Vökvabólurnar eru sýndar hér í 10x stækkun (mynd til vinstri) og í 50x stækkun (mynd til hægri).

Samspil vökvabólumælinga, ummyndunarhita, suðukúrfu vatns, hitamælinga úr borholu og áætlaðan berghita má sjá á Mynd 5.6. Í þessari holu fylgir berghitinn suðumarksferlinum alveg niður á botn og ummyndunarhitinn er undir suðumarki frá 800 m og niður fyrir 2000 m dýpi. Hitamælingar úr vökvabólum falla nokkuð vel á suðumarksferil vatns og á áætlaðan berghita. Þó gæti ávallt einhverra frávíka og eru nokkuð margar vökvabólur sem mælast með hærri hita og þó nokkrar með lægri en áætlaður berghiti.

Topparnir á 1781-1800 m dýpi og á 2186-2195 m dýpi eru talsvert fyrir ofan suðu og algengasta mælda hitastigið á 2022-2031 m dýpi fellur beint á suðumarksferilinn. Hitinn virðist hækka jafnt og þétt með dýpi og greinilegt að jarðhitakerfið hefur verið í suðu niður að 2200 m dýpi. Yfirhitinn gæti orsakast af hitnun vegna innskota eða stafað af auknum þrýsting í kerfinu vegna jökulfargs og af aukinni gufu, sem styður það að kerfið er í suðu. Á Mynd 5.6 má sjá áætlaðan suðuferil vatns ef gert er ráð fyrir 1 km þykku jökulfargi og sést þar hversu vel vökvabólurnar falla á þennan suðuferil. Tveir kristallar, kvars og feldspat, mældust með hita nokkuð fyrir neðan suðumark og áætlaðan berghita, eða allt niður í 260°C þar sem suðu- og berghiti mældist yfir 310°C. Þessar vökvabólur gætu sýnt fornt hitastig og þá gefið vísbendingar um að kerfið hafi hitnað en þar sem ekki var lögð sérstök áhersla á og erfitt var að greina um hvort vökvabólur væru prímerar eða sekúnderar er erfitt að skera úr um það.



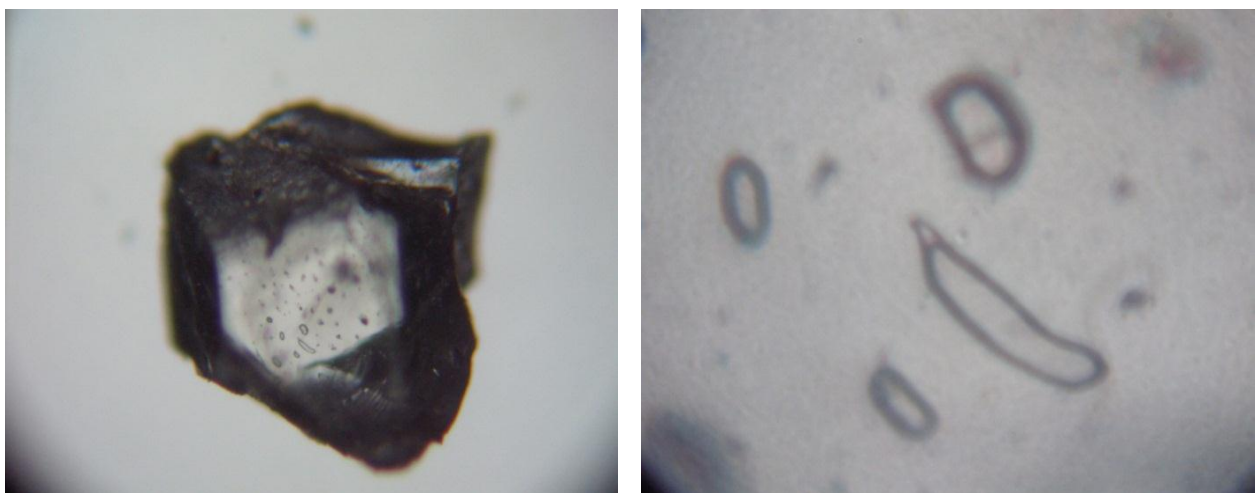
Mynd 5.6 Skýringarmynd úr vökvöðlumælingum úr holu KJ-39. Á myndinni má sjá mældan samrunahita í vökvabólum (stöplur), ummyndunarhita (rauðir hringir), mældan hita í borholu (línur), áætlaðan berghita (appelsínugul lína), suðumarksferil (rauð brotalína) og áætlaðan suðumarksferil á ísöld (grá brotalína). Dýpi á y-ás er mælt dýpi og hitastig er á x-ás.

## 5.3 Borhola KG-25

Hola KG-25 er í Vítismó, norðanvert á Leirbotnasvæðinu og er staðsett rétt sunnan við djúpborunarholuna IDDP-1 (Mynd 1.1). KG-25 var meðal annars boruð til að ganga úr skugga um að kvikugös úr Kröflueldum hefðu minnkað það mikið að hægt væri að nýta svæðið. Holan er bein og lauk borun í lok sumars 1990. Lokadýpi holunnar var 2105 m. Á 1600 m dýpi er hægt að draga skilin á milli efra- og neðra kerfis, en þar nær hitastigið suðumarki (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2008; Þorsteinn Egilsson, 2012).

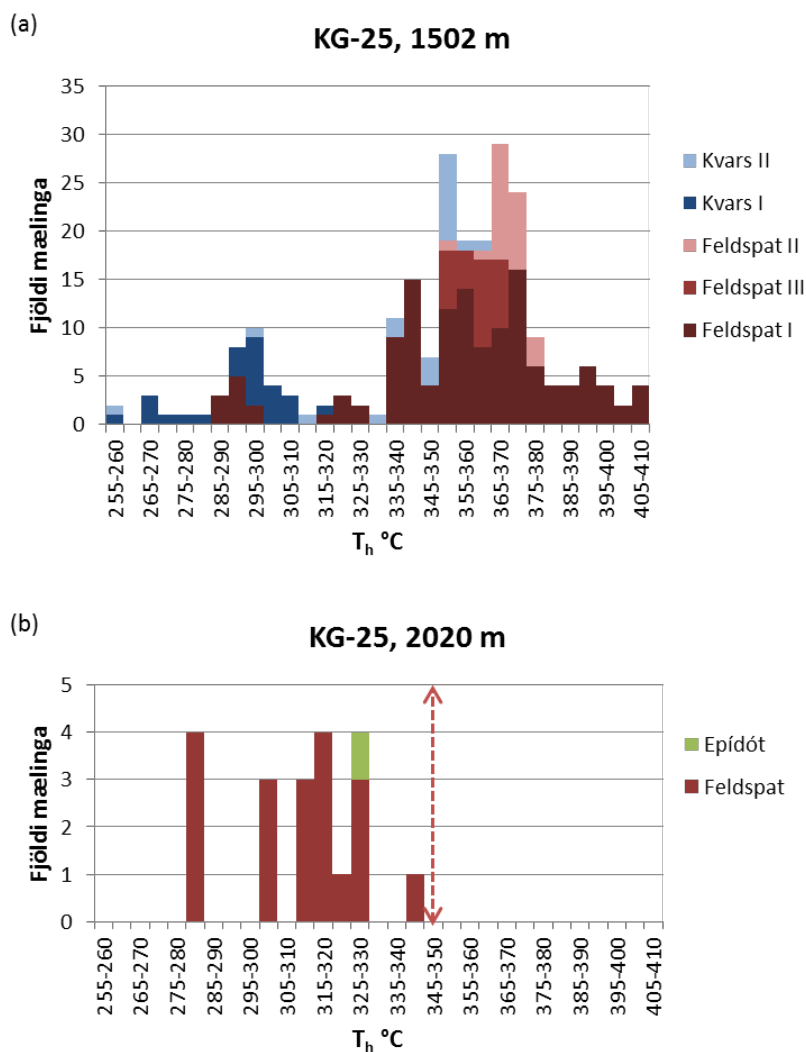
Tekin voru sýni af fjórum ákveðnum dýpum úr holu KG-25 og þau athuguð nánar. Sýnin voru tekin á 1922 m, 2020 m, 2088 m og 2092 metra dýpi og má sjá niðurstöður mælinga á Mynd 5.8 og Mynd 5.9. Kristallarnir voru límdir upp á plötu og póleraðir öðru megin, en eins og úr hinum borholunum þá voru kristallarnir of smáir til að hægt væri að pólera þá báðum megin.

Tugir feldspat- og kvarskristallar voru skoðaðir en aðeins einn kristall var með vökvabólu sem hægt var að greina vökva í. Þetta var samlímt korn, feldspat og epídót, sem fannst í svarfi á 2020 metra dýpi. Samrunahiti í alls tuttugu vökvabólum var mældur í þessu korni og náði  $T_h$  gildið frá 275-345°C í feldspat og 330°C í epídóti. Áætlaður berghiti á 2021,9 m dýpi er 345,2°C. Lægsta gildið í feldspat (275°C) er 70,2°C lægra en berghitinn og hæsta gildið (345°C) aðeins 0,2°C hærra. Meðalgildið í feldspat er 310 sem er 35,2 °C lægra en áætlaður berghiti. Mældur vökvabóluhiti í epídót er 330°C sem er 15,2°C lægra en berghitinn. Það verður að teljast mjög líklegt að þetta samlímnda korn eigi sér langa sögu og sé komið mun ofar úr kerfinu þar sem bæði hitastig og þrýstingur var lægri. Í korninu var einnig mikið um “tómar” bólar en enga breytingu var hægt að greina í þessum bólum, hvorki hreyfingu, litarmun eða aðra aflögun. Vökvabólurnar virtust „tómar” en voru með sterkan ljósbrotsmun á kantinu og eru því mögulega einfasa gasbólur (Mynd 5.7). Aðrar rannsóknir og mælingar hafa sýnt fram á að aukið gasmagn sé að finna neðst í þessari holu og getur því verið að megnið af þeim bólum sem finnast svo neðarlega séu einvörðungu að loka inni gas því vökvi sé ekki til staðar.



Mynd 5.7 Yfirlitsmynd af kvarsi (4x stækkun) úr holu KJ-39 af 2020 m dýpi. Á myndinni til hægri sést hvernig bólar eru aflaga og tómar.

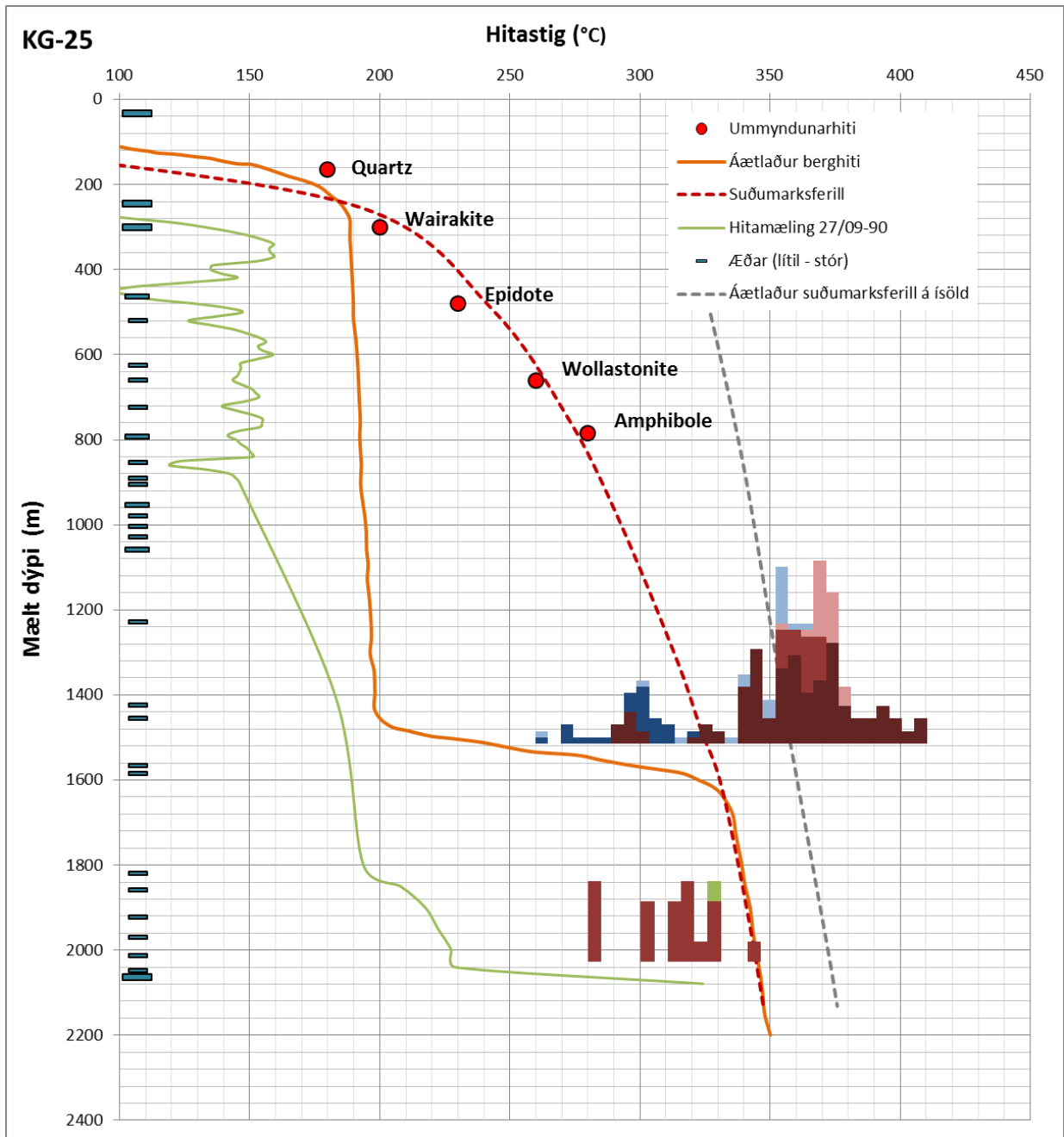
Vegna þess hversu fáar nothæfar vökvabólur fundust svo djúpt í holunni, voru sýni ofar úr holunni skoðuð. Á 1502 m dýpi var hitastig mælt í samtals 230 vökvabólum úr kvasi og feldspat kristöllum.  $T_h$  gildið á 1502 m dýpi náði frá 285-410°C í feldspat og 255-365°C í kvasi. Áætlaður berghiti á 1503,1 m dýpi er 228,6°C. Lægsta  $T_h$  gildið í feldspat (285°C) er 56,4°C hærra en berghitinn og hæsta gildið (410°C) 181,4°C hærra. Meðagildið í feldspat er 347,5°C sem er 118,9°C hærra en berghitinn, og er það talsverður munur. Lægsta gildið í kvasi (255°C) er 26,4°C hærra en berghitinn og hæsta  $T_h$  gildið (365°C) er 136,4°C hærra. Meðalhitinn er 310°C sem er 81,4°C hærra en áætlaður berghiti. Allar þessar hitamælingar eru talsvert fyrir ofan mældan berghita og er hægt að skýra það með annars vegar hærra hitastigi vegna innkomu innskots sem er alveg þétt og einangrað, og hins vegar með auknum þrýstingi í kerfinu vegna jökulíss.



Mynd 5.8 Mælingar á samrunahita í vökvabólum úr holu KG-25. Mælingarnar eru sýndar á tveimur stöplaritum sem hvort um sig sýnir ákveðið rannsakað dýpi. Á 1502 m dýpi var hiti mældur í samtals 230 vökvabólum úr fimm kristöllum. Á 2020 m dýpi var hiti mældur í 20 vökvabólum úr einu samlímdu korni. Áætlað berghitastig fyrir hvert dýpi er táknad með rauðri línu.

Á Mynd 5.9 má sjá samspil vökvabólumælinga, ummyndunarhita, suðukúrfu vatns í dag og áætlaðan berghita. Á myndina hefur einnig verið teiknaður áætlaður suðuferill vatns ef gert er ráð fyrir 1 km þykkum jökulís. Eins og glögglega má sjá á mældum berghita skiptist kerfið í kaldari efri hluta og neðri hluta þar sem berghitinn fylgir suðumarksferlinum. Skiptingin á þessum tveimur svæðum er á um 1500-1600 m dýpi. Þær vökvabólur sem mældar voru á 2020 m dýpi lenda að mestu leiti innan við suðumarksferilinn og geta þær bæði verið vísbending um að kerfið sé að hitna eða að þessar bólur hafi myndast þegar kristallinn var að falla út á suðumarksferli, ofar í kerfinu. Toppur fyrir samrunahita í innlyksum ofar í kerfinu lenda flestir fyrir ofan suðumarksferilinn og er eins og áður hægt að skýra það bæði með innskotavirkni eða með auknum þrýstingi á kerfið. Á Mynd 5.9 er það nokkuð afgerandi hversu vel samrunahitamælingar úr vökvabólum á 1502 m dýpi falla vel á áætlaðan suðuferil vatns með 1 km þykku jökulfargi. Ummyndunarhitinn sýnir ekki eins hátt hitastig og vökvabólumælingarnar, heldur fellur hann nokkuð vel á þann berghita og suðumarksferil sem er talinn vera í kerfinu í dag. Líklegasta skýringin á þessum mismun er að sýnin eru að gefa okkur upplýsingar frá mismunandi tímum í jarðhitakerfinu. Líklegt er að ummyndunarsteindirnar séu að sýna ástand kerfisins eins og það er í dag á meðan að vökvabólurnar sýni hvernig kerfið var þegar að jökull lá yfir. Berghitaferillinn sýnir svo greinilega hvernig kerfið hefur kólnað eftir síðustu jarðhræringar þegar sprungur hafa opnast.

Steindirnar eru greinilega að muna og sýna mismunandi tímabil í sögu jarðhitakerfisins. Áætlaður berghiti er það hitastig sem ríkir í kerfinu í dag og suðumarksferill vatns gæti verið að sýna síðustu 10.000 ár. Vökvabólur sem mælast yfir suðuferlinum gætu verið að sýna þann tíma sem ís var yfir kerfinu en þær vökvabólur sem lenda undir suðuferlinum eru mögulega myndaðar á suðuferli ofar í kerfinu og með tímanum hafa þær færst neðar. Einnig gætu þær verið að sýna kælingu vegna gliðnunarátburða.



Mynd 5.9 Skýringarmynd úr vökvólumælingum úr holu KG-25. Á myndinni má sjá mældan samrunahita í vökvabólum (stöplar), ummyndunarhita (rauðir hringir), mældan hita í borholu (línur), áætlaðan berghita (appelsínugul lína), suðumarksferil (rauð brotalína) og áætlaðan suðumarksferil á ísöld (grá brotalína). Dýpi á y-ás er mælt dýpi og hitastig er á x-ás.





## 6 Umræða og samantekt

Ummyndunarsteindirnar sem greindar voru í þessu verkefni benda eindregið til þess að dýptarbilið sem rannsakað var sé að mestu í klórít-epídót ummyndunarbeltinu en nái einnig niður í epídót-aktínólít-beltið. Frumsteindir sýnanna spanna stórt samsetningarbil sem staðfestir að frumbergið er allt frá frumstæðu þóleiít-basalti að rýólíti. Segja má að þetta samsetningarbil endurspeglar allar berggerðir sem gosið hafa innan öskjunnar.

Ekki er ein einföld skýring á því hvers vegna innlyksuhiti fellur undir suðumarksferil eða yfir hann. Vökvabólur sem myndast fyrir neðan suðumarksferil geta haft að minnsta kosti tvær skýringar. Annars vegar geta þær hafa lokast inni í kristal við hraðan vöxt hans á suðumarksferli, ofarlega í jarðhitakerfinu og með tímanum hafi kristallinn grafist neðar. Hins vegar getur orðið kæling á kerfinu vegna landhníks. Þegar sprungur opnast, eins og til dæmis í Kröflueldum, getur orðið skyndileg kólnun á þeim stað í kerfinu og í kjölfarið mikil og hröð útfelling á kísil, sem er kjöraðstaða fyrir myndun vökvabóla. Kristalkímin lokast hratt og mynda smáa kristalla, og örsmáar innlyksur lokast inni á milli kristalkímana. Dæmi um kælingu sem þessa er það mikla magn af heitu vatni sem rann með sprungum niður í Grjótagjá og út í Mývatn í Kröflueldum (Axel Björnsson o.fl., 1984). Ólíklegt er að stök innskot geti hafa hitað upp svo mikinn massa af vökva á svo stuttum tíma og því er líklegra að þetta sé jarðhitavatn úr kerfinu sem steypst hefur niður og borist norður og suður með sprungum. Kaldara úrkomuvatn hefur síðar safnast ofan í sprungurnar og kælt kerfið þar tímabundið. Svo virðist sem innlyksur í neðsta hluta borholanna séu töluvert smærri en þær sem finnast ofar, og ef það er rétt getur þessi tilgáta einnig átt við.

Þær innlyksur sem falla fyrir ofan suðumarksferilinn gætu hafa myndast við aukinn hita með tilkomu nýrra innskota eða löngu áður við aukinn þrýsting vegna jökulfargs.

Mynd 5.7 sýnir vökvalausar bólar en lögun þeirra er oft frábrugðin vökvafylltum bóllum. Vökvalausar bólar afmarkast gjarnan af kristalflötum en fylltar bólar eru frekar með lágmarks yfirborð og oftast „kúlulaga“. Munurinn gæti stafað af jöfnum og háum þrýstingi innan vökvafylltu bóllunnar sem er ekki til staðar í þeim vökvalausu. Sé yfirleitt vökvi í vökvalausu bóllunum er hann of lítill til að unnt sé að greina hann í smásjá. Þessar bólar eru líkegast nánast einfasa CO<sub>2</sub>-gasbólur.

Ef gasbólur blandast í vatn sem er á suðuferli verður suða í kerfinu þar sem innri gufubrýstingur í gasbólunni er langt undir jafnvægis-gufubrýstingi á suðuferli vatnsins. Þegar CO<sub>2</sub> þrýstist inn í jarðhitakerfi í miklum mæli, eins og til dæmis í Kröflueldum, verður mikil suða og einnig kæling í kerfinu. Blöndun á gasi við jarðhitavökvann veldur þá aukinni suðu og þar af leiðandi tímabundinni kælingu. Miklar og hraðar útfellingar verða við kælinguna og þar sem kerfið er á þessu stigi nær vökvasnautt eru miklar líkur á að jarðhitavökvinn verði súr og að nánast hreint gas lokist inn í bóllunum.

Greiningar á ummyndunarsteindum sýna að einungis í holu KJ-39 fellur ummyndunarhitastig nánast að mældum núverandi hitastigli. Í holum KJ-38 og KG-25 er

núverandi hitastigull, einkum ofantil, mun lægri og mætti skýra það með kælingu vegna landhníks.

Vökvabóluhitastig í holu KJ-38 fellur nokkuð vel að núverandi suðuferli en er þó einnig undir ferlinum á stórum kafla (sjá Mynd 5.2). Mælingar úr rannsókn Anette K. Mortensen og Helgu Margrétar Helgadóttur (2009), ofar í sömu holu, sýna þó hita nokkuð yfir suðuferli. Í holu KJ-39 er vökvabóluhitinn að mestu leyti ofan við suðuferilinn og í holu KG-25 er vökvabóluhitinn talsvert hærri við 1500 m en lægri en ferillinn við 2000 m dýpt.

Af þessu fæst sú heildarmynd að vökvabóluhitinn í ummyndunarsteindum Kröflusvæðisins er að mestu leyti yfir núverandi suðuferli. Þessa niðurstöðu má túlka með tvennum hætti; að vökvabólurnar í þessum holum séu myndaðar vegna innskotavirkni, sem veldur útfellingum og vökvabólumyndun við hita yfir suðumarksferli eða að vökvabólurnar hafi myndast við hærri þrýsting á suðumarksferli sem var ríkjandi undir jökulfargi.

Meginniðurstaða rannsóknarinnar er því sú að borholurnar, sem kannaðar voru með vökvabólumælingum, eru misheitar og mestur er hitamunurinn efst í þeim. Niðurstöður af hitasviði ummyndunarsteinda og af vökvabóluhita í þessum holum staðfestir að steindirnar og vökvabólurnar hafa víðast hvar myndast við hærri hita en þann mælda borholuhita sem nú er í Kröflukerfinu. Ummyndunarsteindir endurspeгла hita við núverandi suðumarksferil sem er hærri en áætlaður berghiti og vökvabólur kerfisins endurspeгла mögulega að mestu myndun undir jökulfargi sem hefur lyft suðuferli vatns um a.m.k. 1 km miðað við núverandi yfirborð eldstöðvarinnar. Hitaástandið endurspeglast í ummyndunarsteindum og vökvabólum þar sem mismunandi steindir og bólur muna eftir mismunandi hitaástandi. Hitaástand kerfisins hefur greinilega breyst með tímanum. Jökulfarg getur hafa hækkað hitastigið og gliðnunarátburðir gætu hafa breytt hitaástandi til dæmis með kælingu vegna niðurstreymis.

# Heimildir

Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson og Magnús Ólafsson (2008). *Krafla – Hóla KJ-38, forsendur og holuhönnun*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-08059, 18 bls.

Anette K. Mortensen og Helga Margrét Helgadóttir (2009). *Vökvabólúathugun í holu KJ-38 í Kröflu*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-09033, 10 bls.

Anette K. Mortensen og Helga Margrét Helgadóttir (2010). *Vökvabólúathugun í holu KJ-38 í Kröflu. Kalsít á 1698-1722 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-10124, 8 bls.

Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Freysteinn Sigmundsson, Guðni Axelsson, Halldór Ármannsson, Héðinn Björnsson, Kristján Ágústsson, Kristján Sæmundsson, Magnús Ólafsson, Ragna Karlsdóttir, Sæunn Halldórsdóttir og Trausti Hauksson (2009). *Jarðhitakerfið í Kröflu. Samantekt rannsókna á jarðhitakerfinu og endurskoðað hugmyndalíkan*. Landsvirkjun LV-2009/111, 206 bls og 2 kort.

Auður Ingimarsdóttir Anette K. Mortensen, Sigurveig Árnadóttir og Cécile Massiot, Friðgeir Pétursson, Halldór Örvar Stefánsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson yngri, Sveinbjörn Sveinbjörnsson eldri og Helgi Haraldsson. *Krafla Leirbotnar – Hóla KJ-39, forborun og 1. Áfangi: jarðlagamælingar og greiningar*. Íslenskar orkurannsóknir; ÍSOR-2009/007.

Axel Björnsson, Grímur Björnsson og Hjörtur Tryggvason (1984). *Breytingar á sprunguvídd og grunnvatnshita í Kröflueldum 1975-1983*. Orkustofnun, fjölrit OS-84085/JHD-37B

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Gestur Gíslason, Hilmar Sigvaldason, Jósef Hólmjárn, Kristján Hrafn Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Trausti Hauksson og Valgarður Stefánsson (2008). *Krafla – Well KG-25, drilling, geology and geochemistry*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-2008/056, 30 bls.

Benedikt Steingrímsson, Helgi Tulínus, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Einar Gunnlaugsson og Gestur Gíslason (1997). *Ölkelduháls – hóla ÖJ-1: Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar*. Orkustofnun; OS-97019.

Bodnar, R.J. (2003). Introduction to fluid inclusions. Í Samson, I., Anderson, A. Og Marshall, D. (ritstjórar), *Fluid inclusions: Analysis and Interpretation: Short Course 32*, v. 32. 81-99. Association of Canada.

Calderone, G., Níels Óskarsson, og Karl Grönvold (1990). The welded air-fall tuff layer at Krafla, Northern Iceland: A composite eruption triggered by injection of basaltic magma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44. 303-314.

Deer, W. A., Howie, R. A. og Zussman, J., (1992). *An Introduction to Rock Forming Minerals 2<sup>nd</sup> ed*, Longman, England, pp 1-696.

Exley, R. A., (1982). Electron microprobe studies of Iceland research drilling project high-temperature hydrothermal mineral geochemistry. *Journ. Geophys. Res.*, Vol 87, B8, 6547-6557.

Goldstein, R.H. og Reynolds, T.J. (1994). *Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*. SEPM Short Course 31. Society for Sedimentary Geology, p. 199.

Guðmundur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Karl Grönvold, Karl Ragnars, Kristján Sæmundsson og Stefán Arnórsson (1971). *Námafjall- Krafla. Áfangaskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðanna*. Orkustofnun. 81 bls. + viðauki.

Guðmundur Heiðar Guðfinnsson. Munnleg heimild við vökvabólurannsókn, 2012.

Halldór Ármannsson, Ásgrímur Guðmundsson og Benedikt Steingrímsson (1987). Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull* 37: 13–30.

Halldór Ármannsson (2010). *IDDP. The Chemistry of the Krafla Geothermal System in Relation to the IDDP Well*. Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia 25-29 April 2010.

Halldór Ármannsson, Práinn Friðriksson, Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2013). History of Gas in Geothermal Fluids, Krafla Northeast Iceland. *Procedia Earth and Planetary Science*, vol 7, 23-26.

Harvey, R. D. og Beck, C. W., (1960). Hydrothermal regularly interstratified chlorite-vermiculite and tobermorite in alteration zones at Goldfield, Nevada. *Clays Clay Miner.*, 9, 343-354.

Hjalti Franzson (1998). *Reservoir geology of the Nesjavellir high-temperature field in SW- Iceland*. Proceedings of the 19th Annual PNOG-EDC Geothermal Conference, Manila, Philippines, 5-6th 1998, 13-20.

Hjalti Franzson (2000). *Reykjanes – Rannsóknir á vökvabólum í útfellingum í holum RN-9 og RN-10*. Orkustofnun, OS-2000/021.

Hjalti Franzson, Robert Zierenberg, Peter Schiffman (2008). Chemical transport in geothermal systems in Iceland. Evidence from hydrothermal alteration. *J. Volcanology and Geothermal Res.*, 173, 217-229.

Hrefna Kristmannsdóttir (1978). *Ummyndun berggrunns á jarðhitasvæðinu í Kröflu*. Orkustofnun; OS/JHD-7854, 29 bls.

Hrefna Kristmannsdóttir (1979): *Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C*. International Clay Conference, 1978. Developments in sedimentology (27). 259-267.

Johnson, L. J., (1964). Occurrence of regularly interstratified chlorite-vermiculite as a weathering product of chlorite in a soil. *American Mineralogist*, Vol 49, 556-572.

Kesler, S. E., Bodnar, R.J. og Mernagh T.P., (2013). Role of fluid and melt inclusion studies in geologic research. *Geofluids*, Vol 13, 398-404.

Kodama, H., Longworth, G. og Townsend, M. G., (1982). A Mossbauer investigation of some chlorites and their oxidation products. *Canadian Mineralogist Vol. 20*, pp. 585-592.

Kristján Jónasson (1994). Rhyolite volcanism in the Krafla central volcano, north-east Iceland. *Bull. of Volcanol*, 56, 516–528.

Kristján Sæmundsson (1991). *Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstjórar): Náttúra Mývatns*. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, 25–95.

Kristján Sæmundsson (2008). *Krafla. Jarðfræðikort, 1:25.000*. Landsvirkjun og Íslenskar orkurannsóknir.

Kristján Sæmundsson og Júlíus Sólnes (2013). *Náttúruvá á Íslandi-Eldgos og jarðskjálftar*. Ritstjórar: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason. Háskólaútgáfan.

Kristján Sæmundsson, Stefán Arnórsson, Karl Ragnars, Hrefna Kristmannsdóttir og Gestur Gíslason (1975). *Krafla. Skýrsla um niðurstöður rannsóknarborana 1974*. Orkustofnun, OS- JHD-7506, 47 bls.

Magnús Á. Sigurgeirsson, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Friðgeir Pétursson (2008). *Krafla – Hóla KJ-38. Borun 3. áfanga: Jarðlagagreining og mælingar*. ÍSOR-2008/070, 49 bls.

Marks, N., Schiffman, P., Zierenberg, R. A., Franzson, H. og Friðleifsson, G. Ó., (2010). Hydrothermal alteration in the Reykjanes geothermal system: Insights from Iceland deep drilling program well RN-17. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 189, 172-190.

Marks, N., P. Schiffman, and R. A. Zierenberg (2011). High-grade contact metamorphism in the Reykjanes geothermal system: Implications for fluid-rock interactions at mid-oceanic ridge spreading centers. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol 12, Nr.8, 1525-2027.

Mehegan, J. M. og Robinson, T., (1982). Secondary Mineralization and Hydrothermal Alteration in the Reydarfjörður Drill Core. Eastern Iceland. *Journ. Geophys. Res.*, Vol 87, B8, 6511-6524.

Nicholson, H. (1990). *The magmatic evolution of Krafla, NE Iceland*, Ph.D. thesis, University of Edinburgh.

Niels Óskarsson, Guðrún Sverrisdóttir, Gylfi Sigurðsson og Karl Grönvold (2007). *Samsætuhlutföll Sr í jarðhitavatni og ummyndunarsteindum úr gufuborholum í Kröflu. Abstract um Sr-samsætur í Kröflu*. Jarðvísindafélag Íslands.

Noack, C. og Colin, F., (1986). Chlorites and chloritic mixed-layer minerals in profiles on ultrabasic rocks from Moyango (Icory Coast) and Angiquinho (Brazil). *Clay Minerals*, 21, 171-182.

Oliva-Urcia, B, Agnes Kontny, A., Vahle, C. og Schleicher, A. M., (2011). Modification of the magnetic mineralogy in basalts due to fluid-rock interactions in a high-temperature geothermal system (Krafla, Iceland), *Geophys. J. Int.* 186, 155–174.

Páll Einarsson (1978). S-wave shadows in the Krafla caldera in NE-Iceland, evidence for a magma chamber in the crust. *Bulletin of volcanology*, 4, 1-9.

Roedder, E. (1984). Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte Montana, and Climax, Colorado: *Economic Geology*, v. 66. 98-120.

Schiffman, P. og Friðleifsson, G. Ó., (1991). The smectite–chlorite transition in drillhole NJ-15, Nesjavellir geothermal field, Iceland: XRD, BSE and electron microprobe investigations, *Journal of Metamorph. Geol.*, Vol 9, Issue 6, 679-696.

Sigurður Steinþórsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir (1981). Opaque minerals in geothermal well no 7, Krafla, Northern Iceland. *Journal of volcanology and geothermal*, vol. 10, issue 1-3. 245-261.

Sigurveig Árnadóttir o.fl. (2009). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. 3. Áfangi: Borsag. Íslenskar orkurannsóknir*. ÍSOR-2009/058, 170 bls.

Snæbjörn Guðmundsson (2009). *Ummyndun á gabbroinnskotum á Suðaustulandi*. BS-ritgerð fyrir Háskóla Íslands-jarðvísindadeild.

Sveinn Jakobsson (1980). Outline of the Petrology of Iceland. *Jökull*, 29. 57-73.

Torence-Martin, R., (1954). Reference chlorite characterization for chlorite identification in soil clays, in Milligan, W. O., ed. *Clays and Clay Minerals*: Natl. Res. Council Publ.395, p. 117-145.

Valgarður Stefánsson (1981). The Krafla geothermal field, Northeast Iceland. Kafli 10 í Ryback, L. og Muffler, L. J. P (ritstj.). *Geothermal systems: Principles and case histories*. John Wiley and Sons Ltd. New York, 273–294.

Valgarður Stefánsson (2009). *Virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Reynslusaga frá Kröfluvirkjun*. Bæklingur Orkustofnunar, 22-29.

Þorsteinn Egilson (2012). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/026. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/073. 48 bls.

Wilson, M.J., (2013). Rock-Forming Minerals Volume 3C - Sheet Silicates: *Clay Minerals*, Second Edition, Geological Society of London, 736 p.

Zierenberg, R.A., Schiffman, P., Barfod, G. H., Leshner, C. E., Marks, N. E., Lowenstern, J. B., Mortensen, A. K., Pobe, D. K., Reed, M. H., Friðleifsson, G. Ó. og Elders, W. A. ( 2013). Composition and origin of rhyolite melt intersected by drilling in the Krafla geothermal field, Iceland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol 165, Issue 2, pp 327-347.

# Viðauki A – Efnagreiningar úr borholu KJ-16

Niðurstöður ICP-efnagreininga af borsvarfi úr Holu KJ-16 í Suðurhlíðum Kröflu.  
(Efnagreiningar eru úr gagnasafni Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
2	BERGEFNAGREIINGAR - BORSVARF ÚR HOLU KJ-16 Í SUÐURHLÍÐUM KRÖFLU																					
3	Sýni	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na2O	K2O	P2O5	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr
4	16/1000	65.53	0.963	12.70	6.89	0.138	6.05	2.85	3.15	1.45	0.13	0.03642	0.0020	0.0069	0.0069	0.0036	0.00231	0.0158	0.0155	0.00801	0.0100	0.0383
5	16/1050	75.62	0.531	10.44	3.92	0.100	3.31	0.68	3.43	1.73	0.09	0.04344	0.0008	0.0015	0.0020	0.0008	0.00086	0.0110	0.0052	0.01061	0.0095	0.0479
6	16/1100	72.76	0.602	11.45	5.20	0.118	3.37	0.90	3.00	2.35	0.10	0.04606	0.0009	0.0011	0.0013	0.0015	0.00106	0.0115	0.0061	0.01083	0.0110	0.0530
7	16/1150	52.37	1.798	13.09	11.34	0.204	12.29	5.45	2.60	0.47	0.26	0.01267	0.0051	0.0077	0.0120	0.0052	0.00452	0.0201	0.0327	0.00369	0.0095	0.0153
8	16/1200	58.07	1.172	11.22	8.44	0.160	14.07	3.34	2.24	0.94	0.21	0.02543	0.0026	0.0054	0.0064	0.0020	0.00262	0.0344	0.0200	0.00611	0.0108	0.0276
9	16/1250	53.12	2.001	13.89	12.35	0.222	10.06	4.69	2.58	0.72	0.25	0.01956	0.0046	0.0050	0.0110	0.0041	0.00390	0.0177	0.0322	0.00489	0.0101	0.0196
10	16/1300	49.54	2.598	13.33	13.46	0.241	11.78	6.16	2.20	0.32	0.23	0.00904	0.0056	0.0134	0.0153	0.0063	0.00493	0.0163	0.0435	0.00343	0.0105	0.0135
11	16/1350	51.80	2.254	13.77	12.26	0.218	11.14	5.40	2.38	0.38	0.26	0.00973	0.0054	0.0133	0.0189	0.0062	0.00498	0.0167	0.0374	0.00414	0.0095	0.0153
12	16/1500	50.40	2.497	12.75	13.79	0.241	11.34	6.04	2.23	0.31	0.25	0.00863	0.0058	0.0111	0.0165	0.0078	0.00486	0.0162	0.0422	0.00400	0.0111	0.0146
13	16/1550	51.23	2.717	12.89	13.87	0.247	10.90	5.40	1.99	0.36	0.26	0.00923	0.0057	0.0106	0.0143	0.0054	0.00471	0.0155	0.0442	0.00410	0.0107	0.0156
14	16/1600	49.89	2.226	12.97	13.43	0.240	11.53	7.10	2.00	0.25	0.22	0.00655	0.0058	0.0134	0.0162	0.0074	0.00526	0.0140	0.0414	0.00337	0.0105	0.0122
15	16/1650	50.61	1.661	15.01	10.81	0.206	12.65	6.56	1.95	0.26	0.17	0.00683	0.0040	0.0129	0.0121	0.0067	0.00473	0.0173	0.0330	0.00286	0.0091	0.0095
16	16/1700	53.12	1.934	12.83	11.79	0.222	11.08	6.04	2.22	0.36	0.29	0.01172	0.0048	0.0118	0.0107	0.0069	0.00490	0.0158	0.0329	0.00433	0.0093	0.0139
17	16/1750	51.96	2.347	12.76	13.88	0.231	10.25	5.57	2.14	0.45	0.27	0.01107	0.0059	0.0076	0.0136	0.0090	0.00462	0.0151	0.0395	0.00445	0.0104	0.0150
18	16/1800	51.80	2.007	13.35	13.14	0.229	10.42	5.81	2.48	0.38	0.27	0.01133	0.0055	0.0072	0.0126	0.0063	0.00432	0.0148	0.0382	0.00424	0.0109	0.0141
19	16/1850	52.38	2.470	12.55	14.38	0.246	9.34	5.35	2.31	0.53	0.30	0.01356	0.0051	0.0084	0.0131	0.0075	0.00436	0.0148	0.0392	0.00468	0.0128	0.0177
20	16/1900	56.00	1.964	12.98	12.40	0.215	8.21	4.11	2.89	0.59	0.52	0.01793	0.0046	0.0037	0.0111	0.0031	0.00376	0.0173	0.0246	0.00583	0.0105	0.0276
21	16/2050	54.07	1.825	13.25	12.07	0.216	9.91	5.34	2.38	0.55	0.26	0.01431	0.0057	0.0057	0.0135	0.0035	0.00432	0.0162	0.0328	0.00499	0.0104	0.0175
22	16/2100	51.99	2.124	12.99	13.89	0.239	9.87	5.63	2.39	0.48	0.27	0.01216	0.0051	0.0072	0.0116	0.0064	0.00455	0.0154	0.0377	0.00434	0.0112	0.0177
23	16/2150	51.42	2.180	13.23	13.80	0.229	10.11	5.77	2.44	0.41	0.27	0.01126	0.0053	0.0095	0.0112	0.0064	0.00432	0.0159	0.0367	0.00439	0.0114	0.0164
24	16/500	51.74	1.810	13.28	12.48	0.218	11.30	6.19	2.34	0.28	0.22	0.01357	0.0051	0.0105	0.0188	0.0060	0.00511	0.0159	0.0365	0.00343	0.0100	0.0110
25	16/750	50.79	2.490	12.81	15.00	0.248	10.17	5.25	2.32	0.45	0.34	0.01248	0.0053	0.0036	0.0155	0.0050	0.00434	0.0173	0.0412	0.00488	0.0125	0.0175
26	16/850	49.78	0.971	19.95	6.57	0.125	15.86	3.37	2.66	0.46	0.15	0.00969	0.0028	0.0048	0.0218	0.0027	0.00253	0.0233	0.0217	0.00193	0.0059	0.0062
27	16/900	78.45	0.353	9.53	3.99	0.109	2.57	0.26	2.58	1.94	0.07	0.05078	0.0008	0.0014	0.0007	0.0005	0.00059	0.0116	0.0040	0.01126	0.0110	0.0529
28	16/950	52.03	1.809	13.69	11.48	0.203	11.52	6.38	2.17	0.35	0.25	0.00941	0.0054	0.0139	0.0182	0.0062	0.00453	0.0168	0.0322	0.00351	0.0097	0.0147
29	31/100	53.85	1.042	14.47	8.87	0.247	12.29	6.05	2.31	0.59	0.14	0.01733	0.0039	0.0172	0.0122	0.0065	0.00390	0.0225	0.0200	0.00397	0.0080	0.0197
30	31/150	48.13	1.504	13.30	11.19	0.174	11.14	13.04	1.04	0.14	0.17	0.00674	0.0061	0.0536	0.0109	0.0333	0.00355	0.0155	0.0255	0.00239	0.0078	0.0098
31	31/200	47.48	1.513	13.60	11.94	0.194	11.59	11.62	1.33	0.36	0.19	0.00916	0.0065	0.0489	0.0126	0.0315	0.00366	0.0215	0.0266	0.00263	0.0091	0.0108
32	31/272	60.81	1.717	12.58	11.85	0.190	7.97	2.51	1.25	0.48	0.57	0.01293	0.0027	0.0025	0.0007	0.0007	0.00245	0.0147	0.0092	0.00517	0.0099	0.0211
33	31/360	56.16	2.450	11.96	14.89	0.211	6.80	3.12	2.66	0.79	0.84	0.02573	0.0038	0.0024	0.0028	0.0013	0.00317	0.0194	0.0123	0.00642	0.0127	0.0294
34	31/400	52.21	2.933	13.15	13.39	0.217	10.83	3.42	2.51	0.74	0.45	0.01871	0.0052	0.0037	0.0209	0.0028	0.00410	0.0171	0.0354	0.00626	0.0118	0.0243
35	31/500	52.95	2.625	12.58	13.48	0.238	10.10	4.40	2.57	0.56	0.36	0.01663	0.0049	0.0040	0.0128	0.0033	0.00433	0.0183	0.0378	0.00538	0.0123	0.0197





## Viðauki B – Flokkun ummyndunarbelta

Í þessum viðauka er að finna lýsingar á helstu ummyndunarbeltum landsins eftir skilgreiningu Hrefnu Kristmannsdóttur (1978 og 1979).

Leirsteindir bregðast fljótt við hitastigsbreytingum innan 200-300°C en endurskreidd ummyndun er frekar hæg við berghita um 100°C, þar af leiðandi hefur beltaskipting í ummyndun á háhitasvæðum aðallega verið byggð á breytingum á leirsteindagerðum (Hrefna Kristmannsdóttir, 1979).

1. **Smektít-zeólítabelti** – Í efri mörkum þessa beltis er smektít og lághitazeólítar að koma inn í stað ólivíns og glers. Fyrir neðan 100°C finnast tveir hópar af zeólítum: Mordenít, heulandít, stílbít og epistílbít sem eru algengir í þóleiísku basalti og kabasít, tomsonít og mesólít-skólesít sem eru algengari í ólivín þóleíti. Við 100-120°C fer laumontít að koma inn í stað annara zeólíta. Wairakít tekur að myndast við 180°C og hefur fundist við allt að 300°C. Aðrir zeólítar eru horfnir við um 200°C en á því hitastigi er smektít leirinn einnig farinn að fá einkenni blandlagsleirs. Kalsedón fellur út við hita lægri en 100°C en kvars er talið myndast við um 180°C og kemur því inn við neðri mörk beltisins og helst stöðugt upp í hæst mældan berghita.
2. **Blandlagsbelti** – Þetta ummyndunarbelti liggur á heldur afmörkuðu hitastigsbili, eða frá 200-230°C. Hér eru zeólítar gjarnan horfnir en efri mörk beltisins liggja þar sem smektít byrjar að þróast í blandlagsleir. Við um 230°C hefst myndun klóríts, og markar það neðri mörk beltisins.
3. **Klórít-epídótbelti** – Efri mörk beltisins liggja við 230°C þar sem blandlagsleir byrjar að vera óstöðugur og myndun klórít hefst. Vottur af epídóti getur fundist á hitabilinu 200-260°C en það byrjar þó ekki að vera algengt og mynda vel formaða kristalla fyrr en við 260°C. Ekki hefur náðst að tengja myndun prehníts við ákveðið hitastig en það finnst oft með epídóti og má því búast við að finna það í þessu ummyndunarbelti.
4. **Klórít-aktinólítbelti** – Aktinólít er talið byrja myndast við 280°C og er það við efri mörk þessa beltis. Aktinólítið kemur oft í stað pýorxens. Hér eru plagíóklasrar almennt ummyndaðir í albít en það verður algengt í kringum 300°C. Kalsít er orðið óstöðugt og við hvarf þess er talið að ummyndunarhiti hafi náð 290°C.



## Viðauki C – Stöðlun EDS-greininga

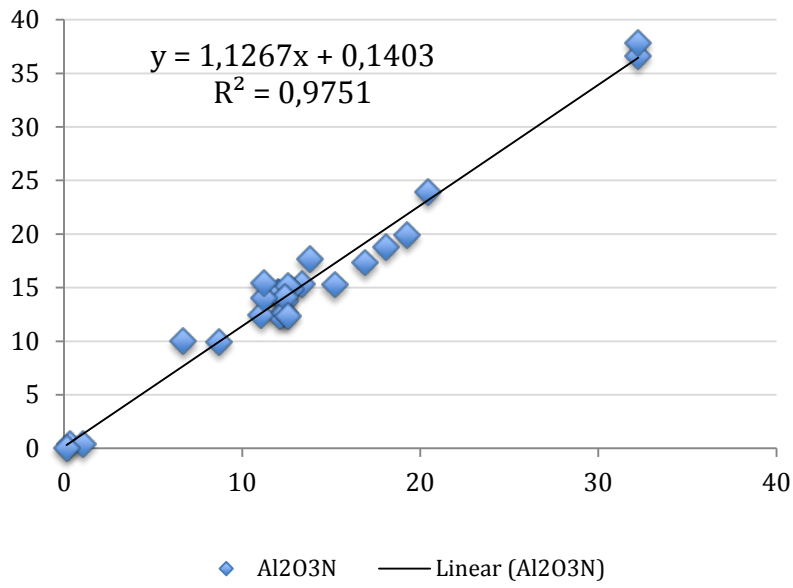
EDS-greiningar með Bruker skynjara í Hitachi TM3000 rafeindasmásjá. Allar greiningar eru gerðar á 10x10 µm fleti þar sem hættu er á Na-tapi í púnkt-greiningu á vötnuðum steindum. Greiningarnar eru gerðar í Bruker Espirit® hugbúnaði sem stýrir skynjaranum og talningunni sem er gerð í “Presicion Mode” þar sem 250.000 talningar eru að baki hverri greiningu. Fyrsti dálkur í töflunum, hér að neðan, tilgreinir staðlana sem notaðir voru. Í öðrum dálki eru sjálfvirkar talningar úr tækinu umreiknaðar í þungaprósentu en í þriðja dálki eru staðalgildi (**feitletruð**). Í fjórða dálki eru svo gildi reiknuð eftir kvörðunarlínunum sem skýra sig sjálfar á línuritunum.

### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

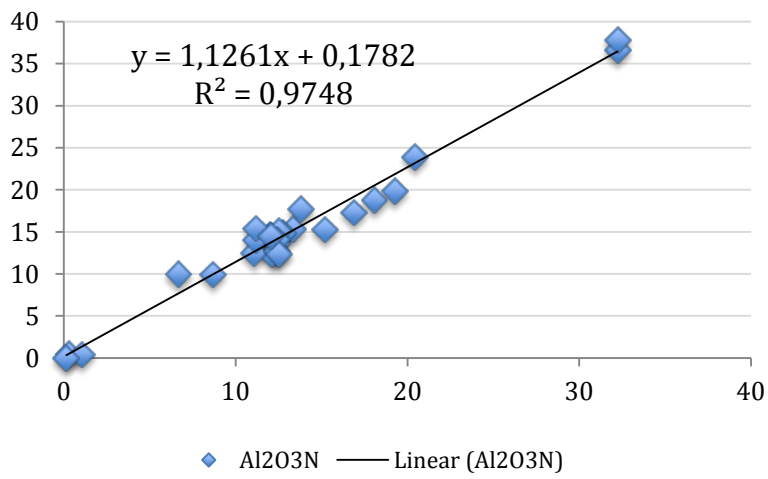
---

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> N	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Anorthite #269	32.233	<b>36.66</b>	36.46
Anorthite #269 B	32.233	<b>37.83</b>	36.46
Sanidine Hohenfels Ak179	18.073	<b>18.761</b>	20.50
Albite #301 Cazadero	19.255	<b>19.9</b>	21.83
Garnet 12442 Barry Clarke	20.436	<b>23.96</b>	23.17
Grunerite Alberta	0.315	<b>0.45</b>	0.50
Magnophorite Wolg. Hills	1.058	<b>0.42</b>	1.33
Biotite LP6	15.185	<b>15.299</b>	17.25
Kaersutite Kak K! Ont NZ	11.993	<b>14.63</b>	13.65
Kaersutite #357 (Korath Eth)	13.342	<b>15.371</b>	15.17
Hornblende Kakanui	12.757	<b>14.9</b>	14.51
Phlogopite Wolg Hills B.Mas	6.683	<b>10.01</b>	7.68
Chromite #396	12.058	<b>14.53</b>	13.73
CAM66 Acid GL #318	12.412	<b>13.731</b>	14.12
AALK Acid GL	12.107	<b>12.36</b>	13.78
VG A99 Basalt GL	11.075	<b>12.49</b>	12.62
Ind OC 102 Basalt GL	12.545	<b>15.13</b>	14.27
ATHO Acid GL	12.410	<b>12.671</b>	14.12
ATHO Acid GL B	12.410	<b>14.14</b>	14.12
Low K GL Apollo 11 NASA	8.695	<b>9.94</b>	9.94
Basaltic glass Kleep NASA	16.890	<b>17.35</b>	19.17
WRAB 4 Basalt GL	13.798	<b>17.7</b>	15.69
J. De Fuca Basalt GL	11.205	<b>14.06</b>	12.77
J. De Fuca Basalt GL B	11.205	<b>15.44</b>	12.77
CAM 112 #308	12.541	<b>12.401</b>	14.27
Apatite wilberforce	0.140	<b>0.021</b>	0.30
Chromite #396	12.058	<b>14.53</b>	13.73

### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>N



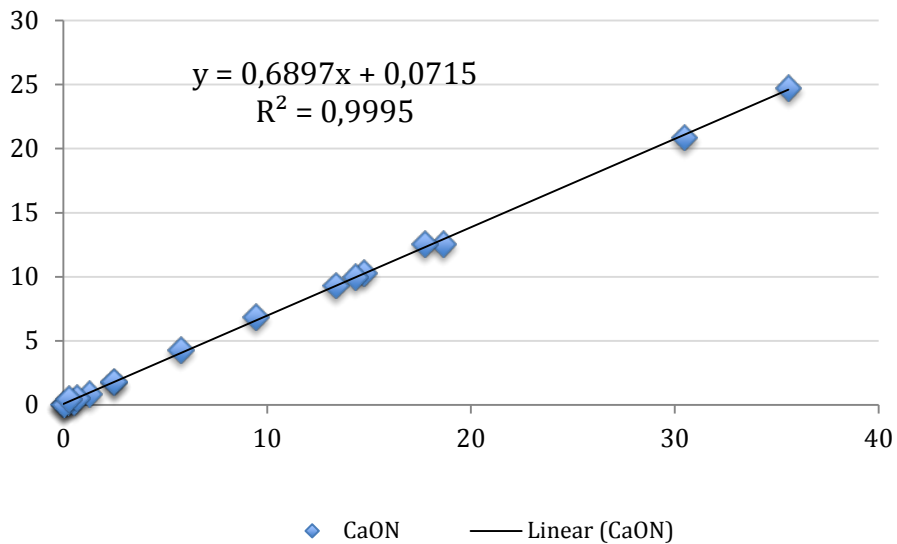
### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>N



# CaO

	CaO	CaON	CaO
Anorthite #269 B	30.482	<b>20.86</b>	21.09
Sanidine Hohenfels Ak179	0.000	<b>0.01</b>	0.07
Albite #301 Cazadero	0.048	<b>0.03</b>	0.10
Garnet 12442 Barry Clarke	5.754	<b>4.3</b>	4.04
Opx SP18 B, Clarke	0.517	<b>0.24</b>	0.43
Grunerite Alberta	1.276	<b>0.84</b>	0.95
Magnophorite Wolg. Hills	9.431	<b>6.84</b>	6.58
Biotite LP6	0.239	<b>0.21</b>	0.24
Kaersutite #357 (Korath Eth)	18.632	<b>12.54</b>	12.92
Hornblende Kakanui	14.736	<b>10.3</b>	10.23
Phlogopite Wolg Hills B.Mas	0.047	<b>0.028</b>	0.10
Diopside GL NASA	35.572	<b>24.729</b>	24.60
AALK Acid GL	0.667	<b>0.51</b>	0.53
VG A99 Basalt GL	13.361	<b>9.3</b>	9.29
ATHO Acid GL	2.487	<b>1.731</b>	1.79
ATHO Acid GL B	2.487	<b>1.81</b>	1.79
Basaltic glass Kreep NASA	14.323	<b>9.96</b>	9.95
J. De Fuca Basalt GL B	17.715	<b>12.56</b>	12.29
CAM 112 #308	0.259	<b>0.451</b>	0.25

## CaON

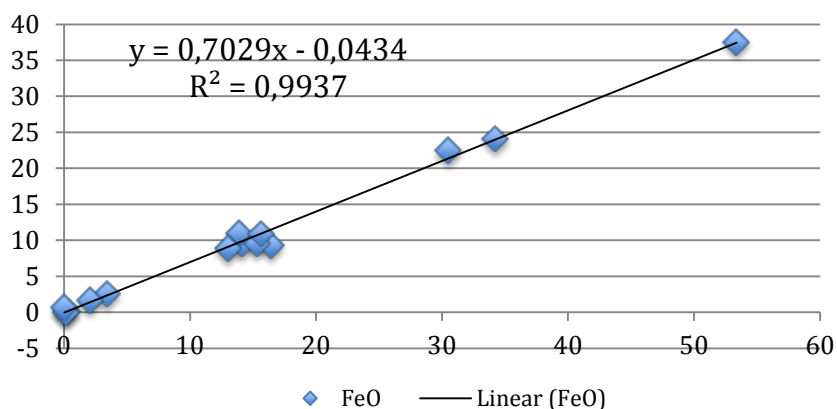


## FeO

### Ferromagnesium og feldspat

	FeO	FeON	FeO
Sanidine Hohenfels Ak179	0.247	<b>0.18</b>	0.13
Albite #301 Cazadero	0.136	<b>0.03</b>	0.05
Olivine147.1 Hawaii Evans	16.426	<b>9.34</b>	11.50
Olivine S Carl 111312 USNM	14.103	<b>9.55</b>	9.87
Garnet 12442 Barry Clarke	30.501	<b>22.49</b>	21.39
Opx SP18 B, Clarke	34.239	<b>24.11</b>	24.02
Grunerite Alberta	53.364	<b>37.56</b>	37.46
Magnophorite Wolg. Hills	3.410	<b>2.57</b>	2.35
Biotite LP6	13.900	<b>10.96</b>	9.73
Kaersutite Kak K! Ont NZ	15.309	<b>9.61</b>	10.72
Kaersutite #357 (Korath Eth)	13.024	<b>8.9</b>	9.11
Hornblende Kakanui	15.627	<b>10.92</b>	10.94
Rhodonite Franklin Furnance	2.080	<b>1.69</b>	1.42
Willemite Mine Hill (Fr Furn), N. J.	0.024	<b>0.76</b>	-0.03

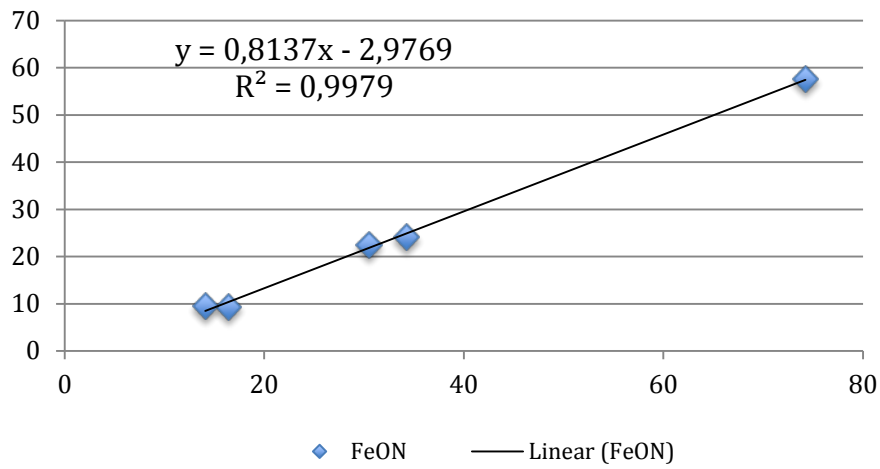
### FeON



### Gler

	FeO	FeON	FeO
AALK Acid GL	4.668	<b>3.17</b>	3.24
VG A99 Basalt GL	18.825	<b>13.3</b>	13.19
Ind OC 102 Basalt GL	14.070	<b>9.04</b>	9.85
ATHO Acid GL	5.448	<b>3.242</b>	3.79
Low K GL Apollo 11 NASA	26.862	<b>18.63</b>	18.84
Basaltic glass Krep NASA	12.702	<b>8.92</b>	8.88
VG A99 Basalt GL	18.825	<b>13.3</b>	13.19
J. De Fuca Basalt GL B	18.237	<b>12.42</b>	12.77
Rhodonite Franklin Furnance	2.080	<b>1.69</b>	1.42

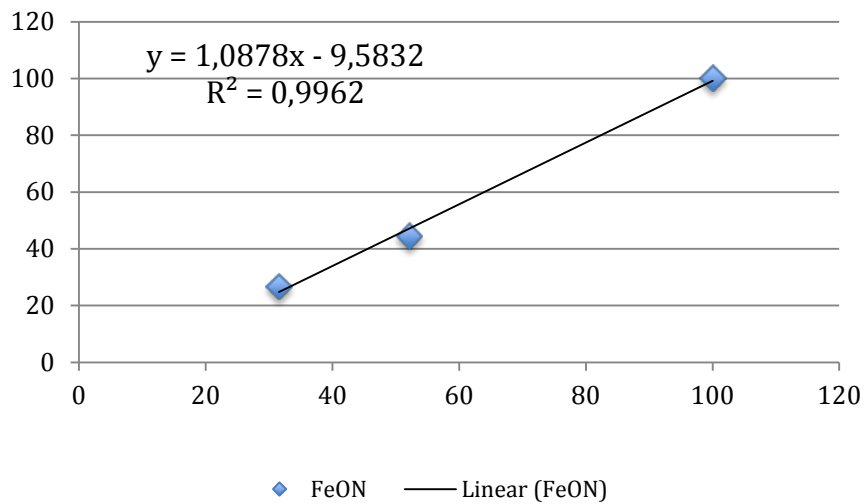
### FeON



### Oxið

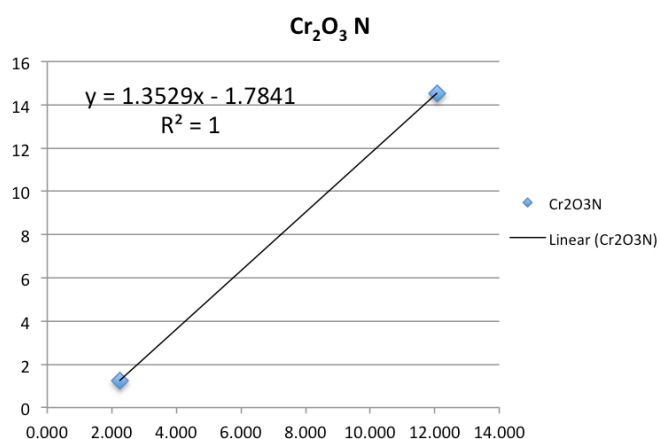
	FeO	FeON	FeO
Chromite #396	31.573	<b>26.62</b>	24.76
Ilmenite Sawyer Evans B	52.168	<b>44.51</b>	47.17
Hm	100	<b>100</b>	99.20

### FeON



## Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

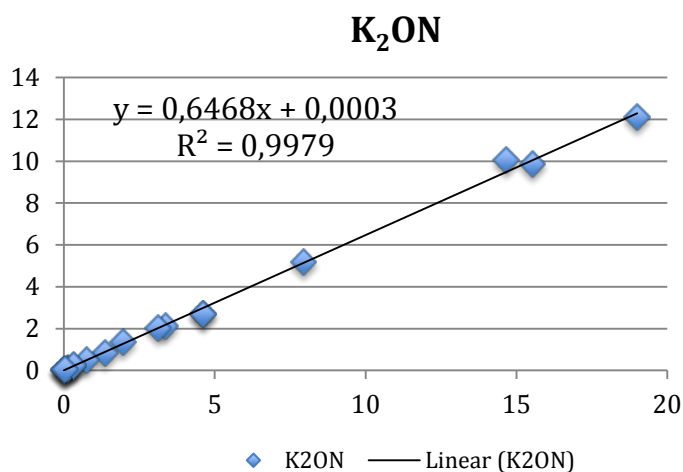
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> N	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Chromite #396	12.058	<b>14.53</b>	14.53
Diopside glass	2.25	<b>1.26</b>	1.26



## K<sub>2</sub>O

	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> ON	K <sub>2</sub> O
Sanidine Hohenfels Ak179	19.001	<b>12.1</b>	12.29
Albite #301 Cazadero	0.002	<b>0.04</b>	0.00
Grunerite Alberta	0.000	<b>0.01</b>	0.00
Magnophorite Wolg. Hills	7.941	<b>5.18</b>	5.14
Biotite LP6	14.655	<b>10.04</b>	9.48
Kaersutite Kak K! Ont NZ	3.353	<b>2.121</b>	2.17
Kaersutite #357 (Korath Eth)	1.946	<b>1.36</b>	1.26
Hornblende Kakanui	3.111	<b>2.05</b>	2.01
Phlogopite Wolg Hills B.Mas	15.528	<b>9.88</b>	10.04
VG A99 Basalt GL	1.351	<b>0.82</b>	0.87
Ind OC 102 Basalt GL	0.102	<b>0.08</b>	0.07
ATHO Acid GL	4.608	<b>2.709</b>	2.98
ATHO Acid GL B	4.608	<b>2.71</b>	2.98
Low K GL Apollo 11 NASA	0.000	<b>0.05</b>	0.00
Basaltic glass Kreep NASA	0.735	<b>0.491</b>	0.48
WRAB 4 Basalt GL	0.133	<b>0.12</b>	0.09
J. De Fuca Basalt GL	0.310	<b>0.19</b>	0.20
J. De Fuca Basalt GL B	0.310	<b>0.24</b>	0.20
Rhodonite Franklin Furnance	0.033	<b>0.09</b>	0.02

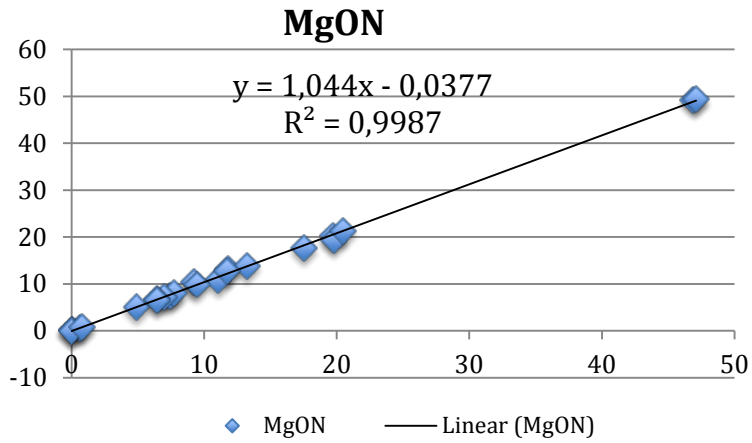




## MgO

---

	MgO	<b>MgON</b>	MgO
Olivine147.1 Hawaii Evans	46.906	<b>49.2</b>	48.93
Olivine S Carl 111312 USNM	47.09	<b>49.421</b>	49.13
Garnet 12442 Barry Clarke	11.080	<b>10.83</b>	11.53
Opx SP18 B, Clarke	19.704	<b>20.31</b>	20.53
Grunerite Alberta	7.443	<b>7.445</b>	7.73
Magnophorite Wolg. Hills		<b>20.4</b>	-0.04
Biotite LP6	19.779	<b>19.351</b>	20.61
Kaersutite Kak K! Ont NZ	11.799	<b>13.22</b>	12.28
Kaersutite #357 (Korath Eth)	13.224	<b>13.89</b>	13.77
Hornblende Kakanui	11.714	<b>12.8</b>	12.19
Phlogopite Wolg Hills B.Mas	20.475	<b>21.23</b>	21.34
Ilmenite Sawyer Evans B	0.613	<b>0.57</b>	0.60
Chromite #396	9.224	<b>10.43</b>	9.59
Diopside GL NASA	17.543	<b>17.609</b>	18.28
AALK Acid GL	0.068	<b>0.12</b>	0.03
VG A99 Basalt GL	4.908	<b>5.08</b>	5.09
Ind OC 102 Basalt GL	7.729	<b>8.03</b>	8.03
ATHO Acid GL	0.013	<b>0.114</b>	-0.02
Low K GL Apollo 11 NASA	6.991	<b>7.16</b>	7.26
WRAB 4 Basalt GL	9.428	<b>9.9</b>	9.81
J. De Fuca Basalt GL	6.445	<b>6.709</b>	6.69
J. De Fuca Basalt GL B	6.445	<b>6.54</b>	6.69
CAM 112 #308	0.000	<b>0.02</b>	-0.04
Rhodonite Franklin Furnance	0.784	<b>0.861</b>	0.78

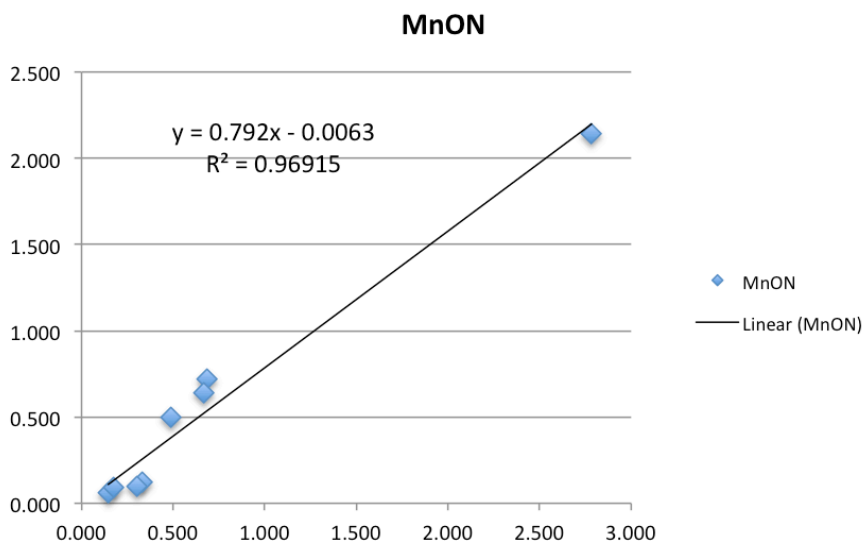


## MnO

---

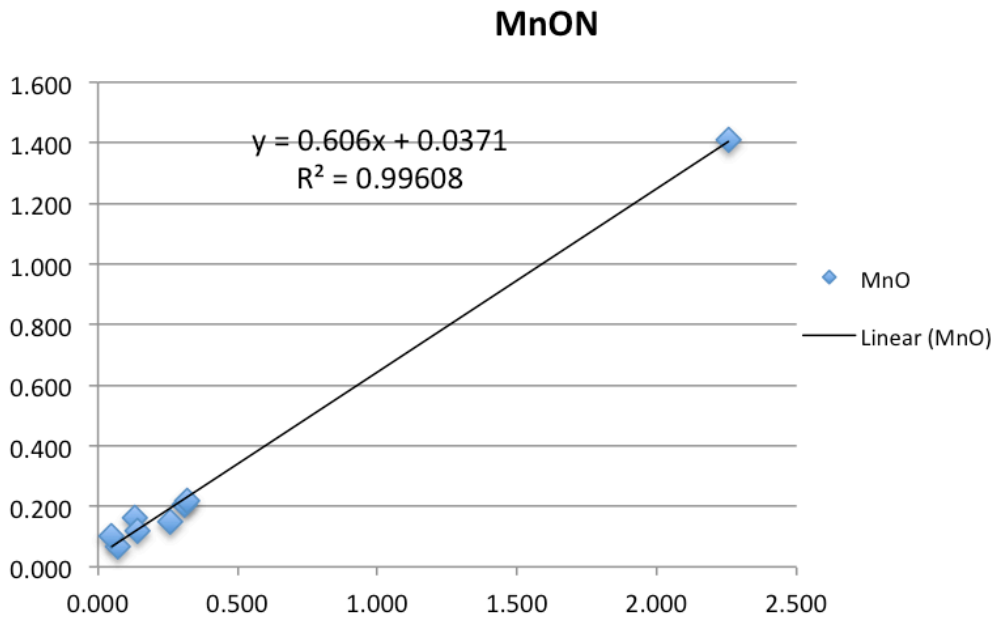
### Ferromag-oxið

	MnO	<b>MnON</b>	MnO
Fayalite Rockport	2.784	<b>2.140</b>	2.198
Garnet 12442 Barry Clarke	0.488	<b>0.500</b>	0.380
Opx SP18 B, Clarke	0.686	<b>0.720</b>	0.537
Ilmenite Sawyer Evans B	0.670	<b>0.640</b>	0.524
Biotite LP6	0.330	<b>0.120</b>	0.255
Kaersutite Kak K! Ont NZ	0.146	<b>0.060</b>	0.109
Kaersutite #357 (Korath Eth)	0.302	<b>0.099</b>	0.233
Hornblende Kakanui	0.176	<b>0.090</b>	0.133
Magnophorite Wolg. Hills	0.276	<b>0.039</b>	
Chromite #396	0.052	<b>0.200</b>	



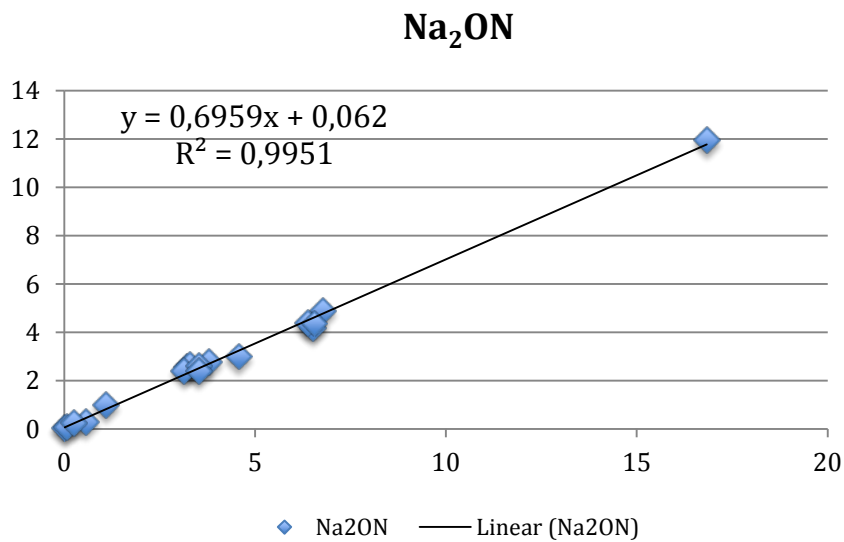
## Gler

	MnO	MnON	MnO
Diopside GL NASA	2.256	<b>1.410</b>	1.37
AALK Acid GL	0.071	<b>0.068</b>	0.04
VG A99 Basalt GL	0.257	<b>0.150</b>	0.16
Ind OC 102 Basalt GL	0.131	<b>0.160</b>	0.08
ATHO Acid GL	0.049	<b>0.102</b>	0.03
Basaltic glass Kreep NASA	0.308	<b>0.205</b>	0.19
WRAB 4 Basalt GL	0.139	<b>0.120</b>	0.08
J. De Fuca Basalt GL	0.317	<b>0.220</b>	0.19
Rhodonite Franklin Furnance	45.844	<b>36.840</b>	
Fayalite Rockport	2.784	<b>2.140</b>	
Willemite Mine Hill (Fr Furn), N. J.	5.055	<b>7.390</b>	



## Na<sub>2</sub>O

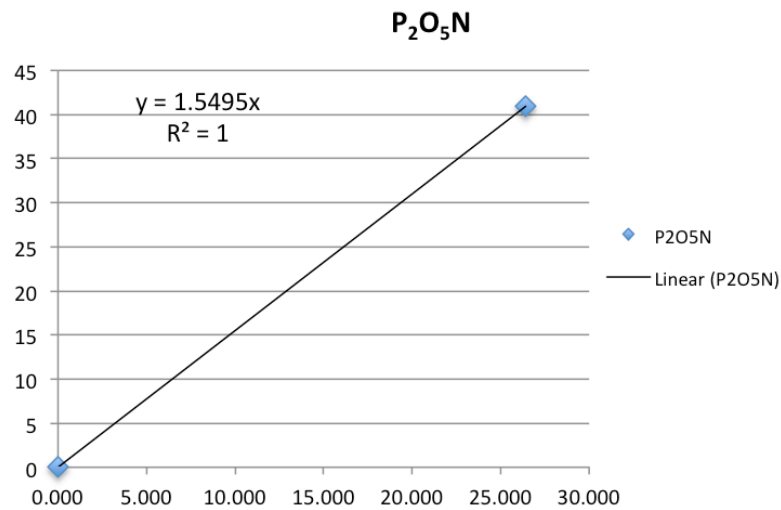
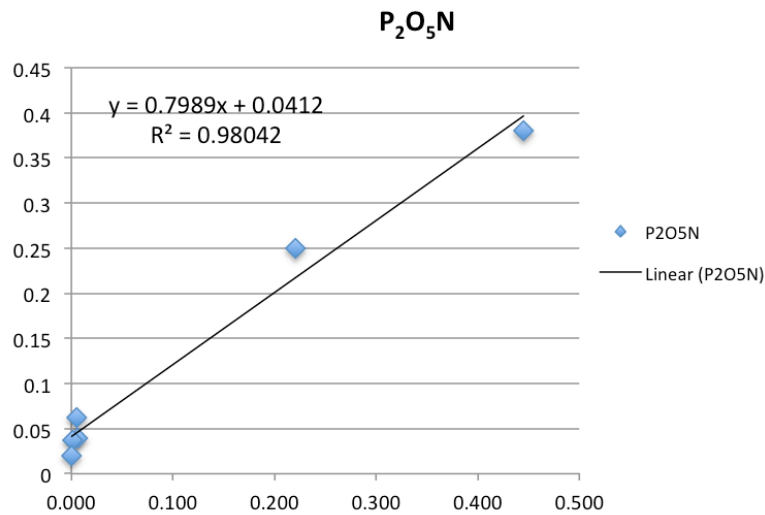
	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> ON	Na <sub>2</sub> O
Sanidine Hohenfels Ak179	4.564	<b>3</b>	3.24
Albite #301 Cazadero	16.836	<b>11.94</b>	11.78
Grunerite Alberta	0.009	<b>0.035</b>	0.07
Biotite LP6	0.069	<b>0.09</b>	0.11
Kaersutite Kak K! Ont NZ	3.218	<b>2.57</b>	2.30
Phlogopite Wolg Hills B.Mas	0.559	<b>0.297</b>	0.45
CAM66 Acid GL #318	6.524	<b>4.19</b>	4.60
AALK Acid GL	6.774	<b>4.90</b>	4.78
VG A99 Basalt GL	3.299	<b>2.66</b>	2.36
Ind OC 102 Basalt GL	3.786	<b>2.78</b>	2.70
ATHO Acid GL	6.383	<b>4.373</b>	4.50
Low K GL Apollo 11 NASA		<b>0.39</b>	0.06
Basaltic glass Kreep NASA	1.088	<b>0.99</b>	0.82
WRAB 4 Basalt GL	3.145	<b>2.4</b>	2.25
J. De Fuca Basalt GL	3.520	<b>2.62</b>	2.51
J. De Fuca Basalt GL B	3.520	<b>2.39</b>	2.51
CAM 112 #308	6.556	<b>4.37</b>	4.62
Apatite wilberforce	0.266	<b>0.24</b>	0.25



# P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

## Steindir-Gler

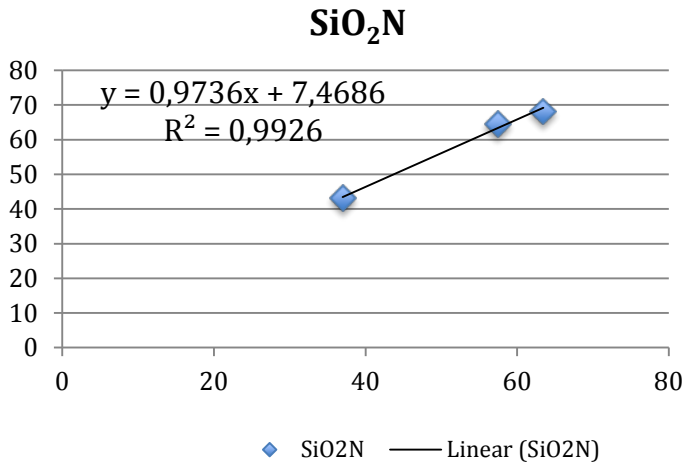
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Kaersutite #357 (Korath Eth)</b>	0.006	<b>0.039</b>	0.005
<b>AALK Acid GL</b>	0.006	<b>0.06</b>	0.004
<b>VG A99 Basalt GL</b>	0.445	<b>0.38</b>	0.355
<b>ATHO Acid GL</b>	0.001	<b>0.037</b>	0.001
<b>Basaltic glass Kreep NASA</b>	0.000	<b>0.02</b>	0
<b>Iki9</b>	0.22	<b>0.25</b>	0.176
<b>Apatite wilberforce</b>	26.415	<b>40.929</b>	40.929
<b>blank</b>	0	<b>0</b>	0



# SiO<sub>2</sub>

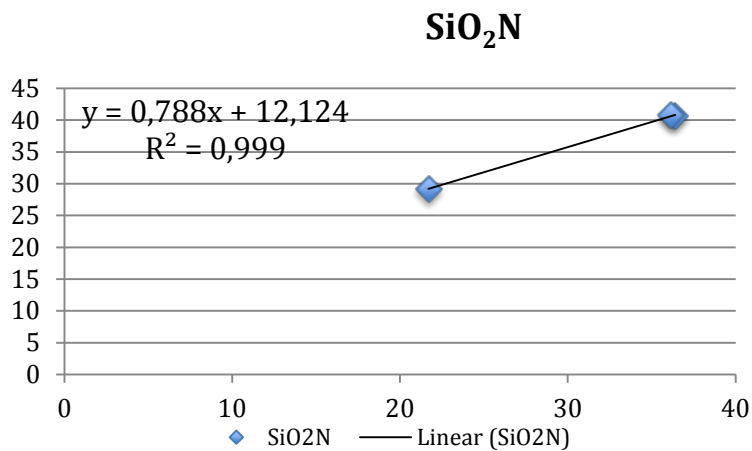
## Feldspar

	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> N	SiO <sub>2</sub>
Anorthite #269	36.987	<b>43.189</b>	43.480
Sanidine Hohenfels Ak179	57.436	<b>64.671</b>	63.389
Albite #301 Cazadero	63.436	<b>68.24</b>	69.231



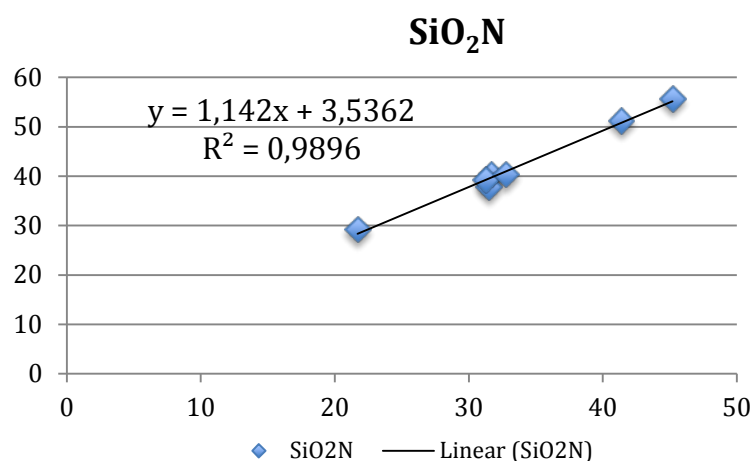
## Ólivín

	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> N	SiO <sub>2</sub>
Olivine147.1 Hawaii Evans	36.401	<b>40.601</b>	40.809
Olivine S Carl 111312 USNM	36.133	<b>40.81</b>	40.598
Fayalite Rockport	21.698	<b>29.219</b>	29.223



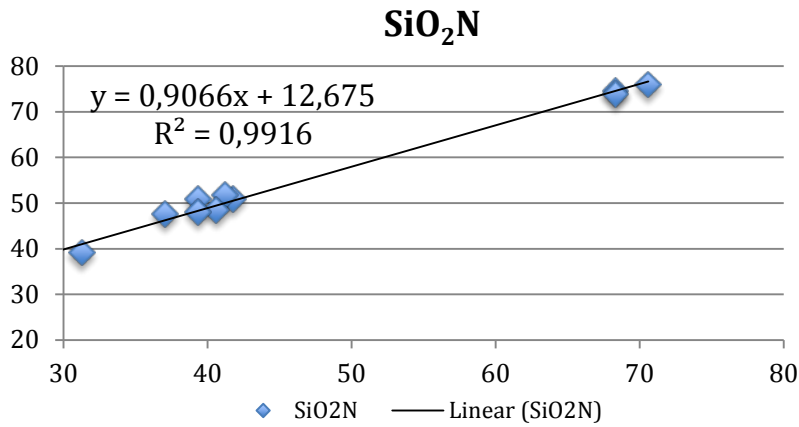
## Keõju-Sil og Ferromag.

	SiO <sub>2</sub>	<b>SiO<sub>2</sub>N</b>	SiO <sub>2</sub>
Fayalite Rockport	21.698	<b>29.219</b>	28.315
Garnet 12442 Barry Clarke	31.510	<b>37.79</b>	39.520
Opx SP18 B, Clarke	41.393	<b>51.12</b>	50.805
Magnophorite Wolg. Hills	45.200	<b>55.62</b>	55.152
Kaersutite Kak K! Ont NZ	31.701	<b>40.33</b>	39.738
Kaersutite #357 (Korath Eth)	31.292	<b>39.311</b>	39.270
Hornblende Kakanui	32.772	<b>40.37</b>	40.960



## Gler

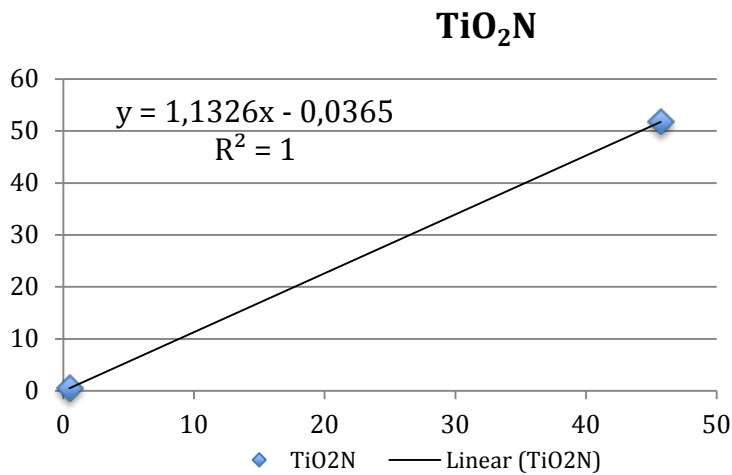
	SiO <sub>2</sub>	<b>SiO<sub>2</sub>N</b>	SiO <sub>2</sub>
Sphene glass NASA	21.400	<b>30.651</b>	32.077
VG A99 Basalt GL	41.771	<b>50.96</b>	50.546
Ind OC 102 Basalt GL	41.231	<b>51.77</b>	50.057
ATHO Acid GL	68.309	<b>74.625</b>	74.607
ATHO Acid GL B	68.309	<b>73.96</b>	74.607
Low K GL Apollo 11 NASA	31.255	<b>39.18</b>	41.012
Basaltic glass Kreep NASA	40.598	<b>48.4</b>	49.483
WRAB 4 Basalt GL	37.020	<b>47.6</b>	46.239
J. De Fuca Basalt GL	39.342	<b>50.81</b>	48.344
J. De Fuca Basalt GL B	39.342	<b>48.06</b>	48.344
CAM 112 #308	70.587	<b>75.971</b>	76.672



## Fe-Ti oxíð

---

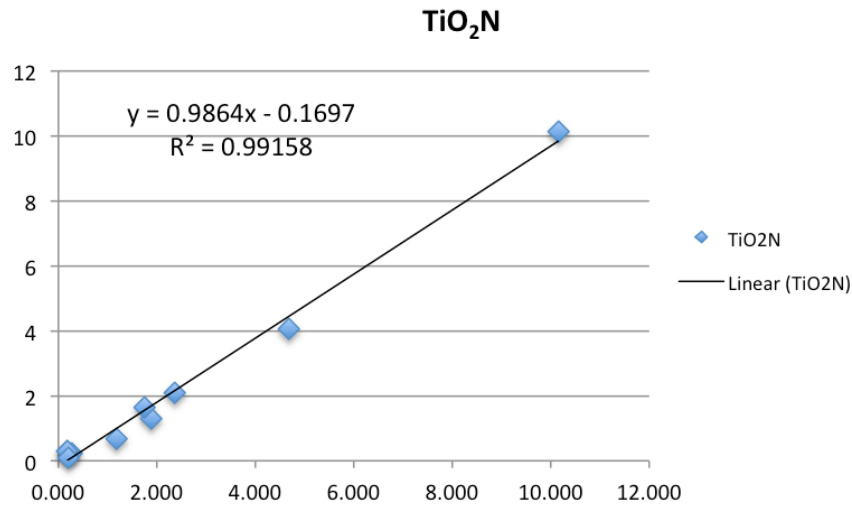
	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> N	TiO <sub>2</sub>
Ilmenite Sawyer Evans B	45.725	<b>51.75</b>	51.75
Chromite #396	0.474	<b>0.5</b>	0.5



## Gler

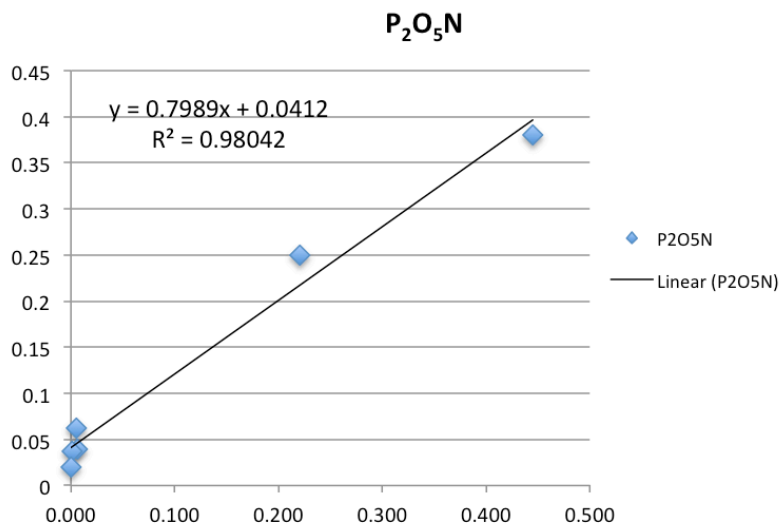
	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> N	TiO <sub>2</sub>
CAM66 Acid GL #318	0.192	<b>0.31</b>	0.020
AALK Acid GL	0.265	<b>0.24</b>	0.092
VG A99 Basalt GL	4.685	<b>4.06</b>	4.452
Ind OC 102 Basalt GL	1.896	<b>1.29</b>	1.700
ATHO Acid GL B	0.178	<b>0.3</b>	0.006
Low K GL Apollo 11 NASA	10.148	<b>10.12</b>	9.841
Basaltic glass Kreep NASA	1.749	<b>1.66</b>	1.555
WRAB 4 Basalt GL	1.189	<b>0.69</b>	1.003
J. De Fuca Basalt GL B	2.373	<b>2.09</b>	2.171
CAM 112 #308	0.193	<b>0.1</b>	0.021





### Ferromag. Steindir

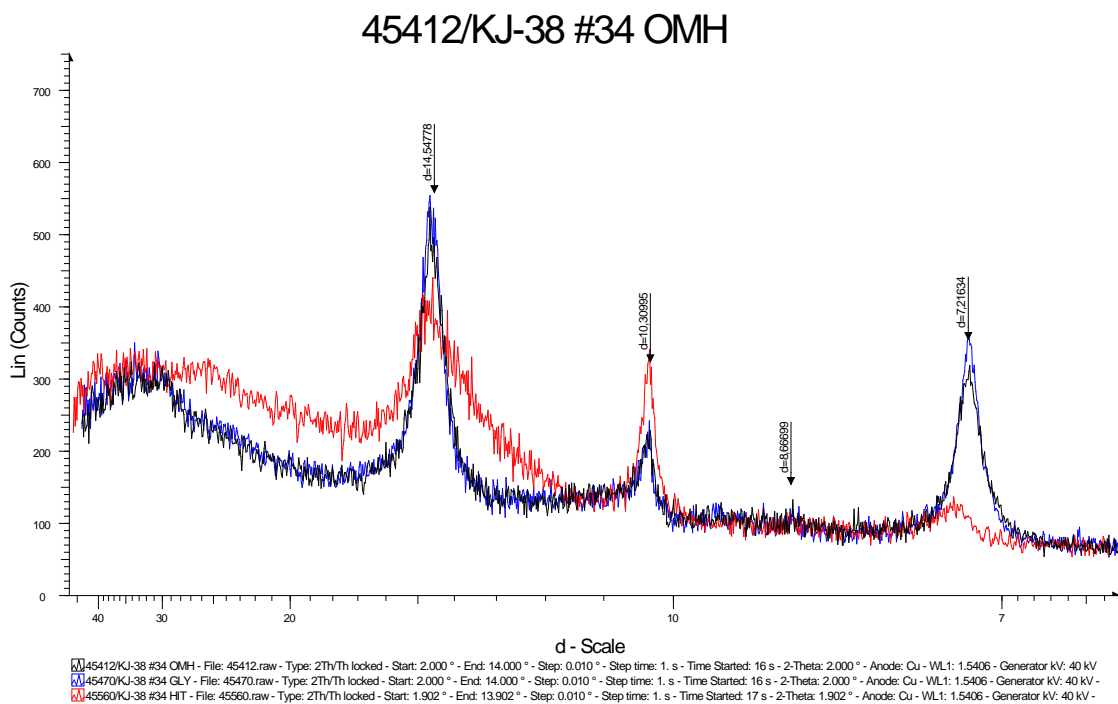
	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> N	TiO <sub>2</sub>
Fayalite Rockport	0.075	<b>0.04</b>	-0.096
Biotite LP6	1.842	<b>1.67</b>	1.647
Kaersutite Kak K! Ont NZ	6.555	<b>5.75</b>	6.296
CAM66 Acid GL #318	0.192	<b>0.31</b>	0.020
AALK Acid GL	0.265	<b>0.24</b>	0.092
VG A99 Basalt GL	4.685	<b>4.06</b>	4.452
ATHO Acid GL	0.178	<b>0.25</b>	0.006
ATHO Acid GL B	0.178	<b>0.3</b>	0.006
Basaltic glass Kreep NASA	1.749	<b>1.66</b>	1.555
J. De Fuca Basalt GL B	2.373	<b>2.09</b>	2.171
Rhodonite Franklin Furnance	0.070	<b>0.049</b>	-0.101





## Viðauki D – Leirgreiningar

Sameiginlegt með öllum XRD-línuritum af klórít-leir frá dýpri hluta KJ-38 er að d-gildið fyrir 001 toppinn (basal spacing) er alltaf hærra en 14,2 Å. D-gildin fyrir 001 toppinn eru flest 14,4-14,6 Å, sem bendir til klóríts með millilögum af smektíti og eða vermikúlíti. Klórít-illít blandleir er oftast með 001 d-gildi milli 12 og 14 Å. Í hreinu klóríti hækkar toppurinn fyrir 001 d-gildið (14,1-14,2 Å) undantekningarlaust við hitun. Í klórít-smektít leir brekkar bilið lítillega við glýkólmettuð en í vermikúlíti og klórít-vermikúlít blandleir (Noack and Colin 1986; Johnson, 1964; Harvey and Beck, 1960) lækkar þessi toppur við hitun í átt að 12 Å og toppurinn um 10 Å hækkar samtímis en það er helsta einkenni klórít-blandleirsins í holu KJ-38. Mynd D.1 sýnir þessi einkenni sem eiga einnig við sýni frá (1820, 1880, 1950, 2000, 2068, 2152, 2250 og 2260) m dýpi í holu KJ-38. Leirsteindirnar í neðri hluta holu KJ-38 eru því nefndar Klórít/vermikúlít í Töflu D.13.



Mynd D.1 Röntgenlínurit (XRD) af leir á 2068 m dýpi í Holu KJ-38. Svartur ferill er fyrir ómeðhöndluð sýni, blár ferill fyrir glýkólmettuð sýni og rauður ferill fyrir sýni hituð í 500°C í 30 mínútur. Gögn birt með heimild Landsvirkjunar.

Tafla D.13 Efnagreiningar af Klórít-Vermikúlít leir

Sýni	Greining	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	#Mg
38-1874	Jfr66-5	36.8	19.5	32.1	0.3	10.4	0.4	0.4	0.37
38-1874	Jfr61-1	31.1	19.4	37	0.5	11.6	0.2	0.1	0.36
38-1874	Jfr66-4	37.4	19.2	31.6	0.4	10.4	0.5	0.4	0.37
38-1874	Jfr66-2	31.7	19.1	38	0.5	10	0.5	0.1	0.32
38-1874	Jfr66-3	38.8	19.1	30.2	0.4	10.5	0.5	0.3	0.38
38-1874	Jfr66-6	39.4	18.9	30.7	0.3	10.1	0.3	0.3	0.37
38-1874	Jfr66-7	39.2	18.6	31.4	0.2	9.7	0.5	0.3	0.36
38-1874	Jfr66-1	38.8	17.9	32.6	0.5	9.3	0.4	0.2	0.34
39-2157	Jfr22-1	28.8	20.3	42	0.6	6.8	0.6	0.8	0.22
39-2157	Jfr30-2	30	21.2	39.2	0.6	8.3	0.4	0.2	0.27
39-2157	Jfr22-6	30	20.9	39.9	0.5	7.5	0.5	0.7	0.25
38-2266	Jfr48-1	40.5	14.7	23.6	0.3	18	0.4	0.1	0.58
38-2266	Jfr36-1	33.7	11.5	37.2	0.2	16.5	0.9	0.1	0.44
39-2157	Jfr19-1	36.9	17	23.6	0.3	20.1	2.1	0.1	0.60

Efnagreiningarnar í Töflu D.13 eru af leir úr holu KJ-38. Eins og greint er að framan, er klórítið nefnt klórít/vermikúlít því útilokað er á grunni XRD-línurita að um sé að ræða klórít-smektít og þar sem leirinn er kalíumsnauður er klórít-illít einnig útilokað. Efnasamsetningin er mjög breytileg og með nánast sama samsetningarbíl og klórít úr djúpborun í Reyðarfirði (Exley, 1982). Í Töflu D.13 sést að flest sýnin eru chamosite en aðeins sýni 38-2266 og 39-2157 eru clinochlor. Járnríkt klórít (chamosite, #Mg yfir 0,5) einkennir einnig sýnin frá djúpboruninni í Reyðarfirði (Exley, 1982; Mehegan og Robinson, 1982).

# Viðauki E – Heimildalisti

Eftirfarandi heimildaskrá um rannsóknir tengdar Kröflusvæðinu er skipt í 6 flokka:

1. Upphafsrannsóknir á Kröflusvæði
2. Kröflueldar - Rifting event
3. Borverk eftir Kröfluelda – Kröfluvirkjun
4. Jarð- og Jarðefnafræði
5. Jarðeðlisfræði
6. Borskýrslur Orkustofnunar, Ísor og Landsvirkjunar (skipt í tímaröð)

Ákveðið var að skipta efninu eftir tegund rannsókna fremur en að skipta því eftir tímabilum. Kröflurannsóknir skiptast þó vitanlega í rannsóknartímabilin a) fyrir Kröfluelda og b) Kröflueldar- eldfjallafræði. Hagnýtar rannsóknir og rannsóknir tengdar Kröflueldum falla svo vissulega saman í tíma. Með því að skipta heimildaskránni í þessa flokka gerir það hana nýtilegri og aðgengilegri við notkun þar sem höfundar og rannsakendur leita jafnan að efni á eigin fræðasviði. Gera má ráð fyrir að einhverjar heimildir geti átt heima í fleiri en einum flokki, en hver og ein er þó aðeins sett í einn flokk. Í hverjum flokki eru heimildir skráðar eftir stafrófsröð höfunda nema í flokki 6 þar sem borskýrslur eru flokkaðar eftir tímaröð.

## Flokkur 1: Upphafsrannsóknir í Kröflusvæði

1. Bragi Árnason (1976). *Groundwater systems in Iceland traced by deuterium*. Publ. Soc. Sci. Isl. (Vísindafélag Íslendinga), No. 42, 236 pages.
2. Christensen, O. T. (1889). *Tidskrift for Physik og Chemik* 10, p. 225.
3. Guðmundur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Karl Grönvold, Karl Ragnars, Kristján Sæmundsson og Stefán Arnórsson (1971). *Námafjall - Krafla. Áfangaskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðanna*. Orkustofnun. 81 s. + viðauki
4. James, R. (1966). Metering of steam-water two phase flow by sharp-edged orifices. *Proc. Inst. Mech. Eng. London*, 180, 549-572.
5. Jarðboranir ríkisins (1951). *Efnagreiningar af hverum og laugum*.
6. Jarðhitadeild Orkustofnunar og Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns (1973). *Jarðgufuaflostöð. Frumáætlun um 8 MW, 12 MW, 16 MW og 55 MW aflstöð með tilliti til virkjunar í Námafjalli eða Kröflu*. Orkustofnun, OS-JHD-7318, 17 bls.
7. Johnstrup, F. (1886). Om de vulkanske Udbrud & Solfatarerne i den nordöstlige Del av Island. Den Naturhist. Foren. Festskrift. Khöfn.
8. Jón Benediktsson 1747 (útg.1957). *Description over Noedersijissels udi Island Situation, Biærge, Klipper, Fiælde, Dale og adskillige Producter og Beskaffenhed til Land og Vand*. Sýslulýsingar 1744-1749. Reykjavík. Sögurit 28, 218-251.
9. Jón Sæmundsson (1726). *Sandferdig Relation om det udi Island Brændende Field Krabla, og andre der omkring liggende Smaae Fielde, baade med Jordskielv, Torden og Aske-Fald*. Khöfn. 3 bls. Endurprentað í Týli 6, 41-42.
10. Noll, H., (1967). Maare und maar-aehnliche Explosionskrater in Island. Sonderveroeffentlichung des Geol. Inst. d. Univ. Koeln, Heft 11, 117s.
11. Páll Valsson (1999). *Jónas Hallgrímsson – ævisaga*. Reykjavík, Mál og Menning, 1999.

- 528 s.
12. Richard, D., Susan E. Owen and Freysteinn Ólafur Jónsson (1946). Frá Kröflu. *Náttúrufræðingurinn*, 16. Árg. 1946, 4. tölublað. 152-157.
  13. Rittmann, A. (1938). Die Vulkane am Mývatn. *Bull. Volcanol.* 2(4): 1-38.
  14. Rittmann, A. (1939). Threngslaborgir, Eine islandische Eruptionsspalte am Mývatn. *Natur und Volk* 69: 275-289.
  15. Sigurður Steinþórsson (2007). Jarðfræðingurinn Jónas Hallgrímsson. Í Sveinn Yngvi Egilsson (ritstjóri), *Undir Hraundranga: úrval ritgerða um Jónas Hallgrímsson* (bls. 81-97). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
  16. Sigurður Þórarinnsson (1960). *The postglacial history of the Mývatn area and the area between Mývatn and Jökulsá á Fjöllum*. In: *On the Geology and Geophysics of Iceland. Guide to Excursion no 2*, 60-69.
  17. Sveinbjörn Björnsson (1969). *Áætlun um rannsókn háhitasvæða*. Reykjavík, Orkustofnun, Jarðhitadeild; 69-08, 18 bls.
  18. Thorkelsson, Th. (1910). *The hot springs of Iceland*. K. Dan. Vidensk. Selsk. Skr, Köbenhavn 1910.
  19. Traustu Einarsson (1942). *Über das wesen der heissen quellen Islands. Mit einer übersicht über die tektonik des mittleren Nordislands*. Reykjavík, Vísindafélag Íslendinga, 1942. 91 s.
  20. Þorvaldur Thoroddsen (1911). *Lýsing Íslands*, annað bindi. Hið íslenska Bókmenntafélag, Kaupmannahöfn, S.L. Möller (prentað).
  21. Þorvaldur Toroddsen (útg.) (1907-1915). *Skýrslur um Mývatnselda 1724-1729*. Safn til sögu Íslands 4, 385-411.

## Flokkur 2: Kröflueldar – Gliðunar tímabil

1. Arnadóttir, Th., Sigmundsson, F. and Delaney, P. T. (1998). Sources of crustal deformation associated with the Krafla, Iceland, eruption of September 1984, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1043-1046.
2. Axel Björnsson (1976). *Gosvakt við Kröflu*. OS-JHD-7650
3. Axel Björnsson (1976). Jarðhræringar við Kröflu (Rifting and volcanism in the Krafla area 1975-1977). *Náttúrufræðingurinn*, 46, nr. 4. 177-198.
4. Axel Björnsson (1978). *Rannsóknir og eftirlit á Kröflusvæði vegna jarðhræringa og eldgosahættu: staða og horfur í febrúar 1978*. Orkustofnun, jarðhitadeild; OS-JHD-7811, 3bls.
5. Axel Björnsson (1985). Dynamics of crustal rifting in NE-Iceland. *Geophysics*, 90. 151-162.
6. Axel Björnsson og Hjálmar Eysteinnsson (1998). *Breytingar á landhæð við Kröflu 1974–1995 Samantekt á landhæðarmælingum*. (Samvinnuverk Orkustofnunar, Norrænu eldfjallastöðvarinnar og Landsvirkjunar). Orkustofnun, OS-98002, 161 bls.
7. Axel Björnsson og Oddur Sigurðsson (1978-1979). Hraungos úr borholu í Bjarnaflagi. *Náttúrufræðingurinn*, árg. 48, 1.-2. Tölublað. 19-23.
8. Axel Björnsson, Grímur Björnsson & Hjörtur Tryggvason (1984). *Breytingar á sprunguvídd og grunnvatnshita í Kröflueldum 1975-1983*. Orkustofnun, fjölrit OS-84085/JHD-37B
9. Axel Björnsson, Gunnar Johnes, Sven Sigurðsson, Gunnar Thorbergsson, Eysteinn Tryggvason (1979, 10. Júní). Rifting of the plate boundary in north Iceland (1975-1978). *Journal of Geophysical Research*, 84, Issue B6. 3029-3038.
10. Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Páll Einarsson, Eysteinn Tryggvason og Karl Grönvold (1977). Current rifting episode in North Iceland. *Nature*, 266. 318-323.
11. Bryndís Brandsdóttir (1978). *Jarðskjálftavirkni samfara umbrotum á Kröflusvæði og í Mývatnssveit 8. September 1977*. 4.árs verkefni við Háskóla Íslands, 39 bls.
12. Buck, W. R., Einarsson, P. og Brandsdóttir, B. (2006). Tectonic stress and magma

- chamber size as controls on dike propagation: Constraints from the 1975–1984 Krafla rifting episode. *J. Geophys. Res.*, 111, B12404.
13. Egill Hauksson (1981). Episodic rifting and volcanism at Krafla in North Iceland: Radon (222) emission from fumaroles near Leirhnjúkur. *J. Geophys. Res.* 86. 11806-11814.
  14. Egill Hauksson (1983). Episodic rifting and volcanism at Krafla in North Iceland: Growth of large ground fissures along the plate boundary. *J. Geophys. Res.* 88: 625-636.
  15. Ewart, J.A., Voight, B., Axel Björnsson (1991). Elastic deformation models of Krafla Volcano, Iceland, for the decade 1975 through 1985. *Bulletin of Volcanology* 53: 436-459.
  16. Eysteinn Tryggvason (1978). *Distance measurements in 1977 in the Krafla-Mývatn area and observed ground movements*. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 7810, 47 bls.
  17. Eysteinn Tryggvason (1978). *Tilt observations in the Krafla-Mývatn area. 1976-1977*. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 7802. 45 bls.
  18. Eysteinn Tryggvason (1978). *Umbrotahrinan við Kröflu 10.-14. nóvember 1978*. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 7815. 10 bls.
  19. Eysteinn Tryggvason (1979). *Tilt observations in the Krafla-Mývatn area, progress report*. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 7907. 55 bls.
  20. Eysteinn Tryggvason (1981). Kröflugosið 16. marz 1980. *Týli 11: 17-18*.
  21. Eysteinn Tryggvason (1982). Observed ground deformation during the Krafla eruption of March 16, (1980). *Arquipélago, Univ. Açores, Série Ciências da Natureza, III: 45-106*.
  22. Eysteinn Tryggvason (1983). *Distance measurements in the Gjástykki-Krafla-Mývatn area 1979-1982*. Progress report. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 8301, 48 bls.
  23. Eysteinn Tryggvason (1984). The widening of the Krafla fissure swarm during the 1975-1981 volcanotectonic episode. *Bull. Volcanol.*, 47. 47-69.
  24. Eysteinn Tryggvason (1986). *Vertical ground movement in the Krafla region 1977-1986*. Byproduct of distance measurements. NVI Research Report 8602.
  25. Eysteinn Tryggvason (1986). *Vertical tilt in the Krafla-Mývatn area 1976-1985*. NVI Research Report 8601.
  26. Eysteinn Tryggvason (1986). Multiple magma reservoirs in a rift zone volcano: Ground deformation and magma transport during the September 1984 eruption of Krafla, Iceland. *J. Volc. Geothermal Res.*, 28. 1-44.
  27. Eysteinn Tryggvason (1987). Myvatn lake level observations 1984-1986 and ground deformation during a Krafla eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 31, 131-138.
  28. Eysteinn Tryggvason (1995). *Optical levelling tilt stations in the vicinity of Krafla and the Krafla fissure swarm. Observations 1976 to 1994*. NVI Research Report 9505.
  29. Eysteinn Tryggvason (1999). *The Krafla center of inflations and deflations during the years 1975 to 1997*. NVI Research Report 9901.
  30. Freysteinn Sigmundsson (2006). *Iceland Geodynamics, Crustal Deformation and Divergent Plate Tectonics*, Praxis Publishing - Springer Verlag, Chichester, England, 209 bls.
  31. Guðmundur Pálmason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Axel Björnsson og Ingvar Birgir Friðleifsson (1976). *Greinargerð um framkvæmdir við Kröfluvirkjun í ljósi jarðskjálfta, sprunguhreyfinga og eldgosahættu*. OS-JHD-7604. 11 bls.
  32. Guðmundur Sigvaldason, Karl Grönvold, Eysteinn Tryggvason & Páll Einarsson (1976). *Greinargerð um jarðfræðilegt ástand Kröflusvæðisins og ályktanir um hættu á eldgosu*. Morgunblaðið 27. ágúst.
  33. Gunnar V. Johnsen, Axel Björnsson og Sven Sigurðsson (1980). Gravity and elevation changes caused by magma movement beneath the Krafla Caldera. *Northern Iceland. J. Geophysics*, 47: 132–140.
  34. Helgi Torfason (1984). Nornahár III. Nornahár frá Kröflugosinu í janúar 1981. *Náttúrufræðingurinn* 53: 145-147
  35. Hjálmar Eysteinnsson (1998). *Úrvinnsla þyngdarmælinga á Kröflusvæði frá 1975-1995: Staða og áætlun um lok úrvinnslu og skýrsluskrif*. Orkustofnun, HE-98/03, 3 bls.
  36. Hjörtur Tryggvason (1977). *Stutt skýrsla um eldgosid norðan Leirhnjúks 8.-9. september 1977*. Týli 7: 57-58.
  37. Hjartardóttir, Ásta, Einarsson, Páll, Bramham, Emma, Wright, Tim (2012). The Krafla

- fissure swarm, Iceland, and its formation by rifting events. *Bulletin of Volcanology*, 2012, Vol. 74 (9). 2139-2153.
38. Hollingsworth, James ; Leprince, Sébastien; Ayoub, François ; Avouac, Jean-philippe. Deformation during the 1975–1984 Krafla rifting crisis, NE Iceland, measured from historical optical imagery. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2012, Vol.117(B11).
  39. Kristján Sæmundsson (1974). Evolution of the axial rifting zone in northern Iceland and the Tjörnes fracture zone. *Geol. Soc. America Bull.* 85. 495-504.
  40. Kristján Sæmundsson (1984). *The eruption history of the Krafla volcano during last 3000 years* (In Icelandic). In “ Ravens’ Congregation” on status of the Krafla geothermal power station 2nd and 3rd March 1983, Krafla Power Station. November 1-2, 1984, 9-25.
  41. Kristján Sæmundsson (1984). *Gossaga Kröflu, Hverfjallskeið*. Ráðstefna um stöðu Kröfluvirkjunar 1.-2. 11 Rarik/Kröfluvirkjun, fjölrítuð skýrsla.
  42. Kristján Sæmundsson (1991). *Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstjórar): Náttúra Mývatns*. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, 25–95.
  43. Marquart, G. & Jacoby, W. (1985). On the mechanism of magma injection and plate divergence during the Krafla rifting episode in NE Iceland. *Journal of Geophysical Research* 90: 10178-10192.
  44. Níels Óskarsson (1984). Monitoring of fumarole discharge during the 1975-1982 rifting in Krafla volcanic center, north Iceland. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 22, 97-121.
  45. Níels Óskarsson (1978). *Effect of magmatic activity on fumarole gas composition in the Námafjall - Krafla volcanic center, N- Iceland*. Nordic Volcanological Institute 78-03, 32 s.
  46. Norræna Eldfjallastöðin, Orkustofnun, Raunvísindastofnun, Veðurstofa Íslands (1976). *Rannsókn á umbrotum við Kröflu og sprungukerfi í Kelduhverfi*. Sameiginleg rannsóknaráætlun. OS-JHD-7658.
  47. Oddur Sigurðsson (1980). Surface deformation of the Krafla fissure swarm in two rifting events. *J. Geophys.* 47. 154-159.
  48. Opheim, J. A. (1988). *A statistical analysis of fractures and related postglacial stress field in the Krafla fissure swarm, NE - Iceland*. NVI Research Report 8801.
  49. Opheim, J. A. and Gudmundsson, A., (1989). Formation and geometry of fractures, and related volcanism, of the Krafla fissure swarm, Northeast Iceland. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101, 1608-1622.
  50. Páll Einarsson (1978). *S - wave shadows in the Krafla caldera in Ne - Iceland, evidence for a magma chamber in the crust*. Raunvísindastofnun Háskólans. 20 s.
  51. Páll Einarsson (1991). *Umbrotin við Kröflu 1975–89. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstjórar), Náttúra Mývatns*. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, 96–139.
  52. Páll Imsland (1989). Um Kröfluelda. *Náttúrufræðingurinn*, 59 árgangur, 2. Tölublað. 157-58.
  53. Richard, D., Susan E. Owen and Freysteinn Sigmundsson. *Dike models of tiltmeter data from the 1984 rifting event at Krafla, Iceland: Indication of a vertical component to the propagation direction*, 31 August - 8 September, Geysir, South Iceland, p. 41, Nordic Volcanol. Inst. Report 0303, Reykjavik, Iceland, 2003.
  54. Rymer, Hazel; Cassidy, John; Locke, Corinne A. and Sigmundsson, Freysteinn (1998). Post-eruptive gravity changes from 1990 to 1996 at Krafla volcano, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 87(1-4). 141–149.
  55. Sigvaldason, G. E. (1996). Precursors to the Krafla rifting episode and human reactions. A case history. In: *Barberi et al. (eds.) The mitigation of volcanic hazards*, p. 443-449. ECSC-EC-EAEC, Brussels.
  56. Sturkell, E. (2005). Kraflaeldarna 1975-1984. *Geologiskt Forum* 12(48): 8-15.
  57. Vadon, H., Sigmundsson, F. and Massonnet. D. (1997). *Readjustment of the Krafla spreading segment to crustal rifting measured by Satellite Radar Interferometry*. EOS



- Transactions American Geophysical Union, 78, AGU Fall Meeting abstracts, p. F166.
58. Valgarður Stefánsson (1977). Áhrif eldgosa á Leirhnjúkssprungunni og annarra umbrota á Kröflusvæði og vinnslueiginleikum jarðhitasvæðisins við Kröflu.

### **Skjálftabréf**

59. Egill Hauksson (1975). *Jarðskjálftamælingar á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 4: 3-4.
60. Eysteinn Tryggvason (1980). *Eldgosið norðan Leirhnjúks 16. mars 1980*. Skjálftabréf 42: 11-12.
61. Foulger, G.R. 1987. *Skjálftarannsóknir við Kröflu sumarið (1985)*. Skjálftabréf 63: 12-14.
62. Hjörtur Tryggvason (1976). *Jarðskjálftahrina í sunnanverðu Gjástykki 31. október til 2. nóvember 1976*. Skjálftabréf 16: 4-5
63. Hjörtur Tryggvason (1977). *Náttúruhamfarir í Mývatnssveit í september 1977*. Skjálftabréf 25: 2-5.
64. Karl Grönvold (1980). *Umbrotahrina og eldgos við Kröflu 16. mars 1980*. Skjálftabréf 42: 8-10.
65. Karl Grönvold & Kristján Sæmundsson (1981). *Hraungos í Kröflueldum*. Skjálftabréf 47: 6-14.
66. Karl Grönvold & Kristján Sæmundsson (1982). *Hraun í Kröflueldum*. Skjálftabréf 51: 4-6.
67. Karl Grönvold & Páll Einarsson (1978). *Kvikuhlaup úr Kröflueldstöðinni í júlí*. Skjálftabréf 32: 4-7.
68. Karl Grönvold & Páll Einarsson (1978). *Umbrotahrina við Kröflu 10.-15. nóvember 1978*. Skjálftabréf 35: 2-3.
69. Karl Grönvold, Páll Einarsson & Bryndís Brandsdóttir (1980). *Eldgos á Kröflusvæðinu 18.-23. október*. Skjálftabréf 45: 5-10.
70. Karl Grönvold, Páll Einarsson, Bryndís Brandsdóttir & Hjörtur Tryggvason (1982). *Eldgosið á Kröflusvæði 18.-23. nóvember 1981 og aðdragandi þess*. Skjálftabréf 49: 7-10.
71. Páll Einarsson (1976). *Skjálftavirkni á Mývatns- og Kröflusvæði*. Skjálftabréf 12: 3-4.
72. Páll Einarsson (1976). *Breytingar á skjálftavirkni við Kröflu*. Skjálftabréf 11: 3-5.
73. Páll Einarsson (1976). *Eftirlit hert með Kröflusvæði*. Skjálftabréf 14: 3-4.
74. Páll Einarsson (1976). *Jarðskjálftar við Kröflu*. Skjálftabréf 8: 2-4.
75. Páll Einarsson (1976). *Kröflusvæðið í september*. Skjálftabréf 15: 6-7.
76. Páll Einarsson (1976). *Sig, ris, skjálftar og órói á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 16: 5-9.
77. Páll Einarsson (1976). *Skjálftavirkni á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 10: 3-4.
78. Páll Einarsson (1977). *Atburðarás á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 24: 6-9.
79. Páll Einarsson (1977). *Skjálftar á Kröflusvæði og í Gjástykki*. Skjálftabréf 20: 4-6.
80. Páll Einarsson (1977). *Tíðindi af Kröflusvæði og Gjástykki*. Skjálftabréf 19: 6-8.
81. Páll Einarsson (1977). *Viðburðir við Kröflu og í Bjarnarflagi*. Skjálftabréf 22: 4-5.
82. Páll Einarsson (1979). *Skjálftahrina í Gjástykki í maí 1979*. Skjálftabréf 38: 8-9.
83. Páll Einarsson (1979). *Umbrotahrina við Kröflu 13.-18. maí 1979 og aðdragandi hennar*. Skjálftabréf 37: 4-7.
84. Páll Einarsson (1980). *Atburðarás á Kröflusvæði seinni helming ársins 1979*. Skjálftabréf 40: 5-7.
85. Páll Einarsson (1980). *Kröflusvæðið í júlí - september 1980*. Skjálftabréf 44: 5-8.
86. Páll Einarsson (1980). *Skjálftavirkni, kvikuhlaup og gos á Kröflusvæði í mars*. Skjálftabréf 42: 12-14.
87. Páll Einarsson (1982). *Aukin tíðni skjálfta á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 53: 6-8.
88. Páll Einarsson & Karl Grönvold (1978). *Jarðskjálftahrinan í Gjástykki í júlí og atburðarás á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 33: 2-4.
89. Páll Einarsson & Karl Grönvold (1984). *Eldgosið á Kröflusvæði í september 1984 og aðdragandi þess*. Skjálftabréf 59: 7-10.
90. Páll Einarsson (1977). *Skjálftahrinan í september og atburðarás á Kröflusvæði*. Skjálftabréf 27: 4-6.

### Flokkur 3: Borverk eftir Kröfluelda-Kröfluvirkjun

1. Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Freysteinn Sigmundsson, Guðni Axelsson, Halldór Ármannsson, Héðinn Björnsson, Kristján Ágústsson, Kristján Sæmundsson, Magnús Ólafsson, Ragna Karlsdóttir, Sæunn Halldórsdóttir og Trausti Hauksson (2009). Jarðhitakerfið í Kröflu. *Samantekt rannsókna á jarðhitakerfinu og endurskoðað hugmyndalíkan*. Landsvirkjun LV-2009/111, 206 bls og 2 kort.
2. Arnar Hjartarson (2006). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi frá 1996 til 2005*. Landsvirkjun. ÍSOR-2006/020. LV-2006/077, 52 s.
3. Benedikt Steingrímsson (1980). *Ástand borhola á Kröflusvæði í maí 1980*. Reykjavík, Orkustofnun, 4 bls.
4. Benedikt Steingrímsson og Guðbjörg Guðvarðardóttir (1976). *Hitamælingar í borholum, 1975, I*. Orkustofnun; OS-JHD-7651.
5. Benedikt Steingrímsson og Guðbjörg Guðvarðardóttir (1976). *Hitamælingar í borholum, 1975, II*. Orkustofnun; OS-JHD-7651.
6. Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson (1996). *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1995*. Orkustofnun OS-96025/JHD-14 B, 62 bls.
7. Cécile Massiot, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Ragnar K. Ásmundsson (2009). *High temperature spectral gamma ray and acoustic televiewer demonstrated for the HITI project in November 2008. Description of operations and data analysis of K-18 in Krafla and B-14 in Bjarnarflag*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/027. Unnið fyrir HITI European project. 33 s.
8. Fridleifsson, G.Ó., Ármannsson, H. and Mortensen, A.K. (2006): *Geothermal conditions in the Krafla caldera with focus on well KG-26. A review in relation to the Icelandic Deep Drilling Project*. Iceland Geosurvey Report ÍSOR 2006/030, 37 pp.
9. Fridleifsson, G.Ó., Ármannsson, H., Árnason, K., Bjarnason, I.Th. and Gíslason, G. 2003. Part I. Geoscience sand Site Selection. In *Icelandic Deep Drilling Project, Feasibility Report* (Fridleifsson, G.Ó. editor), Orkustofnun Report OS-2003/007, 104 pp.
10. Fridleifsson, G.Ó., Ármannsson, H., Árnason, K., Guðmundsson, Á. And Sæmundsson, K. (2008). *Re-evaluation of the first IDDP drillsite*. IDDP report, 13 pp.
11. Friðleifsson, G.Ó., Ármannsson, H., Guðmundsson, Á., Árnaso, K., Mortensen, A.K., Pálsson, B., Einarsson, G.M., (2014). Site selection for the well IDDP-1 at Krafla. *Geothermics* 49, 9–15.
12. Friðleifsson, G.Ó., Elders, W.A., (2005). The Iceland Deep Drilling Project: a search for deep unconventional geothermal resources. *Geothermics* 34 (3), 269–285.
13. Grímur Björnsson og Ómar Sigurðsson (1999). *Þrívítt reiknilíkan af Kröflusvæðinu - Staða og horfur í janúar 1999*. Orkustofnun, greinargerð, GrB/Ómar-99/02.
14. Grímur Björnsson, Guðmundur S. Böðvarsson, Helga Tulinius, Ómar Sigurðsson og Sigvaldi Thordarson (1997a). *Áhrif nýborana á suðurhlíðar Kröflu. Áfangaskýrsla um þrívítt reiknilíkan*. Orkustofnun OS-97027, 54 bls.
15. Grímur Björnsson, Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson (1997b). *Um áhrif nýborana í suðurhlíðum Kröflu - Frumniðurstöður úr þrívíðu reiknilíkani*. Orkustofnun, greinargerð, GrB/HTul/Ómar-97.
16. Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson (1985). *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun OS-85076/JHD-10, 134 bls.
17. Guðmundur S. Böðvarsson, Karsten Pruess, Valgarður Stefánsson og Einar Tjörvi Elíasson (1982). *Modeling studies of the natural state of the Krafla geothermal field, Iceland*. Proceedings Eight Workshop of Geothermal Reservoir Engineering, 7 bls.
18. Guðmundur S. Böðvarsson, Karsten Pruess, Valgarður Stefánsson og Einar Tjörvi

- Eliásson (1984a). *The Krafla geothermal field, Iceland. 2. The natural state of the system.* Water Res. Res., 20, 1531–1544.
19. Guðmundur S. Böðvarsson, Karsten Pruess, Valgarður Stefánsson og Einar Tjörvi Eliásson (1984b). *The Krafla geothermal field, Iceland. 3. The generation capacity of the field.* Water Res. Res., 20, 1545–1559.
  20. Guðmundur S. Böðvarsson, S. M. Benson, Ómar Sigurðsson, Valgarður Stefánsson og Einar Tjörvi Eliásson (1984c). *The Krafla Geothermal Field, Iceland 1. Analysis of well test data.* Water Res. Res., 20, 1515–1530.
  21. Guðni Axelsson (2009). *Hugleiðingar um líklega afkastagetu jarðhitakerfisins í Kröflu og sjálfbæra nýtingu þess.* Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-09037, 7 bls.
  22. Gufuafliðstöð við Kröflu. Frumáætlun um stöðvarhús. VST/júní 1971
  23. Gufuafliðstöð við Kröflu. Vegur til Vítis. Frumáætlun. VST/okt 1971
  24. Guttormur Sigbjarnarson, Haukur Tómasson, Jónas Eliásson og Stefán Arnórsson (1974). *Álitsgerð um mengunarhættu vegna affallsvatns frá gufuvirkjun við Kröflu eða Hverarönd.* OS-JHD-7427 / OS-RID-7421.
  25. Halldór Ármannsson (1995). *Um affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Niðurstöður athugana á holu AB-02, Búrfellshrauni.* Orkustofnun OS-95046/JHD-30 B. 14 bls.
  26. Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson (1988). *Jarðhitasvæðið við Hvíthóla. Hermireikningar og vinnsluspá.* Orkustofnun, OS-88007/JHD-03, 24 bls.
  27. Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson (1991). *Krafla. Þrívíð hermun fyrir vinnslusvæðið á Hvíthólum.* Orkustofnun OS-91046/JHD-07, 37 bls.
  28. Hjartarsson, A., Sigurðsson, Ó., Guðmundsson, Á, Ármannsson, H. and Karlsdóttir, R. (2004). *A computer simulation of the Námafjall geothermal system and forecast about its future state upon production of 90 MW electricity from Bjarnarflag* (In Icelandic). ÍSOR-2004/009, 119 pp.
  29. Hrefna Kristmannsdóttir (1975). *Krafla. Jarðlög og ummyndun í borholum 1 og 2 í Kröflu.* OS-JHD-7542.
  30. Jón Ingimarsson, Jónas Eliásson og Sven Þ. Sigurðsson (1976). *Frárennsli Kröfluvirkjunar.* Reykjavík, Orkustofnun; OS-SFS-7603, 33 bls.
  31. Jón Ólafsson (1976). *Kvikasilfur og arsenik í háhitavatni við Námafjall og Kröflu.* Hafrannsóknarstofnun.
  32. Karl Ragnar (1976). *Öryggisbúnaður og framkvæmdaráætlun við boranir með Jötni í Kröflu.* OS-JHD-7614.
  33. Karl Ragnars (feb. 1975). *Bréf OS til Kröflunefndar, Hönnunarforsendur um inntaksþrýsting gufu á aflvélar í Kröfluvirkjun.*
  34. Karl Ragnars og Stefán Sigurmundsson (1975). *Áætlun um borun fimm vinnsluhola við Kröflu 1975. Endurnýjuð áætlun frá 16.01.1975.* OS-JHD-7536 / Maí 1975
  35. Kristján Sæmundsson (1971, janúar). 2. *Framvinduskýrsla um rannsóknir á Námfjalls-Kröflusvæðinu og uppgjör á kostnaðarreikningi.* Reykjavík, Orkustofnun, 1971. 6 bls.
  36. Kristján Sæmundsson, Stefán Arnórsson, Karl Ragnars, Hrefna Kristmannsdóttir og Gestur Gíslason (1975). *Krafla. Skýrsla um niðurstöður rannsóknarborana 1974.* Orkustofnun, OS- JHD-7506, 47 bls.
  37. Orkustofnun. (1972). *Jarðgufuafliðstöð. Frumáætlun um aflstöð með OST.* Jarðhitadeild, Orkustofnun. (Líka til á ensku).
  38. Pruess, K., Guðmundur S. Böðvarsson, Valgarður Stefánsson og Einar Tjörvi Eliásson (1984). *The Krafla geothermal field, Iceland. 4. History match and prediction of individual well performance.* Water Res. Res., 20, 1561–1584.
  39. Sigurður Sveinn Jónsson, Ásgrímur Guðmundsson og Sigvaldi Thordarson (2003). *Krafla : Borun kjarnaholu KH- 3 milli Jörundar og Háganga.* Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2003/015, 24 bls.
  40. Skýrsla Iðnaðarráðherra til Alþingis um Kröfluvirkjun:  
<http://www.althingi.is/altxt/99/s/pdf/0684.pdf>
  41. Stefán Arnórsson (1976). *Kísill og brennisteinsvetni í affallsvatni frá gufuborholum.* OS-JHD-7601.

42. Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson (1976). *Vatnasvið Hlíðardalslækjar og affallsvatns frá Kröfluvirkjun*. OS-JHD-7602.
43. Stefán Arnórsson, Karl Ragnars Kristján Sæmundsson (1975). *Krafla. Niðurstaða vinnsluborana 1975 – Horfur um gufuöflun*. OS-JHD-7558.
44. Steinþórsson, S. and Sveinbjörnsdóttir, A.E., (1981). Opaque minerals in geothermal well No. 7, Krafla, Northern Iceland. *J. Volc. Geothermal Res.*, 10: 245-261.
45. Svanur Pálsson, Guðmundur Ingi Haraldsson og Guðmundur H. Vigfússon (1984). *Eðlismassi og poruhluti bergs*. Orkustofnun, OS-84048/VOD18, 35 s.
46. Sveinbjörn Björnsson (2006). *Orkugeta jarðhita*. Orkuþing 2006, 12.–13 október. 332–342.
47. Valgarður Stefánsson. *Virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Reynslusaga frá Kröfluvirkjun*. Bæklingur Orkustofnunar, bls 22-29.
48. Valgarður Stefánsson (1980). Rannsóknir á háhitasvæðinu í Kröflu. *Náttúrufræðingurinn*, 50 (3–4). 333–359.
49. Valgarður Stefánsson (1981). The Krafla geothermal field, Northeast Iceland. Kafli 10 í Ryback, L. og Muffler, L. J. P (ritstj.). *Geothermal systems: Principles and case histories*. John Wiley and Sons Ltd. New York, 273–294.
50. Valgarður Stefánsson, (1979). *Yfirborðsrannsóknir í Kröflu. Verklýsing og kostnaðaráætlun fyrir árið 1979*. Reykjavík, Orkustofnun. 30 s.
51. Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson og Trausti Hauksson (1979). *Eftirlit með jarðhitakerfinu við Kröflu*. Reykjavík, Orkustofnun. 18 s.
52. Valgarður Stefánsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Gestur Gíslason (1977). *Holubréf nr. 7*. Orkustofnun. 10 bls.
53. Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson (1981). *Um skáborun í Kröflu*. Orkustofnun. Greinagerð; VS-BS-81/02a.
54. Verkfræðist: Guðmundar og Kristjáns, (1972, júlí). *Jarðgufuafstöð. Frumáætlun um aflstöð með tilliti til virkjana í Námafjalli eða Kröflu*. HD OS.
55. Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns s.f. (1973, sept.). *Jarðgufuafstöð. Frumáætlun um 8 MW, 12 MW, 16 MW og 55 MW aflstöð með tilliti til virkjunar í Námafjalli eða Kröflu*. Skýrsla gerð af OS JHD, OS JHD-7318.
56. VST og Virkir h/f , apríl (1977). Kröfluveita. Veita fyrir affallsvatn. Forhönnun.
57. VST og Virkir h/f / nóv (1975). *Kröfluveita. Skýrsla um forhönnun aðveitu Kröfluvirkjunar*.
58. VST og Virkir h/f / okt. (1975). *Kröfluveita. Skýrsla um meðferð affallsvatns frá Kröfluvirkjun*.
59. VST, Virkir h/f og Orkustofnun (1977). *Kröfluvirkjun. Kostnaðaráætlun fyrir lúkningu fyrri áfanga gufuveitu í Kröflu og borunar í fjögurra hola með Jötni árið 1977*. OS-JHD-7712.
60. VST, Virkir h/f og Orkustofnun (1977). *Kröfluvirkjun. Kostnaðaráætlun fyrir lúkningu fyrri áfanga gufuveitu í Kröflu og borunar í fjögurra hola með Jötni árið 1977*) OS-JHD-7712.
61. VST/ apríl (1976). Bygging fyrri áfanga Kröfluveitu 1976 (kápulaust, 2 bls og teikning).
62. VST/sept (1976). *Hraunflóðavarnir við Kröfluvirkjun*. OS-JHD-7645.
63. Þorsteinn Egilson (2012). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/026. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/073. 48 s.
64. Þorsteinn Egilson, Halldór Ingólfsson og Bjarni Kristinsson (2012). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi (2012)*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/044. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-097. 32 s.
65. Þorsteinn Egilsson (2010). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árin 2006–2009*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/029. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/078. 51 s.
66. Þorsteinn Egilsson, Halldór Ingólfsson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson (2010). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2010*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/039. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/104. 36 s.

#### Flokkur 4: Jarðfræðilegar og Jarðefnafræðilegar athuganir

1. Árný Erla Sveinbjörnsdóttir (1992). Composition of geothermal minerals from saline and dilute fluids-Krafla and Reykjanes, Iceland. *Lithos*, 27. 301–315
2. Árný Erla Sveinbjörnsdóttir (1993). Stöðugar samsætur súrefnis og vetnis og not þeirra við jarðhitarannsóknir. *Náttúrufræðingurinn* 62 (3-4), 165-180.
3. Á.E. Sveinbjörnsdóttir, M.L. Coleman, and Yardley, B.W.D., 1986. Origin and history of hydrothermal fluids of the Reykjanes and Krafla geothermal fields, Iceland. A stable isotope study. *Contrib. Mineral. Petrol.* 94, 99-109.
4. Ármannsson, H. (2010). *IDDP. The Chemistry of the Krafla Geothermal System in Relation to the IDDP Well*. Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia 25-29 April 2010.
5. Ármannsson, H. and Gíslason, G. (1992): *The occurrence of acidic fluids in the Leirbotnar field, Krafla Iceland. Water-Rock Interaction* (Kharaka, Y.K. and Maest, A.S. editors), Balkema, Rotterdam, 1257-1260.
6. Ármannsson, H (1989). Predicting calcite deposition in Krafla boreholes. *Geothermics*, volume 18, issue 1-2, pp 25-32.
7. Ármannsson, H., Friðriksson, P., Benjamínsson J. and Hauksson, T (2013). History of Gas in Geothermal Fluids, Krafla Northeast Iceland. *Procedia Earth and Planetary Science*, vol 7, pp 23-26.
8. Ármannsson, H., Friðriksson, Th., Wiese, F., Hernández, P. og Pérez, N. (2007). CO2 budget of the Krafla geothermal system, NE-Iceland. *Water - Rock Interaction. Bullen, T. D. og Wang, Y. (ritstj.), Taylor & Francis Group*, London, 189–192.
9. Ármannsson, H., Gíslason, G. and Hauksson, T. (1982): Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 46, 167-177.
10. Ármannsson, H., Guðmundsson, Á. og Steingrímsson, B. S. (1987). Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull* 37: 13–30
11. Ármannsson, H. & Benjamínsson, J. (1986). *Changes of gas concentrations in Krafla geothermal fluids*. Proc. 5th Symposium on Water-Rock Interaction. Reykjavík, 13-16.
12. Arnar Hjartarson, Ómar Sigurðsson, Ásgrímur Guðmundsson, Halldór Ármannsson og Ragna Karlsdóttir (2005). *Reiknilíkan af jarðhitakerfinu við Námafjall og spár um framtíðarástand þess við 90 MW rafmagnsframleiðslu í Bjarnarflagi*. ÍSOR-2004/009, 119 bls.
13. Arnórsson S, Friðriksson Th, Gunnarsson I (1996). *Krafla and Námafjall. A report on investigations of gas in boreholes and fumaroles 1995-1996*. Reykjavík: The University of Iceland Science Institute, RH 12-96.
14. Ásgrímur Guðmundsson (1983). *Jarðfræði Suðurhlíða Kröflu*. Hrafnæping um stöðu Kröflu Jarðhita Orkuver. 2.–3. mars 1983, Akureyri; 77–85.
15. Ásgrímur Guðmundsson (1983). *Jarðfræði Suðurhlíða Kröflu*. Hrafnæping um stöðu Kröflu Jarðhita Orkuver. 2.–3. mars 1983, Akureyri; 77–85.
16. Ásgrímur Guðmundsson (ÍSOR) og Trausti Hauksson (Kemíu sf.) (2005). *Krafla - Eftirlit með vinnslu jarðhitans og áhrifum hennar á umhverfið*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/016. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2005/041. 50 s.
17. Auður Agla Óladóttir (2006). *Granófyrrhnyðlingar úr Vítisgosinu 1724*. B.S. verkefni frá Háskóla Íslands.
18. Axelsson G. (2010). *Temperature condition modeling for well IDDP-1*. Iceland Geo-survey, ISOR-2010/051, p. 27.
19. Benjamínsson J, Hauksson T. (2011). *The Krafla area and Námafjall. Environmental monitoring 2010*. Krafla: Landsvirkjun- Kröflustöð; 2011, LV-2011-119.
20. Benjamínsson J, Hauksson T. (1998) *The Krafla area and Námafjall. Surface*

- investigations and chemical analysis in the autumn 1997. An overview of the Krafla area. Krafla: Landsvirkjun-Kröflustöð.*
21. Calderone, G. M. (1988). *The Krafla air-fall, welded tuff layer, North Iceland*. NVI Research Report 8803.
  22. C. Lacroix, c.-D. Garbe-Schönberg. Explosive silicic volcanism in Iceland and the Jan Mayen area during the last 6 Ma: sources and timing of major eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 107 (2001), 113-147.
  23. Calderone, G., Niels Óskarsson, and Karl Grönvold (1990). The welded air-fall tuff layer at Krafla, Northern Iceland: a composite eruption triggered by injection of basaltic magma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 303-314. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol.165(2), pp.327-347.
  24. Darling, W. G. og Ármannsson, H. (1989). Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. *Chem. Geol.* 76, 197-213.
  25. Darling, W.G. & Ármannsson, H. 1986. *The behaviour of H and O stable isotopes in the Krafla geothermal flow system*, Proc. 5th Symposium on Water-Rock Interaction. Reykjavík, 155-158.
  26. Darling, W.G. and Ármannsson, H. (1989). Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of Northeast Iceland, *Chem. Geol.*, 76, 175-196.
  27. Einar Tjörvi Elíasson, Halldór Ármannsson, Kristján Sæmundsson, Knútur Árnason og Benedikt Steingrímsson (1998). *Förgun heits affallsvatns frá Kröfluvirkjun*. Reykjavík, Orkustofnun.
  28. Elders, W.A., Friðleifsson, G.Ó., Zierenberg, R.A., Pope, E.C., Mortensen, A.K., Guðmundsson, Á., Lowenstern, J.B., Marks, N.E., Owens, L., Bird, D.K., Reed, M., Olsen, N.J., Schiffman, P. (2011). Origin of a rhyolite that intruded a geothermal well while drilling at the Krafla volcano, Iceland. *Geology* 39 (3), 231-234, doi:10.1130/G31393.1.
  29. Elders, W.A.; Friðleifsson, G.Ó.; Albertsson, A. (2013). Drilling into magma and the implications of the Iceland Deep Drilling Project (IDDP) for high-temperature geothermal systems worldwide. *Geothermics* 2013.05.001.
  30. Freyr Þórarinnsson & Bára Björgvinsdóttir (1980). *Krafla-Námafjall: Grunnvatnshæð*. Orkustofnun, FP-BB-80/01, 3 bls.
  31. Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson (1976). *Framvinduskýrsla um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í borholum 3*. Orkustofnun, OS-JHD-7640, 14 bls.
  32. Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson (1978). *Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu*. Orkustofnun OS-JHD-7846, 88 bls.
  33. Gillis, K. (2008). The roof of an axial magma chamber: a hornfelsic heat exchanger. *Geology* 36 (4), 299.
  34. Guðmundsson Á. (1983). *The geology of the Krafla Suðurlíðar field* (In Icelandic). In “Ravens’ Congregation” on status of the Krafla geothermal power station 2nd and 3rd March 1983, Krafla Power Station. Akureyri. Iceland. 77-85.
  35. Guðmundsson, B. Th., Arnórsson, S., in press. *Secondary mineral-fluid equilibria in the Krafla and Námafjall geothermal systems, Iceland*. Appl. Geochem., in press.
  36. Guðmundsson, G. 1983. *Temperature and pressure in the Krafla Suðurlíðar field* (in Icelandic). In “Ravens’ Congregation” on status of the Krafla geothermal power station 2nd and 3rd March 1983, Krafla Power Station. Akureyri. Iceland. 86-101.
  37. Gunnar Böðvarsson (1977). *Gufuvinnsla við Kröflu*. OS-JHD-7718.
  38. Halldór Ármannsson (2003). *Förgun affallsvatns frá Kröflu og Bjarnarflagsvirkjunum*. Orkustofnun OS-2003/032. Viðauki 8 með matsskýrslu um umhverfisáhrif Bjarnarflagsvirkjunar, sbr. Hönnun (2003)
  39. Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2007). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð – Vöktun og niðurstöður 2006*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/003. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2007/007. 16 s.

41. Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2012). *Eftirlit með áhrifum af losun frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/006. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/021. 17 s.
42. Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2004). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2003*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/005. Unnið fyrir Landsvirkjun.
43. Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson (1980). *Krafla. Samsetning gass í gufuaugum*. Orkustofnun, OS-80027/JHD-16, 51 bls.
44. Halldór Ármannsson, Gestur Gíslason og Trausti Hauksson (1981). *Magmatic gases in well fluids aid. The mapping of the flow pattern in a geothermal system*. Orkustofnun OS-81022/JHD-13, 34 bls.
45. Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir & Magnús Ólafsson (1998). *Krafla - Námafjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn*. Orkustofnun, fjölrit OS-98066.
46. Halldór Ármannsson, Jón Benjamínsson og Alan W.A. Jeffrey (1989). Gas changes in the Krafla geothermal system, Iceland. *Chemical Geology* 76, 175–196.
47. Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Ester Eyjólfsdóttir (2010). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2009*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/018. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/055. 16 s.
48. Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Hörður Tryggvason (2011). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2010*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/007, Landsvirkjun, LV-2011/027. Unnið fyrir Landsvirkjun. 15 s.
49. Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Mozghan Bagheri (2008). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/018. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2008/064. 14 s.
50. Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson, Mozghan Bagheri og Auður Ingimarsdóttir (2009). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/011. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/020. 15 s.
51. Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2006). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð – Vöktun og niðurstöður 2005*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/013. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2006/064. 12 s.
52. Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson. (2005). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð - Vöktun og niðurstöður 2004*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/006. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2005/025. 15 s.
53. Helgi Hallgrímsson (1976). *Tillögur um Náttúruvernd á Kröflusvæðinu. Handrit, 12 bls. (Náttúrugripasafnið á Akureyri*
54. Hrefna Kristmannsdóttir (1978). *Ummyndun berggrunns á jarðhitasvæðinu í Kröflu*. Orkustofnun; OS/JHD-7854, 29 bls.
55. Inga Dagmar Karlsdóttir og Guðmundur Guðjónsson (2002). *Gróðurfar við Kröflu*. Skýrslur Náttúrufræðistofnunar 02-005 apríl 2002. 7 bls.
56. Ingason, K., Albertsson, A., Pálsson, B., Ballzus, C., Ármannsson, H, Matthíasson, J., Thórhallsson, S. and Gunnarsson. T. (2010). Icelandic Deep Drilling Project (IDDP) – *Fluid handling and evaluation*.
57. Investigation of corrosion and proposal for corrosion monitoring in the geothermal power station Krafla. Ref. B. 4228 No. 1 to 4. Korrosionscentralen ATV, Park Allé 345, DK 2600, Glostrup.
58. Jón Benjamínsson (1999). *Kröflusvæði. Yfirborðsathuganir og efnagreiningar haustið 1999*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 19 s.
59. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1989). *Kröflusvæði. Rannsóknir á gufuaugum 1989*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 38s.

60. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1990). *Kröflusvæði. Rannsóknir á gufuaugum 1990*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 43 s.
61. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1994). *Kröflusvæði og Námafjall. Rannsóknir á gufuaugum og frárennsli 1993*. Landsvirkjun – Kröflustöð.
62. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1995). *Kröflusvæði og Námafjall. Yfirborðsathuganir haustin 1994 og 1995*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 20 bls.
63. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2001). *Kröflusvæði. Umhverfissvöktun 2001*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 41 s.
64. Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2004). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun 2004*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 27 s.
65. Jón Ingimarsson, Jónas Elíasson & Sven Þ. Sigurðsson (1976). *Frárennsli Kröfluvirkjunar*. Orkustofnun, OSSFS-7602. 30 bls.
66. Karl Grönvold (1988). *Krafla lavas and lava composition within a fault swarm*. Symposium on Geologic and Geochemical Evidence for Segmentation of Continental and Oceanic Rifts, Woods Hole. Abstract Volume: 16.
67. Karl Grönvold and Heikki Mäkipää (1978). *Chemical composition of Krafla lavas 1975-1977*. Nordic volcanological institute; 78:16, p.49.
68. Karl Grönvold (1984). *Mývatn fires 1724-1729. Chemical composition of the lava*. Nord. Volc. Inst. Report 8401.
69. Karl Grönvold. Volcanic geology of Krafla-Námfjall. Norvolc. Abstract.
70. Kristján Jónasson (1994). Rhyolite volcanism in the Krafla central volcano, north-east Iceland. *Bull. of Volcano*, 56, 516–528.
71. Kristján Jónasson (1993). *The Generation of Rhyolitic Magma at the Krafla Central Volcano, NE-Iceland*. Abstract: 1993 Spring Meeting May 24-28, Baltimore, Maryland. EOS, Transactions, American Geophysical Union, vol. 74, no. 16, April 20, 1993/Supplement, 336.
72. Kristján Jónasson, 1994. *Þróað berg utan megineldstöðva: Heiðarsporður á NA-landi*. Ágrip: Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, 21. apríl 1994, Reykjavík.
73. Kristján Jónasson, 1992. *Myndun þróaðs bergs í Kröflu*. Ágrip: Veggspjaldaráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, 28. apríl 1992, Reykjavík.
74. Kristján Jónasson, Karl Grönvold og Níels Óskarsson (1996). *Silicate melt inclusions in crystals from the Krafla central volcano, NE-Iceland: Implications for magma evolution*. Abstract: 2nd workshop on European laboratory volcanoes, 2-4 May 1996, Santorini island, Greece.
75. Kristján Sæmundsson og Júlíus Sólmes (2013). *Náttúruvá á Íslandi-Eldgos og jarðskjálftar*. Ritstjórar: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason. Háskólaútgáfan.
76. Kristján Sæmundsson og Þórólfur H. Hafstað (2007). *Norðausturgosbelti. Grunnvatn, bergskrokkar og misleitni. Framlag til grunnvatnslíkans af gosbeltinu norðan við Kröflu*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/009. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2007/028. ISBN 978-9979-780-54-0. 19 s.
77. Kristján Sæmundsson (1982). *Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi*. Eldur er í norðri, Sögufélag. Reykjavík.
78. Larsson, D. and Oskarsson, N. *Phase assemblages and trace element content of sulphides from the Krafla geothermal system, Iceland*. The 25th Nordic Geological Winter Meeting in Reykjavík, 6-9 Jan 2002, abstract volume, p. 125.
79. Mannvit-verkfræðistofa (2008). *Orkuflutningsmannvirki frá Kröflu og Þeystareykjum til Húsavíkur – Jarðfræði, efnistökusvæði og verndargildi jarðmyndanna*.
80. Mortensen, A.K., Grönvold, K., Guðmundsson, A., Steingrímsson, B., Egilson, T., (2010). *Quenched silicic glass from well KJ-39 in Krafla, North-Eastern Iceland*. In: Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010, pp. 1–6.
81. Nicholson, H. & Latin, D. (1992). Olivine tholeiites from Krafla, Iceland: evidence for variations in melt fraction within a plume. *Journal of Petrology* 33, 1105–1124.



82. Nicholson, H., Condomines, M., Fitton, J.G., Fallick, A.E., Grönvold, K., Rogers, G., (1991). Geochemical and Isotopic Evidence for Crustal Assimilation Beneath Krafla, Iceland. *Journal of Petrology*, 32, 1005-1020.
83. Nicholson, H. (1990). *The magmatic evolution of Krafla, NE Iceland*, Ph.D. thesis, University of Edinburgh.
84. Oliva-Urcia, Belén; Kontny, Agnes, (2012). Remanent magnetization of magnetized basalts from Krafla drill cores, NE-Iceland.
85. Ómar Sigurðsson (1993). *Jarðhitakerfið í Bjarnarflagi. Mat á hita, þrýstingi og afköstum*. Orkustofnun, OS-93016/JHD-08, 45 bls.
86. Ómar Sigurðsson (2001). *Áhrif niðurdælingar í holu KG - 26, Kröflu - Spá reiknilíkans um breytingar*. Orkustofnun, greinargerð Ómar-2001/05
87. Ómar Sigurðsson og Valgarður Stefánsson (1994). *Forðafræðistuðlar – Mælingar á bergsýnum*. Orkustofnun, OS-94049/JHD-28, 35 bls
88. Peter Schiffman, Robert A. Zierenberg, Anette K. Mortensen, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Wilfred A. Elders (2014, Jan). High temperature metamorphism in the conductive boundary layer adjacent to a rhyolite intrusion in the Krafla geothermal system, Iceland. *Geothermics, GEOT-921, Vol 49. 42-48*.
89. Robert Zierenberg, Jake Lowenstern, Naomi Marks, Peter Schiffman, Chip Lesher. *Progress Report on IDDP-1 Rhyolite Glass Investigation*. US Geological Survey-Menlo Park.
90. Snæbjörn Guðmundsson, (2009). *Ummyndun á gabbroinnskotum á Suðaustulandi*. BS-ritgerð fyrir Háskóla Íslands-jarðvísindadeild.
91. Sæmundsson, K. (1983). *Fractures in the Krafla area* (In Icelandic). In “Ravens’ Congregation” on status of the Krafla geothermal power station 2nd and 3rd March 1983, Krafla Power Station. Akureyri, Iceland. 4-8.
92. Sigurðsson, Ó. (1978). *The flow characteristics of the upper zone of the Krafla geothermal field* (In Icelandic). Report No. OS-JHD-7851. Orkustofnun. Reykjavík. 36 pp.
93. Stefán Arnórsson (1976). *Áhrif hraunkvikuinnskota á efnainnihald djúpvatns í Kröflu – frekari gufuöflun*. OS-JHD-7705.
94. Stefán Arnórsson, (1978). *Framvinduskýrsla um efnafraeði útfellinga í borholum við Kröflu*. Orkustofnun, OS-JHD-7832.
95. Stefán Arnórsson, Kristján Geirsson, Þráinn Friðriksson og Andri Stefánsson (1995). *Gas í borholum og gufuaugum*. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. 14 s., myndir + viðaukar.
96. Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson og Ingvi Gunnarsson (1996). *Krafla og Námafjall: Skýrsla um athuganir á gasi í borholum og gufuaugum á árunum 1995 og 1996*. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. 11 s og viðaukar. *Studia Geophysica et Geodaetica, 2012, Vol.56(3), 641-657*.
97. Sveinbjörnsdóttir, A.E. (1983). *Hydrothermal metamorphism and rock water interactions in the Krafla and Reykjanes geothermal fields, Iceland*. Thesis, Univ. East Anglia, Norwich, UK, 282 pp.
98. Sveinbjörnsdóttir, A.E., Coleman, M.L. and Yardley, B.W.D. (1986). Origin and history of hydrothermal fluids of the Reykjanes and Krafla geothermal fields, Iceland. A stable isotope study. *Contrib. Mineral. Petrol., 94: 99-109*.
99. Swantesson, J., Kristmannsdóttir, H. (1978). *Chemical composition of altered rocks from Krafla geothermal field*. National Energy Authority, Iceland. Report OS- JHD-7822, p. 26 (in Icelandic).
100. Thór Guðmundsson, Björn and Arnórsson, Stefán (2002). Geochemical monitoring of the Krafla and Námafjall geothermal areas, N-Iceland. *Geothermics, 2002, Vol.31(2), pp.195-243*.
101. Truesdell, A.H., Haizlip, J.R., Ármannsson, H. and D’Amore, F. (1989). Origin and transport of chloride in superheated steam. *Geothermics, 18, 295-304*.

102. Tuffen, Hugh and Castro, Jonathan M. The emplacement of an obsidian dyke through thin ice: Hrafninnuhryggur, Krafla Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2009, Vol.185(4), pp.352-366.
103. Valdimar Kr. Jónsson (1978). *Simulation of the Krafla geothermal field*. Lawrence Berkeley Laboratory University of California, Berkeley LBL LBL-7076, 61 bls.
104. Valgarður Stefánsson, Karl Ragnars og Kristján Sæmundsson (1977). *Gufuöflun fyrir Kröfluvirkjun 1977*. OS-JHD-7707
105. Zierenberg, R., Schiffman, P., Barfod, G., Leshner, C., Marks, N., Lowenstern, J., Mortensen, A., Pope, E., Bird, D., Reed, M., Friðleifsson, G., Elders, W. (2013). Composition and origin of rhyolite melt intersected by drilling in the Krafla geothermal field, Iceland.

## Flokkur 5: Jarðeðlisfræðilegar athuganir

1. Andersen, F.H. (1981). *Den magnetotelluriske metode, samt eksempel på dens anvendelse i det geotermiske højtemperatur område Krafla, nord Island*. Laboratoriet for Geofysik, Aarhus Universitet.
2. Arnar Már Vilhjálmsson, Ólafur G. Flóvenz, Ragna Karlsdóttir, Knútur Árnason, Hjálmar Eysteinnsson og Kristján Sæmundsson (2008). *Resistivity survey supports magmatic activity at Upptyppingar, N- Iceland*. Veggspjald á ráðstefnu IAVCEI í Reykjavík, ágúst 2008.
3. Arnott, S. K. og Foulger, G. R. (1994). *The Krafla spreading segment, Iceland. 1. Three-dimensional crustal structure and the spatial and temporal distribution of local earthquakes*. JGR, VOL. 99. NO. B12, bls. 23801–23825.
4. Brandsdóttir, B., Menke, W., Einarsson, P., White, R. S. og Staples, R. K. (1997). *Fareoe - Iceland Ridge Experiment 2. Crustal structure of the Krafla central volcano*. *J. Geophys., Res.* 102, 7867–7886.
5. de Zeeuw-van Dalssen, E., Pedersen, R., Sigmundsson, F. og Pagli, C. (2004). *Deep accumulation of magma near crust- mantle boundary at the Krafla volcanic system, Iceland: Evidence from satellite radar interferometry 1993 - 1999*. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13611.
6. Einarsson, P. & Brandsdóttir, B. (1980). Seismological evidence for lateral magma intrusion during the July 1978 deflation of the Krafla volcano in NE-Iceland. *J. Geophys.*, 47. 211-220.
7. Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson, Halldór Geirsson, Halldór Ólafsson og Theódór Theódórsson (2008). Multiple volcano deformation sources in a post-rifting period: 1989–2005 behaviour of Krafla Iceland constrained by levelling, tilt and GPS observations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177, 405–417.
8. Eysteinn Tryggvason (1981). *Pressure variations and volume of the Krafla magma reservoir*. Norræna eldfjallastöðin, fjölrít 8105, 17 bls.
9. Foulger, G. R., Jahn, C.-H., Seeber, G., Einarsson, P., Julian, B. R. og Heki, K. (1992). Post-rifting stress relaxation at the divergent plate boundary in Northeast Iceland. *Nature*, 358, 488–490.
10. Freyr Þórarinnsson (1980). Krafla. Viðnámsmælingar með fjórþólsaðferð suamrið 1979. Orkustofnun fjölrít OS-80013/JHD.
11. Gunnar V. Johnsen (1995). *Þyngdarkort af Kröflusvæði*. í: Eyjar í eldhafi. Ritstj.: Björn Hróarsson, Dagur Jónsson og Sigurður S. Jónsson. 93-100.
12. Gunnar Þorbergsson og Ásgeir Gunnarsson (1977). *Hæðamælingar við Kröflu 1976*. Reykjavík, Orkustofnun; OS-ROD-7712.
13. Harris, A.J.L., Murray, J.B., Aries, S.E., Davies, M.A., Flynn, L.P., Wooster, M.J., Wright, R. & Rothery, D.A. (2000). Effusion rate trends at Etna and Krafla and their

- implications for eruptive mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102: 237-270.
14. Helga Tulinius (1980). *Time-domain electromagnetic survey in Krafla, Iceland*. MSc thesis, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.
  15. Hjálmar Eysteinnsson (2010). *Stefnur í MT-gögnum á Kröflusvæðinu*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/030. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/082. 34 s.
  16. Hjálmar Eysteinnsson og Arnar Már Vilhjálmsson (2007). *MT og TEM mælingar við Kröflu 2007*. Greinargerð. ÍSOR-07291.
  17. Ingvar Þ. Magnússon (2003). *Þyngdarmælingar við Kröflu árið 2000*. Orkustofnun, OS-2003/026.
  18. Klein, F. W. (2002). *User's Guide to HYPOINVERSE - 2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes, 4/2002 version*. U. S. Geological Survey. (heimasíða: <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of02-171/>).
  19. Knútur Árnason og Ingvar Þór Magnússon (2001). *Niðurstöður viðnámsmælinga í Kröflu*. OS- 2001/062. 143 s.
  20. Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir (1996). *Viðnámsmælingar í Kröflu*. OS-96005/JHD-03. 96 bls.
  21. Knútur Árnason, Arnar Már Vilhjálmsson og Þórhildur Björnsdóttir. *A study of the Krafla volcano using gravity, micro earthquake and MT data*. Skýrsla í handriti.
  22. Knútur Árnason, Brynjólfur Eyjólfsson, Karl Gunnarsson, Kristján Sæmundsson og Axel björnsson (1984). *Krafla - Hvíthóll. Jarðfræði - og jarðeðlisfræðikönnun 1983*. Orkustofnun, OS- 84033/JHD-04, 96 bls.
  23. Knútur Árnason, Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson, Ólafur G. Flóvenz og Steinar Þór Guðlaugsson (2000). *The resistivity structure of high - temperature geothermal systems in Iceland*. Erindi flutt á ráðstefnu IGA, World Geothermal Congress í Japan 2000. Birt í ráðstefnuriti.
  24. Kristján Ágústsson, Egill Árni Guðnason og Sigríður Kristjánsdóttir (2011). *Skjálftaverkefnið í Kröflu. Staðan í janúar 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/005, Landsvirkjun, LV-2011/026. Unnið fyrir Landsvirkjun. 16 s.
  25. Kristján Ágústsson, Sigurveig Árnadóttir og Ólafur Flóvenz (2012). *Skjálftaverkefnið í Kröflu. Staðan í apríl 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/018. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012/058. 23 s.
  26. Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson (1987). *Jarðskjálftamælingar á Raunvísindastofnum Háskólans*. Í hlutarins eðli. Afmælisrit til heiðurs Þorbirni Sigurgeirssyni. Ritstj. Þorsteinn I. Sigfússon.
  27. Pedersen, R., Sigmundsson, F og Masterlark, T. (2009). *Rheologic controls on inter-rifting deformation of the Northern Volcanic Zone, Iceland*. Earth and Planetary Science Letters 281, 14–26.
  28. Ragna Karlsdóttir, Arnar Már Vilhjálmsson og Hjálmar Eysteinnsson (2008). *Vonarskarð. TEM- og MT- mælingar 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/064, 49 bls.
  29. Ragna Karlsdóttir, Gunnar Johnsen, Axel Björnsson, Ómar Sigurðsson og Egill Hauksson (1978). *Jarðhitasvæðið við Kröflu. Áfangaskýrsla um jarðeðlisfræðilegar yfirborðsrannsóknir 1976 - 1978*. Orkustofnun, OS-JHD-7847, 155 bls.
  30. Schreider, Yu., A. (1964). *Method of statistical testing, Monte Carlo method*. Amsterdam, Elsevier Publishing Company.
  31. Sigmundsson, F. and Tryggvason, E. (1994). *GPS geodesy at the Krafla volcano 1993-1994: Comparison with EDM measurements*, International workshop on European Laboratory Volcanoes, Catania Sicily, 18-21 June 1994, Commission of the European Communities, abstract volume.
  32. Sigmundsson, F., Vadon, H. og Massonnet, D. (1997). *Readjustment of the Krafla spreading segment to crustal rifting measured by satellite radar interferometry*. Geophys.

- Res. Lett., 24, 1843–1846.
33. Sigurðsson, Ó., Steingrímsson, B. & Stefánsson, V. (1985). *Pressure buildup monitoring of the Krafla geothermal field. Iceland*. Tenth Workshop in Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, January 22-24. 1985. 6 pp.
  34. Sondi (2007). *Report on the seismic network at krafla, preliminary results, proposal and recommendations for additional installation of 3 seismometers and seismic radio network at krafla geothermal field*. Skýrsla um skjálftavirkni og uppbyggingu mælanets.
  35. Staples, R. K., White, R. S., Brandsdóttir, B., Menke, W., Maguire, P. K. og McBride, J. H. (1997). *Fareoe-Iceland Ridge Experiment*. 1. Crustal structure of northeastern Iceland. *J. Geophys., Res.* 102, 7849–7866.
  36. Stefán Már Ágústsson (2001). *Landhæðarbreytingar á Kröflusvæðinu, Hæðarmæling 2000. Samanburður við mælingu 1995*. BSc-ritgerð, Háskóli Íslands, Reykjavík.
  37. Stefánsson, V. & Steingrímsson, B. (1980). *Production characteristics of wells tapping two-phase reservoirs at Krafla and Námafjall*. In Proc. 6th Workshop in Geothermal Reservoir Engineering. Stanford Univ. Stanford. Calif., 49-59.
  38. Steinunn S. Jakobsdóttir (1998). *Uppsetning SIL - kerfisins*. Greinargerð 98012, Veðurstofa Íslands.
  39. Tang, C., Rial, J.A and Lees, J.M. (2006). *Shear wave splitting: A diagnostic tool to monitor fluid pressure in geothermal fields*. Proceedings, Thirty-First Workshop in Geothermal reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, 30-01-01-02. 4 p.
  40. Tang, C., Rial, J. A., Lees, J. og Thompson, E. (2005). *Seismic Imaging of the Geothermal Field at Krafla, Iceland*. Proceedings, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, 31-01 – 02-02. 8 s.
  41. Thórarinnsson, F. (1980). *Krafla. Quadripole-quadripole resistivity survey carried out in 1979*. National Energy Authority Report OS80013/JHD-07, 52 pp (in Icelandic with an English summary).
  42. Tryggvason E. (1994). Surface deformation at the Krafla Volcano, North Iceland, 1982-1992. *Bulletin Of Volcanology*, 1994(2), pp.98-107.
  43. Tryggvason, E. 1980. Subsidence events in the Krafla area. North Iceland, 19974-1979. *J. Geophys.*, 47. 141-153.
  44. Ward, P. og Björnsson, S. (1971). *Microearthquakes swarms, and the geothermal areas of Iceland*. *JGR*, 76, 3953–3982.
  45. Zeeuw-van Daltsen, Elske; Rymer, Hazel; Williams-Jones, Glyn; Sturkell, Erik; Sigmundsson, Freysteinn (2006). Integration of micro-gravity and geodetic data to constrain shallow system mass changes at Krafla Volcano, N Iceland. *Bulletin of Volcanology*, Vol.68(5), 420-431.
  46. Þráinn Friðriksson og Auður Agla Óladóttir (2010). *Gasflæðimælingar um yfirborð í Kröflu sumarið 2010*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/052. Unnið fyrir Landsvirkjun. 16 s.

## Flokkur 6: Borskýrslur frá Orkustofnun, ÍSOR og Landsvirkjun.

1. Hrefna Kristmannsdóttir, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Einar Gunnlaugsson (1976). *Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu. Borun, vatnsæðar, niðurstöður berggreininga*. Orkustofnun, Jarðhitadeild. OS JHD 7641.
2. Hrefna Kristmannsdóttir (1976). *Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu. Viðauki – Lýsing jarðlaga*. OS-JHD-7641.
3. Hrefna Kristmannsdóttir, Margrét Kjartansdóttir, Ásgrímur Guðmundsson og Guðmundur Ó. Friðleifsson (1976). *Krafla-Hola KJ-6. Borun, jarðlög, vatnsæðar og ummyndun*. OS-JHD-7646.
4. Kristmannsdóttir, H., Guðmundsson, A., Friðleifsson, G.O and Kjartansdóttir, M.,

- (1976). *Krafla well No. 7: a progress report on the drilling operation, stratigraphy, aquifers, and alteration*. National Energy Authority, Prof. Paper No. OS-JHD-7647 (mimeographed, in Icelandic).
5. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Margrét Kjartansdóttir og Guðmundur Ómar Friðleifsson (1976). *Krafla. Hóla KG-8. Borun, vatnsæðar, þrýstiprófun, lektarprófun, jarðlög og ummyndun*. OS-JHD-7713.
  6. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson og Margrét Kjartansdóttir (1977). *Krafla-Hóla KJ-9. Borun, skoltöp, jarðlög og ummyndun*. OS-JHD-7719.
  7. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Margrét Kjartansdóttir, Guðmundur Ómar Friðleifsson (1977). *Krafla, Hóla KG-10, borun, vatnsæðar, jarðlög og ummyndun*. Orkustofnun, Jarðhitadeild. OS JHD 7709.
  8. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson og Margrét Kjartansdóttir (1977). *Krafla. Hóla KJ-11. Borun, vatnsæðar, jarðlög og ummyndun*. OS-JHD-7708
  9. Benedikt Steingrímsson (1977). *Krafla. Mælingar í borholum sept. '74 – apríl '77, 2. bindi*. OS-JHD-7720.
  10. Ómar Sigurðsson og Valgarður Sveinsson (1977). *Lekt í borholum í Kröflu*. OS-JHD-7727
  11. Benedikt Steingrímsson og Gestur Gíslason (1978). *Krafla. Aflmælingar í borholum*. Orkustofnun OS-JHD-7804, 40 bls.
  12. Hauksson, T. (1979). *Well KG-12* (In Icelandic). Orkustofnun *Well Letter* (In Icelandic) No. 11, 5pp.
  13. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson og Gísli Karel Halldórsson (1981a). *Krafla hóla KJ- 17. Áfangaskýrsla um borun vinnsluhluta holunnar*. Orkustofnun ÁG-BS-GKH-81/04, 24 bls.
  14. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Gísli Karel Halldórsson, Guðjón Guðmundsson og Valgarður Stefánsson (1981b). *Krafla hóla KJ- 18*. Orkustofnun ÁG-BS- GKH-GjG-VS-81/05, 15 bls.
  15. Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson (1976): Framvinduskýrsla um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í borholum 3 og 4 í Kröflu. Orkustofnun; OS-JHD-7640.
  16. Guðmundur Ómar Friðleifsson, Hilmar Sigvaldason og Benedikt Steingrímsson (1981a). *Krafla. Hóla KJ- 17. Borun frá 65 m í 212 m og steyping 13 3/8" fóðringar*. Orkustofnun GÓF- HS-ÁG-81/01, 11 bls.
  17. Guðmundur Ómar Friðleifsson og Hilmar Sigvaldason (1981b). *Krafla. Hóla KJ- 17. Borun frá 212 m í 695 m og steyping 9 5/8" fóðringar*. Orkustofnun GÓG-HI-81/02, 19 bls.
  18. Guðmundur Ómar Friðleifsson og Valgarður Stefánsson (1981c). *Krafla - Hóla KJ- 18. Borun í 206 m og steyping 13 3/8" fóðringar*. Orkustofnun GÓF-VS-81/03, 11 bls.
  19. Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðjón Guðmundsson og Valgarður Stefánsson (1981d). *Krafla KJ- 18. Borun frá 200 m í 674 m og steyping 9 5/8" fóðringar*. Orkustofnun GÓF-GjF-VS- 81/04 12 bls.
  20. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðjón Guðmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson (1982a). *Krafla, hóla KJ- 20. Borun fyrir 9 5/8" fóðringu og steyping fóðurröra. Bráðabirgðaskýrsla*. Orkustofnun OS-82116/JHD-32, 20 bls.
  21. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson, Steinar Þór Guðlaugsson og Valgarður Stefánsson (1982b). *Krafla, hóla KJ- 20. Borun vinnsluhluta holunnar og borlok. Bráðabirgðaskýrsla*. Orkustofnun OS-82117/JHD-33, 20 bls.
  22. Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Guðni Guðmundsson (1982). *Krafla, hóla KJ- 20. Borun í 212,5 m og steyping 13 3/8" fóðringar. Bráðabirgðaskýrsla*. Orkustofnun OS-82115/JHD-31, 8 bls.
  23. Stefánsson, V., Guðmundsson, A., Steingrímsson, B., Ármannsson, H., Franzon, H.,

- Sigurðsson, O. and Hauksson, T., (1982). *Krafla well KJ-13. The drilling operation, investigations and estimates of production*. National Energy Authority Prof. Paper OS82046/JHD07 (Mimeographed in Icelandic), 108 pp.
24. Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðni Guðmundsson, Hilmar Sigvaldason, Hjörtur Tryggvason og Sigurður Benediktsson (1983a). *Krafla, hola KJ-22. Borun frá 50 m í 198 m og steyping 13 3/8" fôðringar*. Orkustofnun OS-83062/JHD-17, 26 bls.
  25. Ásgrímur Guðmundsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Hjörtur Tryggvason (1983b). *Krafla, hola KJ-22. Borun fyrir vinnslufôðringu frá 198 m til 567 m*. Orkustofnun OS-83070/JHD-20, 12 bls.
  26. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Hjörtur Tryggvason og Ómar Sigurðsson (1983c). *Krafla, hola KJ-22. Borun vinnsluhluta holunnar, frá 567 m til 1877 m*. Orkustofnun OS-83071/JHD-22, 21 bls.
  27. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðni Guðmundsson, Hjörtur Tryggvason og Sigurður Benediktsson (1983d). *Krafla, hola KJ-23. Borun frá 196 m í 539 m og steyping 9 5/8" fôðringar*. Orkustofnun OS-83080/JHD-26, 22 bls.
  28. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Hilmar Sigvaldason, Hjörtur Tryggvason og Ómar Sigurðsson (1983e). *Krafla, hola KJ-23. Borun vinnsluhluta holunnar*. Orkustofnun OS-83082/JHD-27, 23 bls.
  29. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Halldór Ármannsson, Hilmar Sigvaldason, Jón Benjamínsson og Ómar Sigurðsson (1983f). *Krafla, hola KJ-9. Aflsaga, efnabreytingar og endurborun*. Orkustofnun
  30. Steingrímsson, B., Ármannsson, H., Benjamínsson, J., (1983). *Krafla. Well KJ-21. Temperature build-up and flow tests*. National Energy Authority Report OS-83013/JHD-03 B, 37 pp (in Icelandic).
  31. Steingrímsson, B., Guðmundsson, Á., Guðmundsson, G., Ármannsson, H. & Benjamínsson, J. (1984a). *KRAFLA-WELL KJ-3A, final report (In Icelandic)*. Report No. OS-84043/JHD-08, 33 pp.
  32. Steingrímsson, B., Guðmundsson, Á., Guðmundsson, G., Friðleifsson, G.Ó., Tulinius, H. & Sigurðsson, Ó. (1984b). *KRAFLA-WELL KJ-23, final report (In Icelandic)*. Report No. OS-84032/JHD-03, 35 pp.
  33. Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Benediktsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1988a). *Borun holu KG-24. 1. áfangi - borun fyrir 13 3/8" öryggisfôðringu*. Orkustofnun, greinargerð ÁsG-SBen-DS-88/07, 6 bls.
  34. Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Benediktsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1988b). *Borun holu KG-24. 2. áfangi - borun fyrir 9 5/8" vinnslufôðringu*. Orkustofnun, greinargerð ÁsG-SBen-DS-88/08, 12 bls.
  35. Ásgrímur Guðmundsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Benedikt Steingrímsson, Ómar Sigurðsson, Hilmar Sigvaldason og Jósef Hólmjárn (1988c). *Borun holu KG-24. 3. áfangi - borun vinnsluhluta*. Orkustofnun, greinargerð, ÁsG-DS-BS-ÓMAR-HS-JH-88/09, 24 bls.
  36. Ásgrímur Guðmundsson, Jósef Hólmjárn, Sigurður Benediktsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1990a). *Krafla. Borun holu KG-25. 1. áfangi*. Orkustofnun, greinargerð, ÁsG-JH-SBen-DS-90/05.
  37. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Hilmar Sigvaldason, Sigurður Benediktsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1990b). *Krafla. Borun holu KG-25. 2. áfangi*. Orkustofnun, Greinargerð ÁsG-BS-HS-SBen-DS-90/06.

38. Ásgrímur Guðmundsson, Jósef Hólmjárn, Valgarður Stefánsson, Sigurður Benediktsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1990c). *Krafla. Borun holu KG - 25. 3. áfangi.* Orkustofnun, greinargerð, ÁsG-JH-VS-SBen-DS-90/07.
39. Ásgrímur Guðmundsson (1990d). *Borun holu KG-25 í Kröflu fyrir Landsvirkjun, verklýsing.* Orkustofnun, Jarðhitadeild. OS-90018/JHD-07 B.
40. Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Benediktsson, Hilmar Sigvaldason og Dagbjartur Sigursteinsson (1991a). *Krafla. Borun 1. áfanga holu KG - 26.* Orkustofnun, OS-91040/JHD-23, 26 bls.
41. Ásgrímur Guðmundsson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Jósef Hólmjárn og Dagbjartur Sigursteinsson (1991b). *Krafla. Borun 2. áfanga holu KG - 26.* Orkustofnun OS-91041/JHD-24, 24 bls.
42. Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Jósef Hólmjárn og Dagbjartur Sigursteinsson (1992). *Krafla. Borun 3. áfanga holu KG - 26.* Orkustofnun OS-92009/JHD-03, 46 bls.
43. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðlaugur Hermannsson, Jósef Hólmjárn, Dagbjartur Sigursteinsson og Sigurður Benediktsson (1996). *Krafla, borun holu KJ - 27. 1. áfangi (70 - 395).* Orkustofnun OS-96058/JHD-36, 24 bls.
44. Hjalti Franzson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Jósef Hólmjárn, Ómar Sigurðsson, Sigurður Sveinn Jónsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1996). *Krafla, hola KJ - 28 3. áfangi: borun vinnsluhluta holunnar frá 392 m í 1003 m.* Orkustofnun OS-96079/JHD-46, 20 bls.
45. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Sigurður Benediktsson og Sigvaldi Thordarson (1997a). *Krafla, hola KJ - 27. 3. áfangi: Fóðrun með 9 5/8" vinnslufóðringu og borun vinnsluhluta.* Orkustofnun OS-97072, 58 bls.
46. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðlaugur Hermannsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Dagbjartur Sigursteinsson og Sigurður Benediktsson (1997b). *Krafla, hola KJ - 29. 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 394 m dýpi.* Orkustofnun OS-97023, 22 bls.
47. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Guðrún Sverrisdóttir, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Sigurður Sveinn Jónsson (1997c). *Krafla, hola KJ - 29. 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu frá 308–1004 m dýpi.* Orkustofnun OS-97043, 23 bls.
48. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Guðrún Sverrisdóttir, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Sigurður Sveinn Jónsson (1997d). *Krafla, hola KJ - 30. 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 308 m dýpi.* Orkustofnun OS-97044, 24 bls.
49. Ásgrímur Guðmundsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Kjartan Birgisson, Sigurður Sveinn Jónsson og Sigvaldi Thordarson (1997e). *Krafla, hola KJ - 30 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu frá 309 - 818 m dýpi.* Orkustofnun OS-97045, 23 bls.
50. Ásgrímur Guðmundsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Hilmar Sigvaldason, Sigurður Benediktsson, Sigurður Sveinn Jónsson og Sigvaldi Thordarson (1997f). *Krafla, hola KJ - 31 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 309 m dýpi.* Orkustofnun OS-97047, 18 bls.
51. Ásgrímur Guðmundsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Sigurður Benediktsson (1997g). *Krafla, hola KJ - 31. 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu frá 309 m í 800 dýpi*

- vinnsluhluta*. Orkustofnun OS-97073, 23 bls.
52. Ásgrímur Guðmundsson (1997h). *Endurvinnsla holu KJ-16*. Orkustofnun; ÁsG-97/05.
  53. Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Guðlaugur Hermannsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1998). *Krafla, hola KJ- 32 : 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 295 m dýpi*. Orkustofnun, OS-98055, 18 bls.
  54. Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Hilmar Sigvaldason, Kjartan Birgisson, Sigvaldi Thordarson og Dagbjartur Sigursteinsson (1998a). *Krafla, hola KJ- 32: 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu í 1077 m dýpi*. Orkustofnun, OS-98057, 30 bls.
  55. Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Richter, Hilmar Sigvaldason, Kjartan Birgisson, Ómar Sigurðsson, Sigvaldi Thordarson, Matthías Matthíasson og Dagbjartur Sigursteinsson (1998b). *Krafla, hola KJ- 32 3. áfangi: Borun vinnsluhluta 1077- 1875 m dýpi*. Orkustofnun, OS-98058, 34 bls.
  56. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Sigvaldi Thordarson, Ómar Sigurðsson og Dagbjartur Sigursteinsson (1998c). *Krafla, hola KJ- 29. 3. áfangi: Borun fyrir vinnsluhluta 1004–2103 m dýpi* 13935 Orkustofnun, Rannsóknasvið OS-98084, 36 bls.
  57. Hauksson, T., Steingrímsson, B., (1998a). *Well KJ-29 in Krafla. Heating up and well testing. Temperature, pressure, performance and chemical composition of water and steam*. National Power Company Report, 39 pp (in Icelandic),
  58. Hauksson, T., Steingrímsson, B., (1998b). *Well KJ-30 in Krafla. Heating up and well testing. Temperature, pressure, performance and chemical composition of water and steam*. National Power Company Report, 36 pp (in Icelandic).
  59. Hauksson, T., Steingrímsson, B., (1998c). *Well KJ-31 in Krafla. Heating up and well testing. Temperature, pressure, performance and chemical composition of water and steam*. National Power Company Report, 36 pp (In Icelandic).
  60. Steingrímsson, B., Ármannsson, H., (1989). *Krafla. Well KG-24. 4th phase: temperature build-up and flow tests*. National Energy Authority Report OS-89007/JHD-01 B, 16 pp (in Icelandic).
  61. Arnar Hjartarson, Ásgrímur Guðmundsson, Haraldur Sigurðsson, Hjalti Franzson, Kjartan Birgisson, Sigurður Sveinn Jónsson og Sigvaldi Thordarson (1999). *Krafla, hola KJ- 33. 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu í 1120 m dýpi*. Orkustofnun, OS-99061, 42 bls.
  62. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson, Haraldur Sigurðsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Kjartan Birgisson, Sigurður Sveinn Jónsson, Sigvaldi Thordarson og Steinar Þór Guðlaugsson (1999a) *Krafla, hola KJ- 33. 3. áfangi: Borun fyrir vinnsluhluta í 2011 m dýpi*. Orkustofnun, OS-99072, 36 bls.
  63. Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Bjarni Gautason, Ómar Sigurðsson, Guðlaugur Hermannsson, Sigvaldi Thordarson og Haraldur Sigurðsson (1999b). *Krafla hola KJ- 34. 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 377 m dýpi*. Orkustofnun, OS-99073, 24 bls.
  64. Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson, Haraldur Sigurðsson, Hjalti Franzson, Kjartan Birgisson og Sigvaldi Thordarson (1999c). *Krafla, hola KJ- 34. 2. áfangi: Borun fyrir vinnslufóðringu í 1031 m dýpi*. Orkustofnun, OS-99089, 26 bls.
  65. Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Bjarni Richter, Guðlaugur Hermannsson, Kjartan Birgisson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Sveinn Jónsson og Sigvaldi Thordarson (1999d). *Krafla, hola KJ- 34. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta frá 1031 í 2002 m dýpi*. Orkustofnun, OS- 99101, 28 bls.
  66. Benedikt Steingrímsson, Bjarni Richter, Grímur Björnsson og Kjartan Birgisson (1999). *Krafla. HOLA KJ- 33. 1. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 321 m dýpi*. Orkustofnun,



- OS-99053, 17 bls.
67. Hjalti Franzzon, 2000. *Reykjanes – Rannsóknir á vökvabólum í útfellingum í holum RN-9 og RN-10*. Orkustofnun, OS-2000/021.
68. Anett Blischke, Bjarni Gautason og Ásgrímur Guðmundsson (2004). *Krafla - well KV- 01: pre - drilling for a 18 5/8" surface casing down to 79.5 m depth*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2004/046, 45 bls.
69. Bjarni Gautason, Ásgrímur Guðmundsson, Ragnar K. Ásmundsson, Sigvaldi Thordarson, Guðmundur Sigurðsson og Páll H. Jónsson (2006). *Krafla - hola KV- 01. 2. áfangi : borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 290 m í 804 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir; ÍSOR- 2006/040, 66 bls.
70. Sigurjón Böðvar Þórarinsson, Ásgrímur Guðmundsson, Ragnar K. Ásmundsson, Hilmar Sigvaldason, Þorsteinn Egilsson og Páll H. Jónsson (2006a). *Krafla - hola KV- 01 : 1. áfangi : borun fyrir 13 3/8" öryggisfóðringu frá 86,5 m í 290 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir; ÍSOR- 2006/039, 72 bls.
71. Sigurjón Böðvar Þórarinsson, Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Ragnar K. Ásmundsson, Sigvaldi Thordarson og Þorsteinn Egilsson (2006b). *Krafla - hola KV- 01. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta frá 804 m í 2894 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR- 2006/041, 129 bls.
72. Anette K. Mortensen, Oddur Óskar Kjartansson, Páll Jónsson og Ólafur Guðnason (2007). *Krafla – Hola KJ-35. 1. áfangi: Borun fyrir 13 3/8" öryggisfóðringu frá 50 m í 270 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/023. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2007/072. 39 s.
73. Anette K. Mortensen, Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilsson, Oddur Óskar Kjartansson, Páll Jónsson, Ragnar Bjarni Jónsson og Ólafur Guðnason (2007b). *Krafla - hola KJ- 35 : 2. áfangi: borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 270 m í 1296 m dýpi*. Landsvirkjun LV-2007/078, Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/029, 85 bls.
74. Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson, Egill Júlíusson, Páll Jónsson, Oddur Óskar Kjartansson og Sveinbjörn Bjarnason (2007c). *Krafla - hola KJ-35 :3. áfangi: borun vinnsluhluta frá 1296 m í 2508 m dýpi fyrir 7" leiðara*. Landsvirkjun LV-2007/088, Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/044, 104 bls.
75. Ásgrímur Guðmundsson, Þorsteinn Egilsson og Kristján Haraldsson (2007a) . *Krafla - hola KS- 01 :Forborun og 1. áfangi: borun fyrir 18 5/8" yfirborðsfóðringu í 99 m og 13 3/8" öryggisfóðringu í 279 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2007/055; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2007/015, 35 bls.
76. Ásgrímur Guðmundsson, Þorsteinn Egilsson, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Páll Jónsson og Kristján Haraldsson (2007b). *Krafla - hola KS- 01 : 2. áfangi: borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 279 m í 899 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2007/070; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/022, 51 bls.
77. Ásgrímur Guðmundsson, Anett Blischke, Sigvaldi Thordarson, Ragnar Bjarni Jónsson og Kristján Haraldsson (2007c). *Krafla - hola KJ- 36 : 1. áfangi: borun fyrir 13 3/8" öryggisfóðringu frá 75 m í 301 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2007/090; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2007/048, 46 bls.
78. Ásgrímur Guðmundsson (2007d). *Rannsóknarboranir í Kröflu 2007. Tillögur um staðsetningu borholna*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/013. Unnið fyrir Landsvirkjun – LV-2007/041. 51 s.
79. Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilsson, Bjarni Richter, Egill Júlíusson, Sigvaldi Thordarson, Páll Jónsson og Páll H. Jónsson (2007a). *Krafla - hola KS- 01 : 3. áfangi: borun vinnsluhluta fyrir 7" leiðara frá 899 m í 2502 m dýpi*. Landsvirkjun LV-2007/071, Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR- 2007/024, 117 bls.

80. Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilson, Annett Blischke, Friðgeir Pétursson, Ragnar B. Jónsson, Halldór Ingólfsson, Elfar J. Eiríksson og Kristján Haraldsson (2007b). *Krafla - Víti hola KJ- 36 : 2. áfangi: borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu í 1111 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2007/118; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/060, 84 bls.
81. Anette K. Mortensen, Auður Ingimarsdóttir, Þorsteinn Egilson, Þráinn Friðriksson og Magnús Ólafsson (2008). *Hola KJ- 35 í Kröflu. Hreinsun holunnar í ágúst 2008*. Landsvirkjun LV-2008/202, Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2008/068, 46 s.
82. Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson og Magnús Ólafsson, (2008). *Krafla – Hola KJ-38, forsendur og holuhönnun*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-08059, 18 bls.
83. Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Steinþór Níelsson, Þorsteinn Egilson, Ragnar Bjarni Jónsson, Hjalti Steinn Gunnarsson og Þorsteinn Karl Ingólfsson (2008a). *Krafla - Suðurhlíðar : hola KJ- 37 : 3. áfangi : borun vinnsluhluta með 8 1/2" krónu í 2194 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2008/085; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/041, 101 bls.
84. Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Þorsteinn Egilson, Friðgeir Pétursson, Elfar J. Eiríksson, Ragnar B. Jónsson, Halldór Ingólfsson og Kristján Haraldsson (2008b). *Krafla - Víti hola KJ- 36. 3. áfangi: borun vinnsluhluta í 2501 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2008/087; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2008/042, 106 bls.
85. Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilsson, Hjalti Steinn Gunnarsson og Þorsteinn Ingólfsson (2008a). *Krafla - Suðurhlíðar: hola KJ- 37 : forborun og 1. áfangi: borun fyrir 13 3/8" öryggis fóðringu í 236 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2008/065; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2008/022, 42 bls.
86. Bjarni Gautason, Hörður Hafliði Tryggvason, Ragnar Bjarni Jónsson, Ásgrímur Guðmundsson, Elfar J. Eiríksson og Kristján Haraldsson (2008b). *Krafla - Suðurhlíðar: hola KJ- 37: 2. áfangi : borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu í 768 m dýpi*. Landsvirkjun, LV-2008/084; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/040, 53 bls.
87. Bjarni Gautason, Hörður Tryggvason, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Ása Hilmarsdóttir, Ragnar Bjarni Jónsson og Ólafur Guðnason (2008c). *Krafla - hola KJ- 38: forborun og 1. áfangi : borverk*. Landsvirkjun, LV-2008/205; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/072, 27 bls.
88. Bjarni Gautason, Hörður Tryggvason, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Ása Hilmarsdóttir, Ragnar Bjarni Jónsson og Ólafur Guðnason (2008d). *Krafla - hola KJ- 38 : forborun og 1. áfangi : jarðlagagreining og mælingar*. Landsvirkjun, LV-2008/206; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2008/073, 25 bls.
89. Guðmundsson, Á, Steingrímsson, B., Sigursteinsson, D., Gíslason, G. Sigvaldason, H., Hólmjárn, J., Sigurdsson, K., Benediktsson, S., Hauksson T., Stefánsson, V. (2008). *Well KG-25 drilling, geology and geochemistry*. ÍSOR-2008/056.
90. Magnús Á. Sigurgeirsson, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Friðgeir Pétursson (2008a). *Krafla - hola KJ- 38. Borun 3. áfanga: Borsaga*. Landsvirkjun, LV-2008/203; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/070, 81 bls.
91. Magnús Á. Sigurgeirsson, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Friðgeir Pétursson (2008b). *Krafla - hola KJ- 38. Borun 3. áfanga: Jarðlagagreining og mælingar*. Landsvirkjun, LV-2008/204; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2008/071, 49 bls.
92. Trausti Hauksson (2008a). *Krafla. Blástursprófun holu KJ- 36 í janúar 2008*. Landsvirkjun, febrúar 2008, 18 s.
93. Trausti Hauksson (2008b). *Tenging holu KJ- 36 við Kröflustöð*. Bréf til Landsvirkjunar, 29. október 2008, 12 s.

94. Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson (2008). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2007*. Landsvirkjun, LV-2008/0071, 66 bls.
95. Anette K. Mortensen, Sigurveig Árnadóttir, Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason og Ragnar Bjarni Jónsson (2009a). *Krafla – IDDP-1. Drilling completion and geology report for pre-drilling and drilling stage 1*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/012. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/021. 66 s.
96. Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Auður Ingimarsdóttir, Hjalti Steinn Gunnarsson, Hörður H. Tryggvason og Ragnar Bjarni Jónsson (2009b). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. Upptekt leiðara og athugun á útfellingum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/044. LV-2009/090. Unnið fyrir Landsvirkjun. 73 s.
97. Anette K. Mortensen, Magnús Á. Sigurgeirsson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Hörður Tryggvason, Þorsteinn Egilson, Ragnar B. Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Jón Árni Jónsson (2009c). *Krafla – Hóla KT-40. 3. áfangi: Borsaga*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/069. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/143. 75 s.
98. Anette K. Mortensen, Magnús Á. Sigurgeirsson, Þorsteinn Egilson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Hörður Tryggvason, Ragnar B. Jónsson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson (2009d). *Krafla – Hóla KT-40. 3. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/070. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/144. 54 s.
99. Anette K. Mortensen og Helga Margrét Helgadóttir, (2009f). *Vökvabóluathugun í hólum KJ-38 í Kröflu*. Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-09033, 10 bls.
100. Auður Ingimarsdóttir, Anette K. Mortensen, Sigurveig Árnadóttir, Cécile Massiot, Friðgeir Pétursson, Halldór Örvar Stefánsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Helgi Haraldsson (2009a). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. Forborun og 1. áfangi: Borverk*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/006. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/014. 33 s.
101. Auður Ingimarsdóttir, Anette K. Mortensen, Sigurveig Árnadóttir, Cécile Massiot, Friðgeir Pétursson, Halldór Örvar Stefánsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Helgi Haraldsson (2009b). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. Forborun og 1. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/007. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/015. 22 s.
102. Auður Ingimarsdóttir, Anette K. Mortensen, Bjarni Gautason, Friðgeir Pétursson, Hermann Guðmundsson, Hörður H. Tryggvason, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Kristján Haraldsson (2009c). *Krafla - Víti hóla KJ- 38. 2. áfangi: Borsaga*. Landsvirkjun, LV-2009/104; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/053, 55 bls.
103. Auður Ingimarsdóttir, Hörður H. Tryggvason, Anette K. Mortensen, Bjarni Gautason, Friðgeir Pétursson, Hermann Guðmundsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Kristján Haraldsson (2009d). *Krafla - Víti hóla KJ- 38. 2. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Landsvirkjun, LV-2009/104; Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2009/053, 35 bls.
104. Halldór Ármannsson, Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson (2009). *Niðurdæling í KG-26. Ferilprófun með KI 2005–2007. Lýsing og niðurstöður*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR- 2009/050, 18 bls.
105. Magnús Á. Sigurgeirsson, Þorsteinn Egilson, Steinþór Níelsson, Sigurveig Árnadóttir, Bjarni Gautason, Ragnar B. Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Elías Þorsteinsson (2009a). *Krafla – Hóla KJ-40. Forborun, 1. og 2. áfangi: Borverk*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/019. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/026. 59 s.

106. Magnús Á. Sigurgeirsson, Þorsteinn Egilson, Steinþór Níelsson, Bjarni Gautason, Ragnar B. Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Elías Þorsteinsson (2009b). *Krafla – Hóla KJ-40. Forborun, 1. og 2. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/020. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/027. 40 s.
107. Sigurveig Árnadóttir, Anette K. Mortensen, Auður Ingimarsdóttir, Hörður Tryggvason, Ragnar Bjarni Jónsson og Hjalti Steinn Gunnarsson (2009a). *Krafla – IDDP-1. Drilling completion and geology report for drilling stage 2*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/021. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/035. 94 s.
108. Sigurveig Árnadóttir, Auður Ingimarsdóttir, Cecile Massiot, Ása Hilmarsdóttir, Friðgeir Pétursson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Helgi Haraldsson (2009b). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. 2. áfangi: Borsaga*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/045. LV-2009/091. Unnið fyrir Landsvirkjun. 49 s.
109. Sigurveig Árnadóttir, Auður Ingimarsdóttir, Cecile Massiot, Ása Hilmarsdóttir, Friðgeir Pétursson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Helgi Haraldsson (2009c). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. 2. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/046. LV-2009/092. Unnið fyrir Landsvirkjun. 37 s.
110. Sigurveig Árnadóttir, Anette K. Mortensen, Bjarni Gautason, Auður Ingimarsdóttir, Cécile Massiot, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Hörður Hafliði Tryggvason, Þorsteinn Egilson, Elfar Jóhannes Eiríksson og Kristján Haraldsson (2009d). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. 3. áfangi: Borsaga*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/058. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/128. 170 s.
111. Sigurveig Árnadóttir, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Bjarni Gautason, Auður Ingimarsdóttir, Cécile Massiot, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Hörður Hafliði Tryggvason og Elfar Jóhannes Eiríksson (2009e). *Krafla – Leirbotnar. Hóla KJ-39. 3. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/059. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2009/129. 54 s.
112. Trausti Hauksson (2009). *Krafla. Blástursprófun holu KJ- 38*. Landsvirkjun, LV-2009/106, 27 s.
113. Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson (2009). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhóla og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2008*. Landsvirkjun, LV-2009/083, 74 bls.
114. Anette K. Mortensen, Sigurveig Árnadóttir, Þorsteinn Egilson, Bjarni Gautason, Magnús Á. Sigurgeirsson, Auður Ingimarsdóttir, Hörður Tryggvason, Hjalti Steinn Gunnarsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Elías Þorsteinsson (2010). *Krafla – IDDP-1. Drilling Completion and Geology Report for Drilling Stage 3*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/115. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/130. 118 s. + dagskýrslur.
115. Gautason B., Árnadóttir, S., Mortensen, A.K., Egilson, Þ., Guðfinnsson, G.H., Sigurgeirsson, M.Á., Jónsson, R.B., Tryggvason, H., Gunnarsson, H.S., Sveinbjörnsson, S., Þorsteinsson, E., Ingimarsdóttir, A., Massiot, C. (2010). *Krafla – IDDP-1. Drilling Completion and Geology Report for Drilling Stage 4*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/116. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2010/131.
116. Þorsteinn Egilson, Halldór Ingólfsson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson (2010). *Ýmsar borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2010. Holur KJ-21, KG-26, AE-10, BJ-11 og BJ-12*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/040. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-105. 28 s.
117. Magnús Á. Sigurgeirsson og Þorsteinn Egilsson (2012). *Krafla-Leirbotnar. Hreinsun*

- holu KJ-39. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/069. Unnið fyrir Landsvirkjun, LV-2012-119, 45 s.
118. Anette K. Mortensen (2013). Krafla – *Tillaga um staðsetningu og hönnun holu K-41*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/0171. Unnið fyrri Landsvirkjun, LV-2013-031. 28 s.