



**Eðli og forðafraeði Lághitasvæða**

**Grímur Björnsson,**

**Greinargerð GrB- 90-05**

## EÐLI OG FORÐAFRÆÐI LÁGHITASVÆÐA

### 1. INNGANGUR

Á síðastliðnu vori var hleypt af stokkunum nýju ríkisverkefni á JHD sem nefnist *Eðli og forðafræði* lághitasvæða. Reyndar var verkefnið upphaflega kallað *Vinnslu- og forðafræði lághitasvæða*. Því var síðar skipt í tvo hluta sökum þess að starfsmenn á forðafræðideild lýstu óánægju með að fá ekki stjórnun verksins, sem augljóslega átti heima á deildinni nafninu samkvæmt. Því varð úr að verkinu var skipt upp í þættina

1. Eðli og forðafræði lághitasvæða
2. Vinnslufræði lághitasvæða

og var undirritaður beðinn að taka að sér verkefnisstjórn í fyrirtalda verkefninu.

Markmið verkefnisins *Eðli og forðafræði lághitasvæða* er að rannsaka gerð lághitasvæða, varmagjafa þeirra, hvernig varminn er unninn úr berginu og samspil heita vatnsins og kalda vatnsins umhverfis. Ennfremur að þróa hugbúnað og aðferðir við að meta vinnslugetu lághitasvæðanna og aðferðir til að nýta þau á sem hagkvæmasta hátt. Þegar er fyrir hendi á Orkustofnun hugbúnaður sem nota má við slíkt mat, en hinsvegar skortir enn reynslu í að nota hann. Raunar er þessi hugbúnaður það almennur að litla merkingu hefur að greina á milli lághita og háhita við notkun hans, nær væri að tala um einsfasa og tvífasa jarðhitasvæði.

Á þessu ári (1990) hefur verið fyrst og fremst byggst á vinnu Jens Tómassonar við greiningu á ummyndun í seti og móbergsmyndunum á Suðurlandi auk ritunar greinar á ensku um Elliðaárvæðið. Auk þess nýttu jarðeðlisfræðingar sér hluta af tímakvóta verksins í mælingar á frægum jarðskjálftum á rakarastofu í upphafi ársins. Þá hafa og efnafræðingar sett á annað hundrað tíma á verkið. Forðafræðingar sitja hins vegar í skömm, með einungis 10-20 tíma vinnuframlag og er þar undirritaður fremstur í flokki. Ekki er þar áhugaleysi um að kenna, heldur að frágangur mælinga inn í gagnagrunn borholumælinga var á miklu skriði fyrri hluta ársins og fór ríkistími forðafræðinga þar í. Seinni helming ársins hafa svo söluverkin verið allsráðandi. Hins vegar hefur staða verksins verið rædd á fundum deildarinnar og þegar lagðar fram hugmyndir um framvindu þess á næsta ári (OS greinargerð, VS o.fl. 90/01). Er hér byggt að nokkru á þeirri greinargerð, en einnig var haft samráð við starfsmenn á öðrum deildum um þeirra þátt í verkefninu.

### 2. TILLÖGUR AÐ VERKÞÁTTUM 1991

Undirrituðum finnst eðlilegt að greina verkefnið *Eðli og forðafræði lághitasvæða* upp í nokkra minni verkþætti. Sumir þeirra eru þegar í gangi en aðrir eru nýir. Fer lýsing þeirra hér á eftir.

#### 2.1 Elliðaárvæðið

Jens Tómasson hefur unnið að grein á ensku um Elliðaárvæðið, sem byggir á OS-skýrslu sem hann skrifaði á árinu. Einungis er eftir í greininni um 50 tíma vinna, sem Jens óskar eftir að fái forgang hjá sér í byrjun næsta árs.

## 2.2 Ummyndun í setlögum og móbergi

Þessi verkþáttur er vel á veg kominn í umsjá Jens. Búið er að greina jarðlög í holu á Porvaldseyri, gera þunnsneiðar og röntenggreiningar á sýnum. Samskonar vinna hefur einnig verið gerð á sýnum úr borholu í Vestmannaeyjum. Tilgangur greininganna er að gera sér grein fyrir þróun ummyndunar í setlögum og móbergi, en þessar tvær holur bjóða upp á góða möguleika til þess. Jens býst við að hann þurfi 100-150 klst. til að ljúka skrifti um úrvinnsluna, þar sem að lágmarki komi fram grófar lýsingar á niðurstöðum greininganna.

## 2.3 Jarðfræði í borholum í Tálknafirði

Áhugi er fyrir því meðal borholujarðfræðinga að skoða jarðfræði í borholum í Tálknafirði. Boranir í firðinum hafa gefið góða raun og er nú hirt sjálfrennsli úr holum á 6 km löngum kafla í firðinum sem nemur mörg hundruð sekúndulítrum. Ástæður þessa góða árangurs eru torskildar, en skoðun á jarðfræði borhola kann að skýra þær. Þegar er fyrirbyggjandi orðsending frá Kristjáni Sæmundssyni (26.11.1990) um þennan verkþátt, og fylgir hún hér. Þar er gert ráð fyrir að Kristján vinni u.þ.b. 50 t en Jens 600 t. Í samtali við Jens, urðum við ásáttir um að ekki yrði byrjað á þessu verki fyrr en lokið væri skýrsluskrifum um ummyndun í móbergi og seti (sjá að ofan) og greinina ensku.

## 2.4 Borholumælingar í Tálknafirði

Viddarmælingar hafa leitt í ljós að þær holur sem verið er að loftbora í tertíert berg eru óvenju veggjasléttar og eru stærstu skápar 2-3 cm. Þessi reglulega lögun holanna auðveldar mjög úrvinnslu og samanburð jarðlagamælinga milli hola (sjá t.d. OS-skýrslu um Laugaland á Þelamörk, ÓGF o.fl. 1990). Lagt er til að borholumælingabíll verði sendur á Tálknafjörð næsta sumar til einnar viku jarðlagamælinga. Þær mælingar yrðu teiknaðar upp og túlkaðar ásamt svarfgreiningum Jens (sjá ofar). Alls legði deildin til verksins 200 t í felti og 200 t í úrvinnslu. Fyrirvara verður að gera við ýmsa þætti, t.d. eru toppar holanna illa hannaðir til mælinga og óvíst að heimamenn verði tilbúnir að taka þær út til mælinga. Eins er óvíst hvort mælingabíll (MAN) komist í verkið sökum borana í Kröflu.

## 2.5 Forðastuðlar bergs

Þótt nú sé almennt viðtekið að góð lekt í jarðlögum tengist opnum sprungum, skortir enn á að viðurkennd sé hlutdeild sjálfs bergmassans milli sprungnanna í jarðhitaforðanum. Er þar samt af miklum auði að taka, því stundum er talið, að af holrýmnd allra jarðlaga sé um 1 % bundið í sprungunum en hin 99 % í berginu. Ör vinnsla úr sprungum kallar á tíð massaskipti í þeim, sem er svarað m.a. með massastreymi úr berginu milli sprungnanna.

Fræðilegar athuganir á massa- og orkustreymi í sprungnum jarðlögum eru enn á bernskustigi. Þekktastir eru svokallaðir "double porosity" reikningar, þar sem skilið er á milli eiginleika sprungnanna annarsvegar og bergmassans hinsvegar. Er þá t.d. talað um "fracture permeability" og "matrix permeability" sem mætti þýða sem sprungulekt og efnislekt (berglekt). Massa- og orkuflæði um hvorutveggja kerfin er síðan lýst með hefðbundnum flæðisjöfnum hvors kerfis um sig og síðan leyst fyrir heildinni með því að tengja kerfin tvö um randskilyrði. Mikilvægt er að eiginleikar efnisins (bergsins) séu þekktir til að tryggja áreiðanleika reikningana.

Hér er lagt til að hafist verði handa við skipulega söfnun og úrvinnslu á forðaeiginleikum íslenks bergs. Þegar eru fyrirbyggjandi poruhluta- og eðlisþyngdarmælingar þeirra Svans Pálssonar o.fl. (OS-84048/VOD-18 B) sem undirritaður hefur skoðað lauslega með tilliti til eiginleika hinna ýmsu bergtegunda fyrir sig (sjá meðfylgjandi töflu). Ástæða er til að endurflokka mælingarnar með aðstoð jarðfræðings og gefa út A-skýrslu um úrvinnsluna, eða jafnvel skrifa tímaritsgrein. Til greina kemur að bæta við öðrum athugunum, t.d. í

Reyðarfjarðarholunni og í holu NG-17 á Nesjavöllum. Þá eiga VODdarar áreiðanlega mælingar í kjörnum sem teknir voru vegna virkjanarannsóknna. Þær niðurstöður sem liggja fyrir núna sýna að porhluti bergsýna er yfirleitt 10-20 %, og fer vart undir 5 %. Ekki er ljóst hve stór hluti þessara pora er virkur. Hinsvegar virðist sem poruhluti íslensk bergs hafi verið mjög vanmetinn og því full ástæða til að endurskoða tiltæk gögn. Slíkt mun bæta mjög spágildi hermireikninga þeirra sem verið er að gera á forðafræðideild. Áhrifa mun þó gæta víðar. T.d. má nefna að nýtt Bouguer af Íslandi er leiðrétt með jarðlagaeðlisþyngd upp á  $2,6 \text{ g/cm}^3$ , sem mér sýnist of hátt, sérstaklega innan gosbelta. Lauslega má áætla að minnst þurfi 100 t undirritaðs, 30 t á teiknistofu auk 30 t jarðfræðings einungis til að ljúka útgáfu skrifts um poruhluta og eðlisþungamælingar Svans og féлага. Vel kemur til greina að útvíkka síðan verkið með þáttöku annarra deilda og yrðu þá skoðaðar mun fleiri heimildir. Er hér lagt til að í það verði settur 1 jarðeðlisfræðingur í 200 t.

Í framhaldi af skipulegri söfnun poruhlutamælinga, má einnig skoða mælingar á lekt við borholur og milli borhola. Reynsla frá háhitasvæðum sýnir að yfirleitt vanmeta lektarpróf í einstökum holum lekt miðað við það sem fæst þegar skoðaðar eru þrýstibreytingar milli hola (sjá t.d. Ómar Sigurðsson o.fl. OS-89011/JHD-05 B). Almennt er talið að betri lekt í prófunum milli hola skýrist af áhrifum sprungna og getur því samanburður einna- og margra holu rennslisprófa sýnt bæði lektareigileika sprungna og bergsins. Fróðlegt er að sjá hvort svo sé einnig í lághitasvæðum, en til þess gefst gott tækifæri á næsta ári þegar skoðaðar verða lektarmælingar í Eyjafjarðarholum. Þennan verkþátt má vinna samtímis úttektinni á poruhlutamælingum af öðrum starfsmönnum forðafræðideildar, og jafnvel skrifa um niðurstöðurnar í sömu útgáfu.

Það er skoðun mín að þessi úttekt á forðaeiginleikum bergs sé nauðsynlega heimavinna forðafræðinga, sem ljúka þarf áður en stórfelldir hermireikningar hefjast á deildinni.

## 2.6 Hermireikningar á lághitasvæðum

Þessum verkþætti er lýst í greinargerð VS o.fl. frá 21/11 '90. Markmiðið er að reikna viðbrögð lághitasvæða við nýtingu og taka þá inn breytingar í hita- og efnainnihaldi, ásamt þrýstingsbreytingum. Þá er áhugavert að skoða innri gerð ákveðinna svæða, t.d. Mosfellssveitar eða Selfoss. Verkið myndi að öllum líkindum byggjast á eftirtöldum þáttum:

1. Velja áhugavert jarðhitakerfi til reikninga. Skilyrði er að svæðið eigi sér langa vinnslusögu og að það hafi breytt sér við vinnsluna
2. Nýta upplýsingar úr jarðfræði, jarðeðlisfræði, kemíu og borunum til að setja fram hugsanlegt upphafslíkan af jarðhitakerfinu
3. Tína til upplýsingar um áhrif vinnslu á ástand jarðhitakerfisins
4. Reyna að herma hið huglæga líkan annaðhvort með PT eða PTC kubbalíkani, þannig að fram komi líkan sem hermi upphafsástand geymisins.
5. Herma einnig breytingar sem verða við vinnslu
6. Áætla framtíðarviðbrögð við mismunandi vinnslu/áðælingu
7. Skrifa skýrslu um niðurstöður verksins

Alls yrðu þetta 1000-2000 t sem yrðu að mestu unnir af starfsmönnum forðafræðideildar.

### 3. FRAMVINDA Á NÆSTA ÁRI

Í meðfylgjandi töflu er sýndur áætlaður fjöldi vinnustunda á næst ári eftir verkþáttum og deildum.

Verkþáttur	Deild	jan-apr	maí-ágú	sep-des	ótiltekið	samtals
1.	Jarðfr/JT	50				50
2.	Jarðfr/JT	150				150
3.	Jarðfr/JT/KS				650	650
4.	Forðafr		200	200		400
5.	Frfr/Jfr/Jel	150		200	50	400
6.	Forðafr	600	300	600		1500
Alls		950	500	1000	700	3150

Útlagður kostnaður, gróft áætlað

Mælingabíll (MAN)	8 dagar	14000/dag	112000
Fæði og gisting	16 dagar	7600/dag	120000
Flugferðir	2	15000/ferð	30000
Ófyrirséð			50000
Samtals			312.000

## ORÐSENDING

Til GP og HK

26.11.1990

Frá Kristjáni Sæmundssyni

VARÐAR deildarverk - eðli lághitasvæða.

Á undanförunum árum hafa verið boraðar milli 30 og 40 holur í Tálknafirði frá þorpinu og inn í dalbotn (6 km káfl). Tilgangurinn með þessum borholum hefur verið að afla volgs og kalds vatns fyrir fiskeldisstöðvar. Volga vatnið er á bilinu 10-30°C heitt, en kalda vatnið 5-8°C. Allar holurnar utan 1 eru boraðar í tertfert blágrýti, sem þarna er að hluta til lítið holufyllt. Nokkrar af þessum holum gefa 20-40 l/s flestar sjálfrennandi. Dælt er aðeins úr einni holu á veturna. Nokkrar gefa lítið sem ekkert. Aðrar gefa einungis 5-10 l/s. Ekki hefur verið fylgst með breytingum á rennsli eftir að holurnar voru boraðar, en staðhæft er af notendum þeirra að þær séu litlar. Um samband milli hola er lítið vitað. Þó má í því sambandi greina grúppur þar sem innbyrðis tengsl eru nán. Dýpi holanna er oftast á bilinu 100-300 m. Fáeinar eru dýpri en þá jafnan lélegar eða ónýtar sem vinnsluholur. Nú í nóvember (1990) hafa verið boraðar 4 holur 100-150 m djúpar inn af Gileyri. Þær gefa allar sjálfrennandi vatn (14°C), á bilinu 30-40 l/s hver.

Áhugi er á að hefja könnun á þessu lághitasvæði innan ramma deildarverksins "eðli lághitasvæða". Vegna hinna mörgu hola sem má heita að sé jafndreift á 6 km bil, mismunandi hita og e.t.v. afkastagetu kerfanna, misjafns ganga- og sprunguþéttleika og holufyllingar er hér áhugavert forðafræðilegt rannsóknarverkefni. Hér er þó ekki hugmyndin að leggja til forðafræðilegar rannsóknir, heldur búa í haginn til að unnt sé að gera þær síðar. Á þessu stigi er lagt til að einungis jarðfræðilegi þátturinn verði unninn, þ.e. jarðlagasnið gerð af holunum og gengið frá ganga- og sprungukorti af borholusvæðinu. Einnig yrðu hitamælingar í borholunum teknar saman og sú vitneskja sem aflað var í borun (rennsli, áhrif á nálægar holur) skráð auk rennslis eftir að borun lauk.

Skýrsla yrði skrifuð um niðurstöðurnar. Reiknað er með að verja a.m.k. 600 tímum til þessa verks á þessu ári. Þar yrði aðallega um að ræða vinnu JT (550 t) auk vinnu KS (~50 t). Verkinu yrði síðan lokið á árinu 1992.

Kristján Sæmundsson

K. Sa.

Yfirlit um úrvinnslu á berggjarnamálningum,  
 Svans Pálssonar o.fl.

Tafla sem geymir upplýsingar um eðlismassamælingar í íslensku bergi

Berg-gerð	$\rho_{\text{þurr}}$			$\rho_{\text{mettad}}$			$\rho_1$			$\rho_2$			
	min g/cm <sup>3</sup>	max g/cm <sup>3</sup>	< > g/cm <sup>3</sup>	min g/cm <sup>3</sup>	max g/cm <sup>3</sup>	< > g/cm <sup>3</sup>	min g/cm <sup>3</sup>	max g/cm <sup>3</sup>	< > g/cm <sup>3</sup>	min g/cm <sup>3</sup>	max g/cm <sup>3</sup>	< > g/cm <sup>3</sup>	n
Setberg	1.46	2.54	2.06	1.94	2.67	2.34	2.46	3.04	2.86	2.64	3.05	2.91	105
Móberg	1.33	2.45	1.86	1.68	2.57	2.19	2.59	2.98	2.78	2.64	3.01	2.80	67
Bólstri	1.21	2.88	2.20	1.79	2.91	2.40	2.39	2.97	2.76	2.10	3.11	2.96	58
Basalt	1.46	3.09	2.68	1.94	3.10	2.77	2.37	3.14	2.95	2.60	3.19	3.00	230
Andesít	1.46	2.98	2.49	1.89	2.99	2.59	2.24	3.00	2.77	2.57	3.04	2.86	11
Súrt berg	1.01	2.50	2.10	1.54	2.53	2.22	1.90	2.82	2.39	2.39	2.86	2.53	44

Tafla sem hefur að geyma upplýsingar um poruhlutamælingar í íslensku bergi

Berg-gerð	$\phi_1$			$\phi_2$		
	min (%)	max (%)	< > (%)	min (%)	max (%)	< > (%)
Setberg	10	50	28	11	50	29
Móberg	12	54	33	13	54	33
Bólstri	2	59	20	4	58	26
Basalt	1	49	9	1	49	11
Andesít	1	49	10	2	49	11
Súrt berg	1	53	12	2	57	17

Skýringar:

$\rho_{\text{þurr}}$  = eðlisþyngd þurrs signis

$\rho_{\text{mettad}}$  = -u- vasssmettads signis

$\rho_1$  = eðlisþyngd korna, ómettad

$\rho_2$  = -u- -u-, mettad

$\phi_1$  = poruhluti ómaladra signa

$\phi_2$  = -u- maladra signa