



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

BOTNSDALUR - BRYNJUDALUR

Náttúrulegar forsendur til fiskeldis

Sérverkefni í fiskeldi 1989

Helga Tulinius

Árni Hjartarson

Hjalti Franzson

Lúðvík S. Georgsson

OS-91051/JHD-30 B

Desember 1991



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

OS - 91051/JHD-30-B

BOTNSDALUR - BRYNJUDALUR

Náttúrulegar forsendur til fiskeldis

Sérverkefni í fiskeldi 1989

Helga Tulinius

Árni Hjartarson

Hjalti Franzson

Lúðvík S. Georgsson

OS-91051/JHD-~~30~~ 3

Desember 1991

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. JARÐFRÆÐIATHUGUN	3
2.1 Inngangur	3
2.2 Yfirlit um jarðfræði berggrunns	3
2.3 Höggun	3
2.4 Jarðhiti	7
2.5 Hitamælingar í borholum	7
3. LINDIR OG KALT GRUNNVATN	12
3.1 Brynjudalur	12
3.1.1 Laus jarðlög	12
3.1.2 Grunnvatn	12
3.1.3 Lindir í lausum jarðlögum	13
3.2 Botnsdalur	13
3.2.1 Laus jarðlög	13
3.2.2 Grunnvatn	13
4. VIÐNÁMSMÆLINGAR	14
4.1 Inngangur	14
4.2 TEM-mælingar í Hvalfirði	14
4.3 Niðurstöður	15
5. NIÐURLAG	19
HEIMILDIR	20
VIÐAUKI	21

MYNDASKRÁ

1. Höggun á rannsóknarsvæðinu: a) Kortlögð misgengi og sprungur b) Mögulegar sprungulínur	5
2. Mældar sprungustefnur í berggrunni	6
3. Volgar og kaldar lindir í berggrunni	8
4. Hitamæling í holu BS-1 við Botnsskála	9
5. Hitamæling í holu LB-1 við Litlabotn	9
6. Hitamæling í holu SH-1 við Skorhaga	10
7. Staðsetning viðnámsmælinga í innanverðum Hvalfirði	16
8. Eðlisviðnám bergs í innanverðum Hvalfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli	17
9. Viðnámsnið í Botnsdal og Brynjudal	18

TÖFLUSKRÁ

1. Volgrur í Botnsdal og Brynjudal	11
------------------------------------	----

1. INNGANGUR

Árið 1989 fóru fram rannsóknir á náttúrulegum forsendum fiskeldis í Botnsdal og Brynjudal í Hvalfirði sbr. greinargerð Orkustofnunar (Helga Tuliníus o.fl. 1989). Í þessari skýrslu er nánari umfjöllun og úrvinnsla úr þeim rannsóknum. Vitað var um volgrur og laugar fyrir botni Hvalfjarðar sem gáfu vonir um vinnanlegan jarðvarma. Jarðhiti á þessum stöðum hafði verið lítillaga kannaður áður (Helgi Torfason og Guðmundur I. Haraldsson, 1985; Helgi Torfason og Hrefna Kristmannsdóttir, 1985; Gestur Gíslason, 1981). Jarðfræði svæðisins var sæmilega þekkt og höfðu m.a. misgengi og gangar verið kortlögð.

Rannsóknirnar 1989 voru þriðjættar, í fyrsta lagi jarðfræðiathugun, þ.e. nánari brota- og sprungukortlagning, einkum í nánd við jarðhitastaðina, til að fá vitneskju um virkustu sprungustefnuna á svæðin. Í öðru lagi ferskvatnsathugun, til að meta möguleika á að vinna ferskvatn úr vatnsríkum jarðlögum með borunum eða virkjun linda. Í þriðja lagi var viðnámsmælt til að kanna útbreiðslu jarðhitans djúpt í jörðu.

2. JARÐFRÆÐIATHUGUN

2.1 Inngangur

Markmið þessa verkþáttar var að finna tengsl milli volgra linda og jarðgerðar í Botnsdal og Brynjudal. Það var gert á eftirfarandi máta: Athugað var á loftmyndum brotamynstur í berggrunni á svæði sem nær frá Hvalstöðinni og Fossá í vestri að Kaldadalsvegi (Sandkluftavatni og Bláskógaheiði) í austri. Þetta er nokkru stærra svæði en kannað var í mörkinni, en á þann hátt fékkst yfirlit um brotastefnur og möguleg tengsl þeirra við gosbeltið sem liggur frá Reykjanesi og upp í Langjökul. Jarðhitastaðir og nágrenni þeirra vestan Hvalfells og Botnsúlna voru athugaðir með tilliti til hita, rennslis og mögulegra tengsla við sprungur og ganga. Einnig voru athugaðir, þar sem við var komið, sprungufletir, sprungustefna, færsla og afstæður aldur þar sem sprungur skárust.

2.2 Yfirlit um jarðfræði berggrunns

Eldri hluti berglagastaflans í Botnsdal og Brynjudal samanstendur af móbergslögum sem mynduð eru á jökulskeiðum ísaldar, og hraunlagasýrpum sem hlóðust upp á hlýskeyðum. Berglögum hallar nokkrar gráður til suðausturs í átt að virka gosbeltinu á Þingvallasvæðinu. Elstu berglögin eru því vestast á svæðinu (rúmlega tveggja milljóna ára) en verða yngri til suðausturs, í átt að gosbeltinu.

Yngra gosberg í Hvalfelli og Botnsúlum liggur mislægt ofan á áður nefndum eldri berggrunni. Bæði fjöllin eru yngri en 0,7 milljón ára og hafa gosið undir íshettu jökulskeiðs. Hvalfell, sem er móbergsstapi, virðist lítið hafa rofist af ágangi jökla, sem gæti bent til að það sé tiltölulega ungt, e.t.v. frá síðasta eða næstsíðasta jökulskeiði (10.000-200.000 ára). Svartihryggur norður af Botnsdal er bólstrabergsmyndun sem líklega er jafnaldr Hvalfelli og liggur mislægt ofan á eldri berggrunni. Ekki eru allir á sama máli um aldur Svartahryggs því Jóhann Helgason o.fl. (1990) telja hann mun eldri. Botnsúlur eru einnig móbergsstapi en þær hefur jökullinn rofið og mótað verulega, sem bendir til hærri aldurs en Hvalfells.

2.3 Höggun

Á mynd 1a eru sýnd misgengi og sprungur í berggrunni (óbirt gögn stúdenta Háskóla Íslands og Kristjáns Sæmundssonar). Þau hafa NA-SV stefnu og finnast aðallega á tveimur svæðum. Í vesturhluta Botnsdals og Brynjudals er fjöldi misgengja sem flest hafa fall vestan megin. Þessi

misgengi tilheyra austurjarði brotabeltis sem líklega tengist megineldstöðvakerfi í Stardal, suðvestan við núverandi rannsóknarsvæði. Frá miðjum Botnsdal og Brynjudal og allt austur fyrir Hvalvatn verður lítt vart við misgengi. Í austurhluta Botnssúlna kemur í brotabelti við vesturjaðar núverandi gosbeltis.

Mynd 1b sýndir niðurstöður loftmyndakönnunar, þar sem raktar voru mögulegar sprungulínur. Þessi mynd er nokkuð frábrugðin þeirri sem sýnir misgengin. NA-SV stefnan er mjög algeng. Hún virðist einnig algengari á vestur- og austurhluta svæðisins svipað og misgengin, en heldur fátíðari um miðbik svæðisins. Meginmunurinn liggur þó í að á loftmyndum er áberandi sprungustefna vestan við norður, allt frá nær N-S og yfir í VNV-ASA. Í grófum dráttum virðist fjöldi þessara lína vera einna mestur, líkt og misgengjanna, í vestur- og austurhlutanum, en minni um miðbikið. Rannsóknir annarra á Hvalfjarðarsvæðinu sýna einnig N-S til VNV-ASA sprungu- og misgengisstefnur (Robert Jeffries and Barry Voigt 1981; Helgi Torfason og Hrefna Kristmannsdóttir 1985; Trond Forslund and Ágúst Guðmundsson 1991)

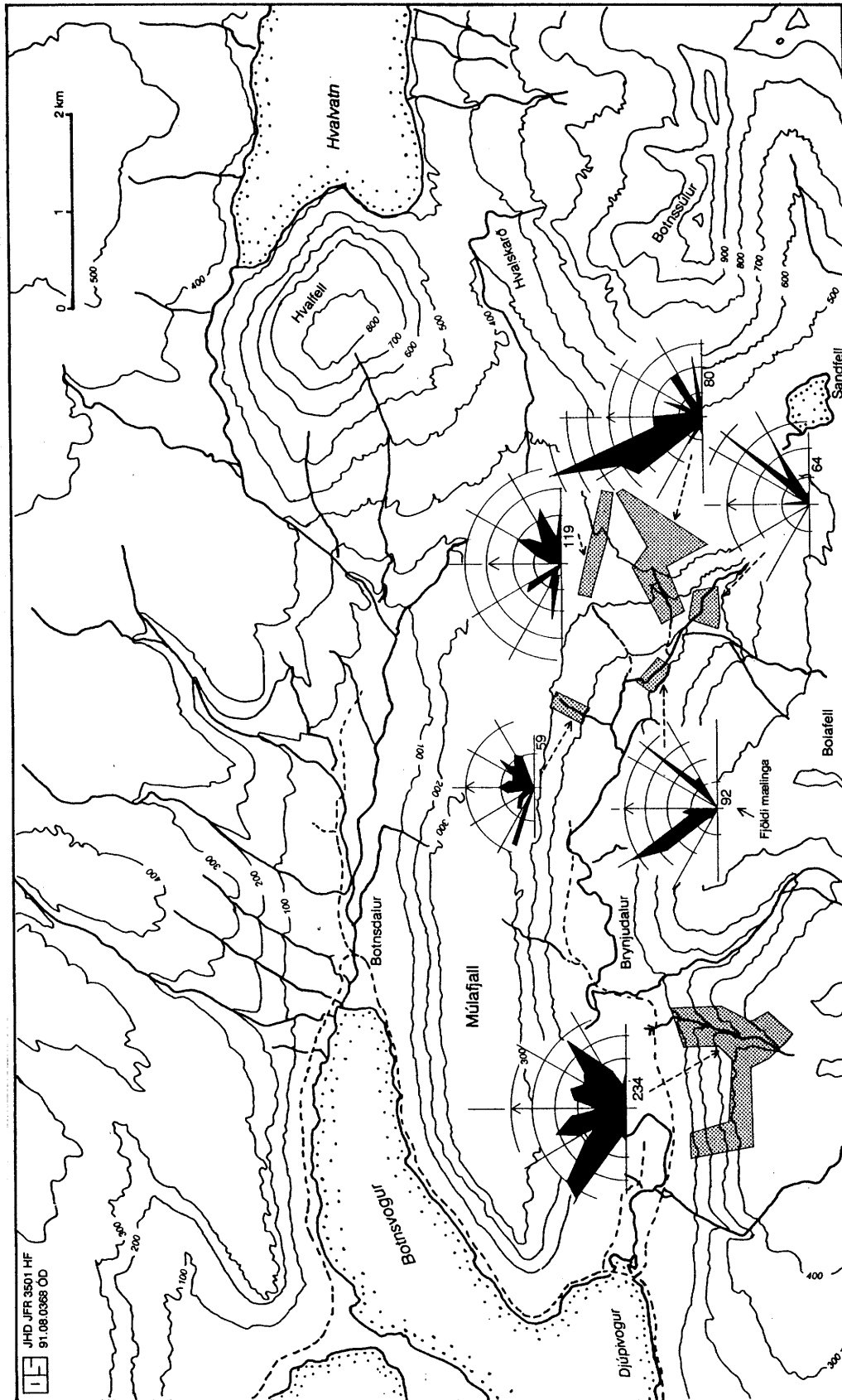
Á loftmyndum getur stundum verið erfitt að greina á milli sprungna í berggrunni og ummerkja eftir rof eins og t.d. jökulkemba og jökulgrópa. Því voru sprungustefnur í berggrunninum athugaðar til að ganga úr skugga um réttmæti niðurstaðna loftmyndaathugunarinnar. Tekin voru ákveðin svæði og mæld stefna á öllum sprungum sem báru tektónísk einkenni. Niðurstöður mælinganna í Brynjudal eru sýndar á mynd 2. Athuguðu svæðin eru skyggð og stefnudreifing sprungnanna sýnd í formi sprungurósa. Athugunin sýndi svo ekki varð um villst að NV-SA sprungur eru algengar í berggrunninum, og í sumum tilvikum algengari en NA-SV stefna. Þrennt einkennir NV-SA sprungurnar: a) Þar sem þær skera NA-SV sprungur, eru NV-SA sprungurnar ætíð yngri. Þetta sjést á sex stöðum. b) Hreyfing (misgengi) um brotafletina er vart greinanleg. c) Útfellingar finnast í sprungunum, sérstaklega í grennd við jarðhitastaði.

Það er freistandi að álykta að myndun NV-SA sprungnanna sé samtengd NA-SV stefnum í tíma og rúmi, þannig að þær sem finnast í vesturhluta svæðisins tilheyri gróft séð sama brotakerfinu, en það eystra tilheyri núverandi brotakerfi gosbeltisins. Athuganir benda þó til að þær séu almennt á hverju svæði yngri en NA-SV stefnurnar. Það er í samræmi við niðurstöður sprungurannsóknna á svæðinu frá Hvalfirði til Reykjavíkur (Robert G. Jeffries and Barry Voigt 1981). Þeir félagar töldu NV-SA sprungurnar til orðnar vegna bergkælingar og samdráttar er jarðskorpuna rekur frá gosbeltinu.

Dreifing og stefnur sprungna í Hvalfelli eru að nokkru frábrugðnar, þar sem meira ber á A-V stefnum sem eru samsíða dalnum. Talið er líklegt að hluti þessara brota tengist upphleðslu móbergsins, e.t.v. samþjöppun þess er það var að hlaðast upp í gosi undir jöklinum. Það er þó ekki einhlítt því að unnt reyndist í nokkrum tilfella að rekja A-V sprungur úr eldri berggrunninum og upp í Hvalfellsmóbergið.



MYND 1. Höggun á rannsóknasvæðinu. Skyggð svæði sýna ungar móbergsmýndanir.
a. Kortlögð misgengi og sprungur (Kristján Sæmundsson, óbirt gögn)
b. Mögulegar sprungulínur á grundvelli loftmyndaskoðunar.



MYND 2. Sprungustefnur í berggrunni mældar með áttavita innan ákveðinna svæða og sýndar sem sprungurósir.

2.4 Jarðhiti

Í Botnsdal var leitað að volgrum og laugum í landi Litlabotns. Einnig var jarðhitinn lauslega athugaður í landi Stórabotns, en þar var einnig stuðst við fyrri athuganir (Helgi Torfasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1985). Leitað var jarðhita í öllum Brynjudal. Notið var leiðsagnar Alexíusar Lútherssonar og Jóns Þorkelssonar, sem gerst þekktu til á þessum slóðum. Merkt var við þá staði þar sem kaldar lindir spruttu fram á yfirborði, ef talið var að þær tengdust á einhvern hátt berggrunninum.

Á mynd 3 eru merktir allir þeir staðir þar sem volgrur og laugar fundust. Í töflu 1 er stuttlega greint frá helstu atriðum sem tengjast hverjum stað fyrir sig. Taka ber varlega niðurstöðum hitamælinga, þar sem þær voru gerðar á miklum úrkomutíma, sem veldur lækkun á hita vegna blöndunar jarðhitavatns og úrkomu. Einnig veldur það ofmati á rennsli. Ljóst er að mælingu á hita og rennsli verður að endurtaka í framtíðinni, og gera þær mælingar í kjölfar þurrkatímabils. Margar af þeim köldu lindum sem merktar eru á kortið eru samkvæmt upplýsingum Alexíusar Lútherssonar. Flestar þeirra tengjast sprungum, misgengjum eða berggöngum. Allar eru þær smáar en eru nefndar hér því þær gefa vísbendingu um lekt og brotalínur í berggrunni.

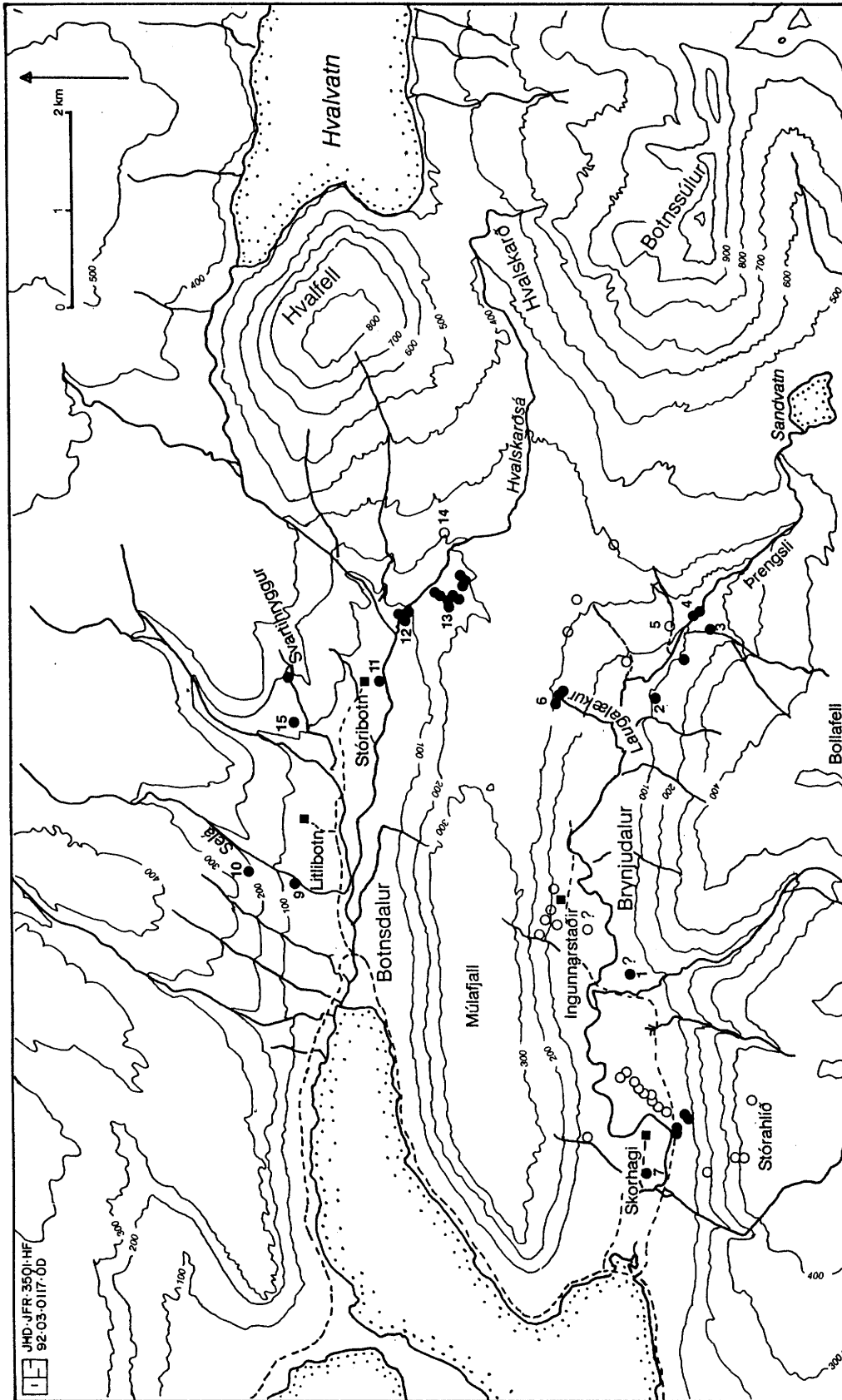
Jarðhitinn tengist í flestum tilvikum NA-SV sprungustefnu. Á svæðum 6 (við Laugalæk) og 7 (mynd 3) eru vísbendingar um að volgrurnar komi upp þar sem NA-SV stefnan sker sprungur með NV-SA stefnu. Í Hvalskarðsá (svæði 12) eru vísbendingar um að volgrurnar tengist A-V og N-S sprungum. Svartihryggur norður af Botnsdal er mjög sérkennilegur að því leyti að ópalútfellingar eru óvanalega algengar í berginu, sérstaklega bólstraberginu. Helst er hallast að þeirri tilgátu að ópalútfellingarnar séu merki um öflugt jarðhitakerfi sem orðið hafi virkt í kjölfar myndunar móbergsins, þ.e. jarðhitakerfis sem komið hefur upp með gosrás móbergsins. Það er mögulegt að volgrurnar sem tengjast Svartahrygg (svæði 15) séu síðustu leifar þeirrar jarðhitavirkni. Í Hvalfelli sunnanverðu eru mjög áberandi ópalútfellingar. Hiti vatnsins sem tengist þar sprungum sýnir þó engin jarðhitaáhrif (svæði 14). Allar aðstæður, svo sem rofið á gilinu þar sem lindirnar finnast, benda til að stutt sé síðan jarðhitavatn, yfirmettað m.t.t. kísils, rann upp úr þessum sprungum. Það bendir því til dvínandi jarðhitavirkni á jarðfræðilega stuttum tíma (e.t.v. sögulegum tíma).

Volgran í mýrinni við Skorhaga í Brynjudal er auðsjáanlega tengd NA-SV misgengi (svæði 7). Við fjallsrætur Múlafjalls kemur fram köld lind sem líklega er tengd sama misgengi. Í mýrinni austan Skorhaga er fjöldi kaldra uppsprettna sem stefna NA-SV. Þær tengjast hugsanlega sama berggangi og volgrurnar ofan og sunnan við veginn við Stóruhlíð, annað hvort sem fyrirstaða í grunnvatnsrennsli í áreyrinni eða uppstreymi kalds grunnvatns úr berggrunninum.

Kaldar lindir ofarlega í Prándarstaðafjalli ofan Stóruhlíðar tengjast sprungum í berggrunni.

2.5 Hitamælingar í borholum

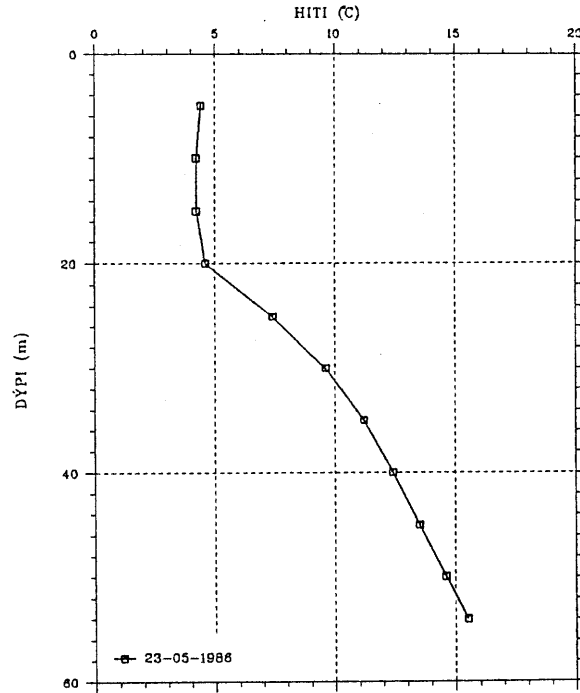
Þrjár 60 m djúpar rannsóknarholur voru boraðar 1986, tvær í Botnsdal og ein í Brynjudal. Þessar holur voru boraðar ásamt fleiri í nágrenninu til að fá vitneskju um hitastigul í berggrunni. Þær voru allar hitamældar 23. maí 1986 og eru hitamælingarnar birtar á myndum 4-6. Mælingarnar sýna allar frekar háan hitastigul. Hæstur mældist hann við Botnsskála 228-246°C/km, við Litlabotn í Botnsdal mældist hann 218°C/km og loks 172°C/km við Skorhaga í Brynjudal.



MYND 3. Volgar og kaldar lindir í berggrunni. Fylltir hringir volgrur, ófylltir kaldar lindir.

12 Dec 1991 htul
L= 13351 Oracle

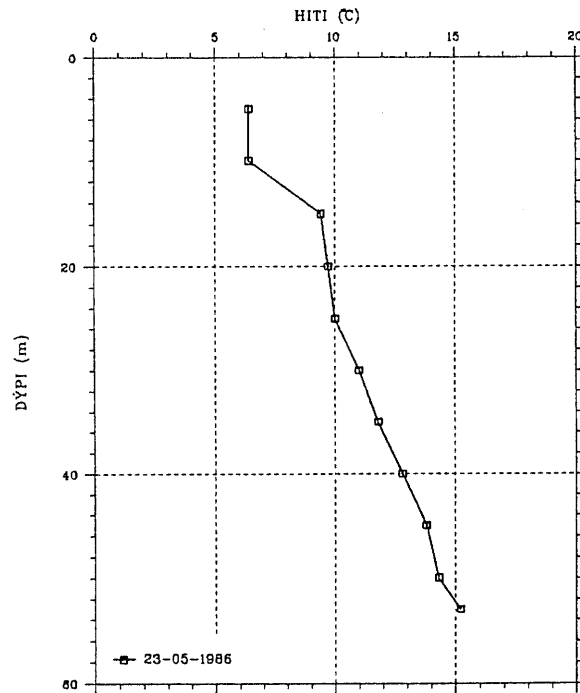
Botnsskáli hola BS-01
Hitamæling



MYND 4. Hitamæling í holu BS-1 við Botnsskála.

12 Dec 1991 htul
L= 13351 Oracle

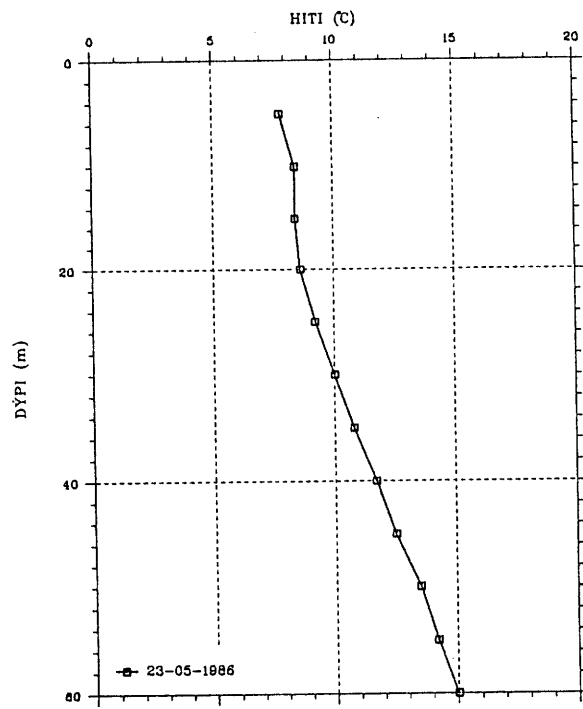
Litlabotn hola LB-01
Hitamæling



MYND 5. Hitamæling í holu LB-1 við Litlabotn.

12 Dec 1991 htul
L- 13351 Oracle

Skorhagi hola SH-01
Hitamæling



MYND 6. Hitamæling í holu SH-1 við Skorhaga.

TAFLA 1. Volgrur í Botnsdal og Brynjudal

Númer á korti	Einkenni	Hiti (°C)	Rennsli (l/s)	Jarðfræðitengsl
BRYNJUDALUR				
1.	Væta í mel	15?	seytl	Líklega tengt gangi með stefnu 54°
2.	2 lindir í mel	17	~ 0,5	Líklega NA-SV sprunga
3.	Nokkur augu undan barði og úr bergi, kísilskán	15	~ 1	Tengist líklega NA-SV misgengi, sig um 10 m vestan megin
4.	2 augu, um 6 m á milli	15	seytl	Óþekkt
5.	Nokkur augu í mel. Vottur af kísli	?	1-2	Óþekkt
6.	Volgrulína við Laugalæk 60 m löng með stefnu um 300°	31,5	1-2	Tengist líklega NA-SV misgengi og NNV-SSV sprungu. Tengist mögulega sömu sprungum og jarðhitinn sunnan Hvalskarðsár NA-SV misgengi og e.t.v. NV-SA sprunga.
7.	Vætl úr skurði	8,5	seytl	Eystri volgrurnar tengjast líklega gangi með NA-SV stefnu (~ 4 l/s) Óvíst með tengingu vestari volgranna við berggrunnsfyrirbæri (~ 1 l/s)
8.	Nokkur augu undan Stóruhlíð úr jarðvegi og skriðu	≤18	~ 5	
BOTNSDALUR				
9.	Volgra framarlega í Kiðadal. Vætl undan urð	≤11	lítið	NA-SV misgengi. Sig ≥15 m vestan megin
10.	Í um 230 m hæð Kísilvottur	8,5	1-2	Tengt sprungu með N30°A stefnu
11.	Væta í klöpp, rennur undan malarlagi Kísilvottur	?	seytl	Mögulega tengt sprungu með ca N30°A stefnu
12.	4-5 augu í bergi við Hvalskarðsá á mótum Hvalfells og eldri berggrunnins	7-18	seytl	Sprungustefnur tengdar jarðhitnum aðallega A-V. Þær sprungur skera líka eldri berggrunninn. Einnig vottar fyrir N-S stefnu
13.	Nokkrar lindir (sbr. Helgi Torfason og Hrefna Kristmannsdóttir 1985)	10-24	Í heild nokkrir l/s	Tengjast líklega að einhverju leyti NA-SV sprungum/misgengjum, þeim sömu og tengjast jarðhitnum við Laugalæk í Brynjudal
14.	Í Hvalfelli, miklar ópal-útfellingar Jarðhitakerfi virkt á "nú tíma" en hefur kólnað niður í almennan grunnvatnshita	4	Í heild e.t.v. 1-2	Krossskurður NA-SV sprungu og VNV-SSA sprungu. Sú síðarnefnda mögulega sú sama og finnst við volgrusvæði 12
15.	Tvö lindasvæði. Það eystra í bólstrabergi, það vestara við jaðar móbergsins	eystra mælt 17° vestara um 10°	seytl	Bæði svæðin að líkindum tengd móbergsmýnduninni (sjá texta)

3. LINDIR OG KALT GRUNNVATN

3.1 Brynjudalur

Möguleikar á öflun ferskvatns í Brynjudal liggja nær allir í lausum jarðlögum í dalnum, áreyrum og lækjarkeilum, því berggrunnurinn er þéttur og hleypir litlu af köldu grunnvatni gegn um sig. Kaldar lindir sem tengjast rennsli úr berggrunni eru allar smáar og gefa um eða innan við 1 l/s. Í jarðhitakaflanum er getið um nokkrar slíkar lindir. Í kjafti Brynjudals er klettahaft mikið. Fram af því fellur Brynjudalsá í fossi, sem Skorhagafoss heitir, og er laxastigi þar hjá. Niður undir sjó er annar foss, Bárðarfoss. Áin er 11 km löng dragá og hefur 42 km² vatnasvið. Rennsli hennar er mjög sveiflukennt en meðalrennslið er nálægt 2 m³/s. Fáar rennislismælingar hafa verið gerðar á ánni.

3.1.1 Laus jarðlög

Brynjudalsá ber lítið af framburði út fyrir klettahaftið í dalkjaftinum. Efnisfyllan við árósana er einungis lítil leira. Áin setur mest allan framburð sinn af sér inn í dal og hefur þar myndað mikla dalfyllu. Skorhagi stendur innan við haftið á vesturenda fyllunnar sem teygir sig 4 km inn dalinn, inn undir Laugalæk. Upp með þeim læk er aðaljarðhitinn í Brynjudal. Dalfyllan er ofan til að mestu gerð úr ármöl og um hana hlykkjast áin út dalinn. Utan við Ingunnarstaði er fyllan víðast þakin þykkum mýrarjarðvegi en innar eru eyrarnar ýmist berar eða með þunnri jarðvegsþekju. Innri gerð fyllunnar hefur ekki verið rannsökuð en til þess þyrfti boranir og gröft. Þykkt hennar er einnig lítt könnuð. Yfirborð er í tæpum 40 m y.s. yst en nær 60 m inn við Laugalæk. Gera má ráð fyrir að fyrst eftir ísöld hafi sjór teygt sig langt inn í Brynjudal. Er sjór lækkaði við ströndina og hörfaði úr dalnum er líklegt að stöðuvatn hafi orðið til innan við haftið sem árnar fylltu síðan smátt og smátt með framburði. Þess vegna má gera ráð fyrir því að neðst í dalfyllunni sé jökulruðningslag en ofan á því sjávarset. Þar ofan á má búast við fíngerðu vatnaseti sem verður grófara eftir því sem ofar dregur þar til grófar áreyrarnar taka við efst.

Fornar strandlínur sjást víða í Brynjudal. Innan við eyðibýlið Hrískot ganga gamlir sjávarhjallar fyrir dalbotninn. Hæð þeirra er í kringum 70 m y.s. Utan til eru þeir sléttir og smágrýttir á yfirborðinu en innar eru þeir ójafnari og meira um stóra steinhnullunga á þeim. Svo virðist sem hjallarnir séu myndaðir í sjó skammt framan við jökulsporð.

Hærri hjalli en ógleggri er á milli Hrísakots og gamall rústa við Laugalæk. Hæð hans er tæpir 80 m y.s. Undir suðurhlíðum dalsins eru hjallaræksni með mjög óglöggri frambrún. Þá má rekja niður fyrir Þverá. Í þeim vestustu eru malarnámurnar vestan við Þrándarstaði.

Ofan við Þrándarstaði er Húsagil, gríðarmikið skriðugil sem nýlegar skriður eru komnar úr. Skriðukeilan frá því er miklu meiri en keilan niður undan gili Þverár, sem er þar rétt innan við, þótt Þverá sé miklu meira vatnsfall. E.t.v. stafar munurinn af því að Þverá er mun duglegri að flytja framburð sinn í brott en Húsagilslækurinn, sem alla jafna er smár í sniðum.

3.1.2 Grunnvatn

Þótt engar beinar rannsóknir hafi verið gerðar á grunnvatnsinnihaldi dalfyllunnar í Brynjudal er óhætt að fullyrða að þar má vinna allmikið vatn úr jörðu með brunngreftri, safnlögnum eða borunum. Vænlegustu staðirnir eru á bökkum Brynjudalsár sitt hvoru megin Þverár. En raunar er svæðið meðfram Brynjudalsá innan við Þverá og allt inn að hjöllunum við Laugalæk álitlegt vatnsvinnslusvæði.

Á vestasta hluta dalfyllunnar, frá Skorhaga og inn að Þverá, gætu einnig verið góð skilyrði víða. Mölin á þessum slóðum er þó sennilega fíngerðari og þéttari en ofar í dalnum og einnig er meiri hætta á járnmengudu vatni úr mýrunum.

Aðstæður til vinnslu jarðsjávar við Brynjudalsvog virðast ekki vera fyrir hendi.

3.1.3 Lindir í lausum jarðlögum

Tvö skriðugil eru upp af Skorhagafossi. Það innra er nafnlaust á korti en hið ytra heitir Flugugil. Milli þeirra eru hrunkriður úr klettunum. Undan þeim koma lindir sem sameinast í læk sem fellur niður að laxastiganum. Rennsli 6-8 l/s, hiti 3,0-4,0°C.

Urðarkeilan úr Flugugili er bæði mikil og gróf. Klapparrani klyfur hana í tvennt neðan til. Lækurinn úr gílinu fellur nú um austurhluta keilunnar. Þar, bæði ofan og neðan þjóðveggar koma upp nokkrar lindir. Rennsli um 20 l/s, hiti 4,5-4,8°C.

Fyrir miðri keilunni eru nokkrar lindir niður undir á. Þær falla í þremur lækjum til árinna á að giska 20 l/s til samans.

Vestast í keilunni eru dreifðar lindir, en koma saman í einn læk ofan vegar. Rennsli 5 l/s, hiti 4,5°C.

Laugarnar undir Stóruhlíð í Brynjudal eru um 1 km innan við lindasvæðið. Þessar lindir sem hér hafa verið nefndar gefa til samans 50-60 l/s.

Allar mælingarnar voru gerðar 12. júlí 1989. Grunnvatnsstaða var há og lindir með meira móti. Aðstæður á þessum slóðum eru þannig að lindirnar eru vafalítið sveiflukennndar bæði að því er varðar rennsli og hita. (Lindirnar eru ekki sýndar á mynd 3 þar sem þær tengjast ekki berggrunni.)

3.2 Botnsdalur

Botnsdalur er minni dalur en Brynjudalur en þrátt fyrir það er Botnsá mun meira vatnsfall en Brynjudalsá. Hún er 17 km að lengd og hefur 79 km² vatnasvið. Botnsá er dragá en rennsli hennar er jafnað af Hvalvatni svo rennslissveiflurnar eru mun minni en í Brynjudalsá. Meðalrennsli Botnsár er 4 m³/s við rennslismæli vhm 14 í Botnsdal.

Berggrunnurinn er þéttur og engar umtalsverðar lindir hvorki í bergi né lausum jarðlögum.

3.2.1 Laus jarðlög

Yst í Botnsdal er lágt berghaft. Utan þess eru leirur en innan þess eru áreyrar, keilur og miklar hjallamyndanir. Hjallarnir, sem eru fornir sjávarhjallar, eru í a.m.k. tveimur vel aðgreindum hæðum. Þeir eru úr skálaga sandi og mól hið efra en neðantil eru þeir úr mélu og leir. Ekkert vatn er í þeim. Eyrarnar við ána skipta einar máli í þessu sambandi.

3.2.2 Grunnvatn

Þykkt og innri gerð eyranna við Botnsá hefur ekki verið könnuð. Yfirborðsathugun bendir þó til þess að auðvelt verði að vinna vatn í einhverju magni með brunngerð og safnlögnum við ána. Virðist þar einu gilda hvaða stað á árbökkunum menn kjósa sér, niður við berghaftið hjá brúnni eða neðan við gilkjaftinn inn hjá Stórabotni. Hugsanlegt er þó að hér og hvar sé grunnt á þéttan leir og harða klöpp. Í hjöllunum sem einhverntíma hafa fyllt dalinn að mestu innantil, en árnar hafa rofið niður, sér sem fyrr sagði víða í þykk mólulög. Í Langamel milli Litlubotnsár og Botnsár eru þau t.d. margir metrar á þykkt en ofan á þeim er skálaga mól.

Jarðsjávarvinnsla er ekki vænleg á þessum slóðum

4. VIÐNÁMSMÆLINGAR

4.1 Inngangur

Viðnámsmælingar hafa lengi verið mikilvægur þáttur í yfirborðsrannsóknnum á jarðhita á Íslandi. Mismunur í eðlisviðnámi bergs stafar fyrst og fremst af mismunandi vatnsinnihaldi bergsins og hita. Selta getur og skipt verulegu máli nærri sjávarströnd eða þar sem gömul sjávarsetlög eru í jörðu. Jarðhiti kemur yfirleitt fram í lægra eðlisviðnámi bergsins en ella.

Fjölmargar viðnámsmælingar voru gerðar í innri hluta Hvalfjarðar á árunum 1974-1978. Þessar mælingar voru gerðar með jafnstraumstækjum og svokallaðri Schlumbergeruppsetningu mæliskauta, sem hefur mest verið beitt í jarðhitaleit á Íslandi á síðustu áratugum. Aðferðin hefur reynst vel til að afmarka svæði með afbrigðilega lágu viðnámi, og út frá því hefur t.a.m. stærð hitasvæða verið metin eða ný fundist. Í stuttu máli sagt eru mælingarnar gerðar með því að senda straum niður í jörðina milli tveggja skauta og mæla spennunum milli annara skauta í þar á milli. Út frá því er hægt að reikna út eðlisviðnámið í jörðinni undir. Með því að auka bilið milli sendiskautanna leitar straumurinn dýpra. Með þessari aðferð má venjulega fá upplýsingar um eðlisviðnám jarðlaga í efstu 500-1000 m.

Á síðustu árum hefur rutt sér til rúms ný mæliaðferð, sem hefur flesta kosti Schlumbergermælinga. Þetta eru svokallaðar TEM-mælingar. Þær eru mun fljótlegri í framkvæmd og túlkun. Þannig þarf aðeins tvo menn til að gera þessar mælingar en fjóra í Schlumbergermælingar, og afköst á dag eru heldur meiri. Þá er túlkun oft fljótunnari og því ódýrari. Á móti kemur að tækin eru dýr. Nýlega eignaðist Orkustofnun TEM-tæki og hafa TEM-mælingar að mestu komið í stað Schlumbergermælinga í jarðhitaleit hér á landi.

TEM-mælingar byggja á myndun spanstrauma í jörðu. Stór sendilykkja er lögð á jörðina og minni móttökulykkja í miðju hennar. Öflugur straumur er sendur um stóru lykkjuna sem byggir upp þekkt fast segulsvið. Ef slökkt er á straumnum hjaðnar segulsviðið. Við það spanast upp rafstraumar í jörðunni. Þessir straumar spana sjálfir upp segulsvið sem hjaðnar með tímanum. Jarðstraumarnir og segulsviðið, sem þeir spana, eru háðir viðnámi jarðlaganna. Með því að fylgjast með þeirri spennu, sem spanast í litlu móttökulykkjunni, er hægt að mæla jarðstraumana. Hjöðnun þeirra sem fall af tíma er síðan hægt að túlka þannig að upplýsingar fáiast um eðlisviðnám jarðlaganna undir. Dýptarskynjunin er komin undir því hve lengi er hægt að fylgjast með hjöðnuninni. Í þeim útbúnaði, sem Orkustofnun ræður yfir, er þessi tími um 100 ms, sem samsvarar dýptarskynjun uppá 500-1000 m eftir aðstæðum, sem er svipað og í Schlumbergermælingum. TEM-mælingar gefa nákvæmari upplýsingar um lágviðnámslög en lakari um háviðnám heldur en Schlumbergermælingar

4.2 TEM-mælingar í Hvalfirði

Við skipulagningu fiskeldisverkefnisins í innanverðum Hvalfirði var ákveðið að gera nokkrar TEM-mælingar, einkum í Brynjudal og í landi Litlabotns í Botnsdal til að afla betri upplýsinga um eðlisviðnám jarðlaga og jarðhita á svæðinu. TEM-mælingarnar voru gerðar dagana 12.-16. september 1989. Afköst mælingaflokks voru heldur minni en áætlað hafði verið, m.a. vegna erfiðs tíðarfars. Alls voru gerðar 8 mælingar (KK-1 - KK-8), af þeim voru fjórar í Brynjudal, tvær í landi Litlabotns, ein við laugar uppi í hlíð innst í Botnsdal og ein við Fossá. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 7, en jafnframt er sýnd þar staðsetning Schlumberger-mælinga sem til eru á svæðinu. Mæliferlarnir ásamt túlkun þeirra eru sýndir í viðauka. Rétt er þó að það komi fram að niðurstöður þeirra þriggja mælinga, sem liggja næst ströndinni, og jafnframt næst háspennulínum og jarðsímakaplínum norður í land, eru tortryggilegar og ekki hægt að treysta þeim nema í efstu 200-300 m. Settur hefur verið svigi um tortryggileg viðnámsgildi í þeim myndum sem við á.

4.3 Niðurstöður

Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum 8 og 9. Annars vegar er um að ræða viðnámskort sem sýnir eðlisviðnám bergs í innanverðum Hvalfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli (mynd 8). Hins vegar er um að ræða viðnámsnið eftir línunum inn Botnsdal og Brynjudal (mynd 9). Lega sniðlínanna er sýnd á mynd 7.

Viðnámskortnið á mynd 8 sýnir vel megindrættina í eðlisviðnámi berggrunnins á svæðinu. Það er byggt á niðurstöðum Schlumberger-mælinga (Lúdvík S. Georgsson, 1985) en inn á það hefur verið bætt niðurstöðum TEM-mælinganna og falla þær ágætlega að þeirri mynd, sem fyrir lá, og styrkja hana. Lægst eðlisviðnám mælist á um 5 km breiðu belti sem liggur um utanverðan Brynjudal og Hvalfjarðarbotn. Djúpvíðnám er þarna innan við 25 Ω m sem verður að teljast fremur lágt. Líkur benda til að lágviðnám, sem kemur fram í Grafardal nokkru norðar, sé framhald þessa svæðis. Sömuleiðis gæti lágviðnámsvæði innst í Kjós verið suðurframhaldið. Innar í Brynjudal og Botnsdal hækkar djúpvíðnám jafnt og þétt, og er komið upp í um 60 Ω m undir vesturhlíðum Hvalfells og Botnssúlna. Austar ná mælingar ekki. Háviðnám sem mælist á norðurströnd Hvalfjarðar stafar líklega af innskotum og gamalli háhitaummyndun. Ekkert slíkt er á yfirborði í Botnsdal eða Brynjudal.

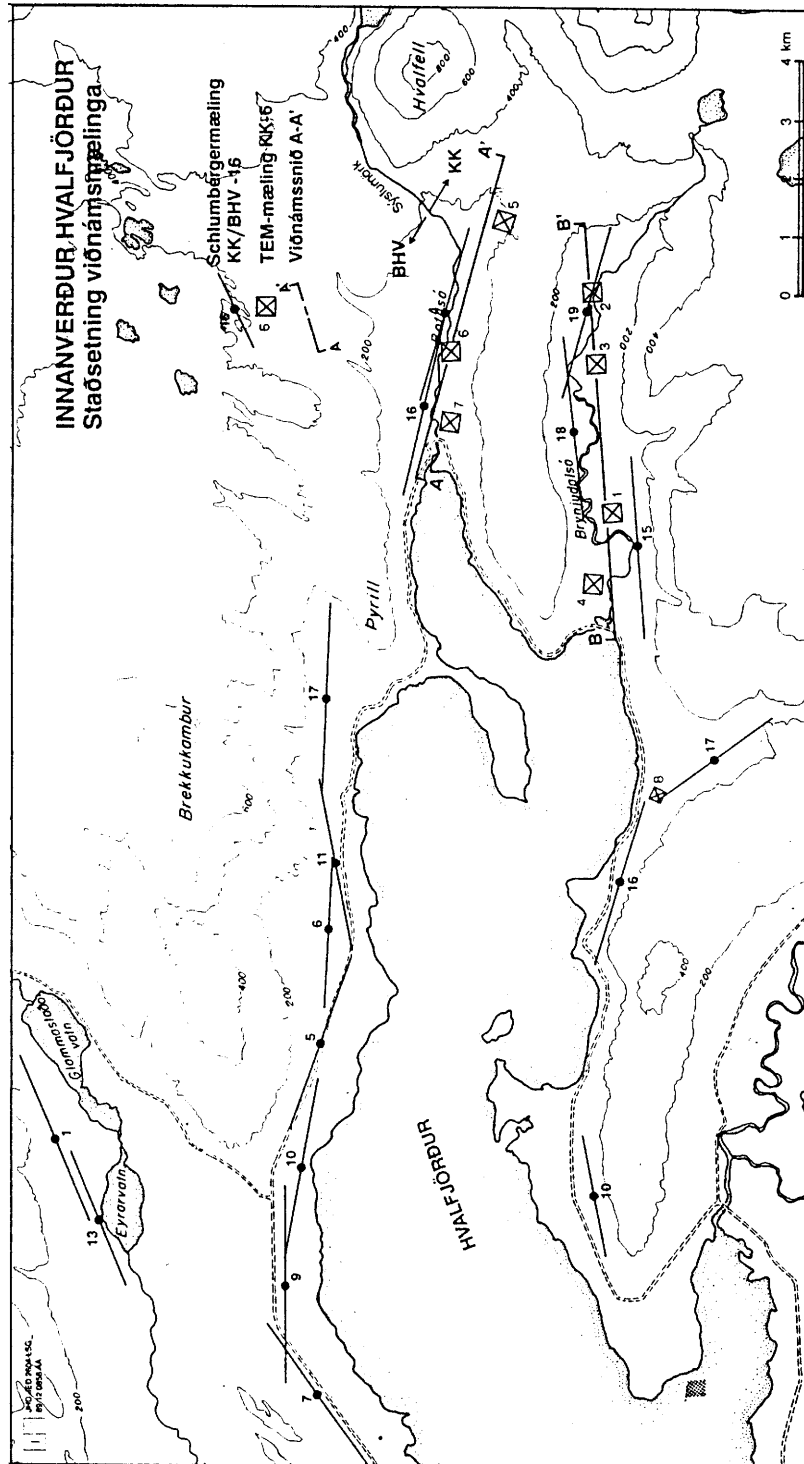
Viðnámsniðin á mynd 9 sýna betur hvernig viðnámið breytist inn Botns- og Brynjudal. Í sniðunum er bæði stuðst við TEM og Schlumberger-mælingar. Í sniði A-A', sem liggur inn Botnsdal, kemur fram að í fjarðarbotninum er djúpvíðnám líklega á bilinu 25-30 Ω m en er þó ekki vel ákvarðað vegna erfiðra mæliaðstæðna. Þegar komið er inn í dalinn dýpkar verulega á lágviðnámið. Við Litlabotn er viðnámið um 150 Ω m í efstu 200 m, lækkar þar fyrir neðan í um 50 Ω m, en fer ekki niður fyrir 30 Ω m fyrr en neðan 600 m dýpis. Innar í dalnum breytist myndin lítið, þó virðist djúpvíðnám heldur hækka til austurs. Æskilegt væri að bæta við 1-2 mælingum í landi Stórabotns til staðfestingar á þessari mynd.

Í sniði B-B', sem gengur inn Brynjudal, kemur vel fram hve djúpvíðnám er lágt í utanverðum Brynjudal og jafnframt grunnt á lágviðnámið. Lægstu gildin fást við Skorhaga og Þrándarstaði, 15-20 Ω m, en síðan hækkar djúpvíðnám nokkuð reglulega inn dalinn og innst er það á bilinu 35-50 Ω m. Þá dýpkar yfirleitt nokkuð á lægstu gildin.

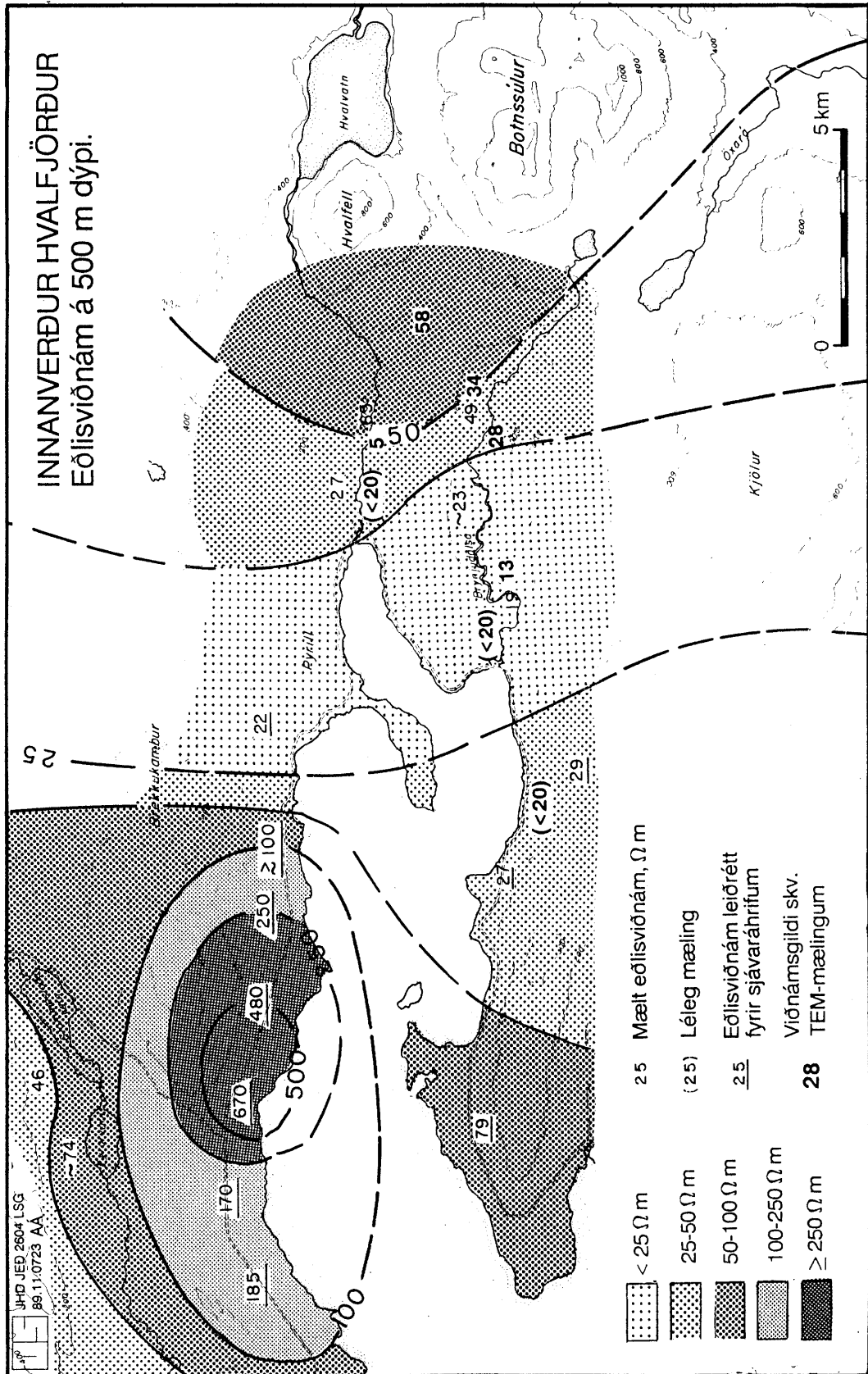
Eins og fram kemur í inngangi fer jarðhiti almennt saman við lágt eðlisviðnám. Málið er þó ekki svo einfalt í Hvalfirði. Þannig eru flestir jarðhitastaðir í Botnsdal og Brynjudal töluvert austan við lágviðnámsbeltið. Þá hefur orðið mjög góður árangur af borunum innan háviðnámsins í landi Hrafnabjarga. Við mat á niðurstöðunum þarf því að skoða fleira en viðnámið. Þar skiptir miklu máli að tekið sé mið af gerð og ummyndun jarðlaga. Hvað sem því líður má þó fullyrða að lágviðnámsbeltið afmarki álitlegt svæði hvað jarðhita varðar. Innan þess má búast við að hitastigull sé hvað hæstur á því svæði sem hér er fjallað um, þ.e. hitaaukning með dýpi ætti þar að vera meiri en víðast annars staðar. Þar sem jarðhitavottur finnst á yfirborði, eins og t.d. við Þrándarstaði, verður því að telja líklegt að fá megi mun heitara vatn með borunum. Þessu til staðfestingar má benda á góðan árangur af borunum við Hvalstöðina, en sú hola er innan lágviðnámsbeltisins. Í inndölum er djúpvíðnám á bilinu 30-60 Ω m. Þar er líklegt að hitastigull sé lægri. Einkenni jarðhita í Botnsdal og Brynjudal er lágur hiti á yfirborði, 10-30°C. Efnasamsetning vatnsins gefur jafnframt til kynna að djúphiti sé ekki hár. Niðurstöður viðnámsmælinganna gefa svipaðar vísbendingar.

Jarðfræðilegar aðstæður eru hins vegar allt aðrar þar sem háviðnámið kemur fram. Hann afmarkar kjarnann í gamalli megineldstöði (Hvalfjarðareldstöð). Í kjörnum slíkra eldstöðva er bergið gjarnan orðið mjög þétt, mikið um innskot og háhitaummyndun ríkjandi frá þeim tíma að eldstöðin var virk, og saman gefur þetta mjög hátt djúpvíðnám. Í rústum svipaðra eldstöðvakerfa má þó finna nokkur af gjöfulustu lághtasvæðum landsins, t.d. Reykjasvæðið í

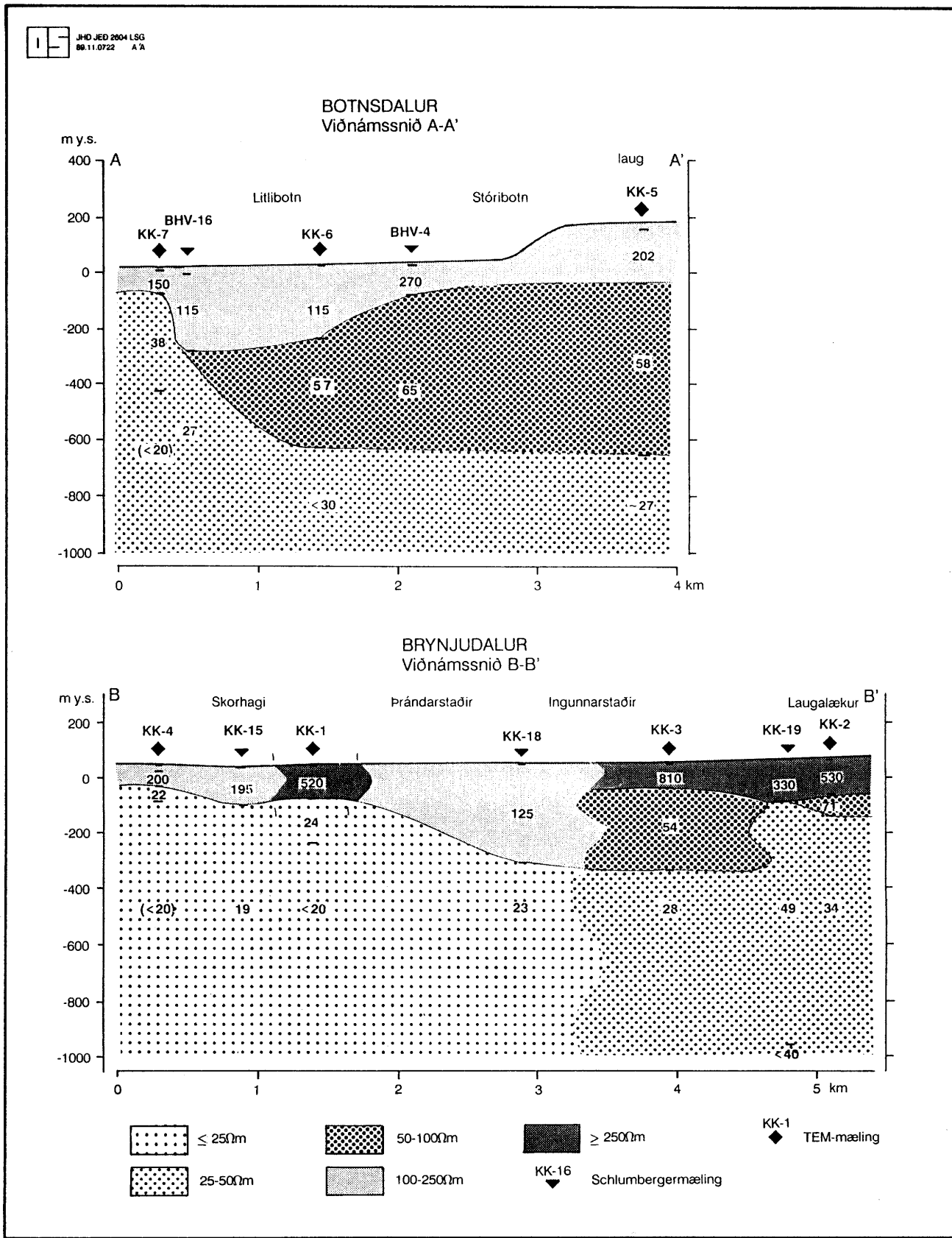
Mosfellssveit. Þetta má yfirleitt rekja til góðrar sprunguleiðni vegna virkra brotakerfa, samfara varmaupptreymi frá kólnandi kvikuhöfum á miklu dýpi. Við slíkar aðstæður þarf hátt djúpvíðnám því alls ekki að útiloka möguleika á árangri við borun, eins og sannaðist á Hvalfjarðarströnd.



Mynd 7. Staðsetning viðnámsmælinga í innanverðum Hvalfirði



Mynd 8. Eðlisviðnám bergs í innanverðum Hvalfirði á 500 m dýpi undir sjávarmáli



Mynd 9. Viðnámssnið í Botnsdal og Brynjudal

5. NIÐURLAG

Sprungur og misgengi eru þéttust á tveimur svæðum; annars vegar í vesturhluta Botnsdals og Brynjudals (hluti brotakerfis Stardalseldstöðvarinnar), og hins vegar austan Hvalvatns (vesturjaðar Prestahnúksbrotakerfis). Þar á milli er þéttleiki sprungna og misgengja mun minni. Meginstefna misgengja og sprungna er NA-SV. N-S til NV-SA sprungustefnur eru einnig áberandi og er mergð þeirra mest þar sem þéttleiki NA-SV sprungnanna er mestur.

Uppsprettur úr berggrunni, kaldar jafnt sem volgar, tengjast sprungum og misgengjum með NA-SV stefnu. Sums staðar sjást þess merki að þær spretti upp á skurðpunkti NA-SV og NV-SA sprungna. Hiti berggrunnslinda liggur á bilinu frá 4°C upp í rúmar 30°C. Rennsli þeirra er allt frá seytili upp í um 5 l/s. Volgrur finnast aðallega á tveimur svæðum (utan landareignar Stórabotns); annars vegar við Stóruhlíð í landi Þrándarstaða, og hins vegar frá Laugalæk inn undir Þrengsli í Brynjudal. Í landi Litlabotns fundust tvær óverulegar volgrur, í og vestan við Selá.

Heildarniðurstaða ferskvatnsrannsóknanna er sú að yst í Brynjudal komu vænar lindir úr lausum jarðlögum. Þær gáfu 50-60 l/s af fersku vatni þegar rannsóknin var gerð, 12. júlí 1989. Í þurrkatíð má búast við því að lindarennslíð geti farið niður í 10-20 l/s. Engar umtalsverðar kaldar lindir er að finna innar í Brynjudal og engar í Botnsdal. Hins vegar eru í báðum dölunum góðar aðstæður til að vinna allmikið af góðu ferskvatni úr áreyrum. Vinnsla jarðsjávar virðist óhæg fyrir botni Hvalfjarðar.

Nokkurt samræmi er á milli túlkunar viðnámsmælinga og sprungumergðar, þ.e.a.s. gynnra er á lágt viðnám í vesturhluta Botnsdals og Brynjudals, þar sem þéttleiki sprungusveims Stardalseldstöðvarinnar eykst. Lágt viðnám gæti bent til hærri hita á litlu dýpi miðað við austurhluta dalanna.

Á heildina litið gefa niðurstöður viðnámsmælinganna til kynna að bestar líkur á góðum árangri af borunum í Brynjudal séu utarlega í dalnum, t.d. undir Stóruhlíð, einkum ef stefnt er að því að ná verulega hærri hita en finnst á yfirborði. Hins vegar má sennilega ná miklu vatni, sem mundi henta til fiskeldis, með borunum við hitastaðina innst í dalnum. Í landi Litlabotns í Botnsdal eru líkurnar betri því utar sem reynt yrði. Þarna finnst reyndar hvergi jarðhiti á yfirborði. Við borun þyrfti að sigta á vatnsgeng brot á töluverðu dýpi.

HEIMILDIR

- Gestur Gíslason, 1981: *Efnagreiningar á jarðhitavatni úr Brynjudal í Kjós*. Orkustofnun, greinargerð GG-81/08.
- Helga Tuliníus, Lúðvík S. Georgsson, Árni Hjartarson og Hjalti Franzson, 1989: *Fiskeldisverkefni 1989 í Botnsdal og Brynjudal*. Orkustofnun, greinargerð HTul/LSG/ÁH/HF-89/05. 9 s.
- Helgi Torfason og Hrefna Kristmannsdóttir, 1985: *Jarðhiti í Botnsdal og Brynjudal í Hvalfirði*. Orkustofnun, OS-85085/JHD-44 B, Reykjavík.
- Helgi Torfason og Guðmundur I. Haraldsson, 1985: *Jarðhitakönnun í landi Þrándarstaða í Brynjudal í Kjós*. Orkustofnun, greinargerð HeTo-GIH-85/02.
- Jóhann Helgason, N.A. Van Wagoner and P.J.C. Ryall, 1990: A study of palaeomagnetism of subglacial basalts, SW Iceland: a comparison with oceanic crust. *Geophys. J. Int.*, vol 103, p. 13-24.
- Lúðvík S. Georgsson, 1985: *Höfuðborgarsvæði - Borgarfjörður. Niðurstöður viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS-85111/JHD, Reykjavík.
- Robert G. Jeffries and Barry Voigt, 1985: Fracture analysis near mid-ocean plate boundary, Reykjavík-Hvalfjörður area, Iceland. *Tectonophysics*, 76, p. 171-236.
- Trond Forslund and Ágúst Guðmundsson, 1991: Crustal spreading due to dikes and faults in Southwest Iceland. *Journal of Structural Geology*, vol. 13, No 4, p. 443-457.

VIÐAUKI

TEM-mæliferlar og túlkun þeirra

