



**ORKUSTOFNUN**

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

## **SVARTSENGI**

## **Hola SJ-17**

**Borun, rannsóknir  
og vinnslueiginleikar**

## **LOKASKÝRSLA**

**Hjalti Franzson  
Steinar Þór Guðlaugsson  
Grímur Björnsson  
Jón Örn Bjarnason  
Sverrir Þórhallsson**

**Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja**

**1999**

**OS-99036**



**Hjalti Franzson  
Steinar Þór Guðlaugsson  
Grímur Björnsson  
Jón Örn Bjarnason  
Sverrir Þórhallsson**

**SVARTSENGI - HOLA SJ-17  
Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar  
Lokaskýrsla**

**Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja**

**OS-99036**

**Desember 1999**

**ISBN 9979-68-036-9**

**ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ**

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896

Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998

Netfang: os@os.is - Veffang: <http://www.os.is>

<b>Skýrsla nr:</b> OS-99036	<b>Dags:</b> Desember 1999	<b>Dreifing:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> SVARTSENGI - HOLA SJ-17 Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar Lokaskýrsla		<b>Upplag:</b> 40
		<b>Fjöldi síðna:</b> 146
<b>Höfundar:</b> Hjalti Franzson, Steinar Þór Guðlaugsson, Grímur Björnsson, Jón Örn Bjarnason Sverrir Þórhallsson		<b>Verkefnisstjóri:</b> Sverrir Þórhallsson
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Borverk, heildarsamantekta, lokaskýrsla		<b>Verknúmer:</b> 8-630363
<b>Unnið fyrir:</b> Hitaveitu Suðurnesja		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<p><b>Útdráttur:</b></p> <p>Fjallað er um borun holu SJ-17 í Svartsengi og rannsóknir í tengslum við borunina. Holan er um 2,4 km vestan við vinnslusvæði hitaveitunnar og náði 1260 m dýpi. Holan var boruð með jarðbornum Jötni á 58 verkdögum, og var ætluð til niðurdælingar. Birt eru öll gögn og upplýsingar sem aflað var við borunina. Gangur borunar er rakinn, gerð grein fyrir jarðlögum og ummyndunarsteindum og mælingum sem gerðar voru á holunni. Jarðlög eru samblanda af hraunlögum, móbergi og innskotum, og er hægt að tengja bergmyndanir í SJ-17 við samtíma myndanir í öðrum borholum í nágrenninu. Ferskt berg nær niður á 90 m dýpi, en síðan eru hefðbundin ummyndunarbelti, neðst klórfit-epidótbelti frá 675 m niður á botn holunnar. Berghiti og brýstingur eru mjög ámota og í Svartsengiskerfinu. Opnar sprungur virðast ráða miklu um heildarporuhluta jarðhitakerfisins. Efnasamsetning djúpvökva í holu SJ-17 er mjög svipuð og í söltustu holunni í Svartsengi. Aflmælingar sýna að holan gefur um 160 kg/s við 8 bara þrýsting á holutoppi. Djúþrýstingur holunnar bendir til mikillar lektar jarðhitakerfisins, og hún gæti nýst sem ágæt vinnsluhola. Verkið er unnið samkvæmt samningi milli Hitaveitu Suðurnesja og Rannsóknasviðs Orkustofnunar.</p>		
<b>Lykilord:</b> Svartsengi, háhitavæði, borhola, niðurdæling, jarðlög, ummyndun, vatnsæðar, hiti, þrýstingur afl, efnasamsetning	<b>ISBN-númer:</b> 9979-68-036-9	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> <i>Sverrir Þórhallsson</i>	
	<b>Yfirfarið af:</b> ÁsG, JÖB	

## EFNISYFIRLIT

<b>ÁGRIP</b>	<b>3</b>	
<b>1. INNGANGUR</b>	<b>7</b>	
<b>2. STAÐSETNING HOLU SJ-17</b>	<b>7</b>	
<b>3. ÁGRIP BORSÖGU</b>	<b>7</b>	
<b>4. JARÐLÖG OG JARÐLAGAMÆLINGAR</b>	<b>15</b>	
4.1 Gosberg	15	
4.2 Innskot	28	
4.3 Jarðlagamælingar	28	
4.3.1 Inngangur	28	
4.3.2 Yfirlit um jarðlagamælingar	29	
4.3.3 Úrvinnsla og túlkun jarðlagamælinga	30	
4.3.3.1 Tölfraðileg dreifing mælinga	30	
4.3.3.2 Dýptarleiðréttigar	34	
4.3.3.3 Holuvídd	34	
4.3.3.4 Poruhluti	34	
4.3.3.5 Náttúruleg gammageislun	34	
4.3.3.6 Náttúruleg gammageislun	35	
4.3.3.7 Viðnám	35	
4.3.4 Samband poruhluta og viðnáms í vinnsluhluta holu SJ-17	35	
<b>5. UMMYNDUN</b>	<b>40</b>	
5.1 Bergummyndun	40	
5.2 Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti	44	
5.3 Ummyndunarbelti og samanburður við berghita	49	
5.4 Tímavensl útfellinga í jarðhitakerfinu	49	
<b>6. EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS</b>	<b>56</b>	
6.1 Staðsetning vatnsæða	56	
6.2 Vatnsleiðni	60	
6.2.1 Framkvæmd þepaprófana	60	
6.2.2 Úrvinnsla vatnsborðsgagna	63	
6.3 Berghiti og þrýstingur	72	
<b>7. AFLMÆLINGAR</b>	<b>76</b>	
<b>8. EFNASAMSETNING BORHOLUVÖKVA</b>	<b>79</b>	
8.1 Gas í gufu	79	
8.2 Efnasamsetning rennis	80	
<b>9. UMRÆÐA</b>	<b>82</b>	
9.1 Einkenni jarðlagastaflans	82	
9.2 Ummyndun	82	
9.2 Hlutfall sprungna í opnu holrými jarðhitageymisin	83	
9.4 Jarðfræðileg tengsl vatnsæða	85	
<b>10 HELSTU NIÐURSTÖÐUR</b>	<b>89</b>	
<b>HEIMILDIR</b>	<b>90</b>	
<b>VIÐAUÐKAR</b>		
Viðauki 1	Dagsskýrlur (Bortíðindi)	93
Viðauki 2	Mælingar bormanna á dælingu, skoltöpum, þrýstingi og skolvatnshita	121
Viðauki 3	Fóðringaskýrlur Jarðborana hf.	125
Viðauki 4	Jarðfræðigögn: Listi yfir þunnsneiðar - Listi yfir röntgengreiningar	133
Viðauki 5	Jarðlagamælingar í borholum - markmið og aðferðir	135
Viðauki 6	Dreifing poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar bergflokki	137
Viðauki 7	Eðlisviðnám bergs á íslenskum jarðhitasvæðum	145

## MYNDIR

1. Staðsetning holu SJ-17	10
2. Gangur borunar	11
3. Frágangur á kjallara og holutopps SJ-17	12
4. Lokafrágangur holu SJ-17	13
5. Skoltóp	14
6. Jarðlagasnið og mælingar	19
7. Einfaldað jarðlagasnið, mælingar og ummyndunarbelti	26
8. Tölfræðileg dreifing a) poruhluta, b) 64" viðnáms og c) náttúrul. gammageislunar í vinnsluhluta holu SJ-17	32
9. Yfirlit um dreifingu a) poruhluta, b) 64" viðnáms og c) náttúrul. gammageislunar í þeim berggerðum sem greindar hafa verið í vinnsluhluta holu SJ-17	33
10. Samband viðnáms og poruhluta í vinnsluhluta SJ-17. a) Öll mæligildi b) Meðaltöl og miðgildi bergflokkanna á mynd 4.3.2 ásamt dreifingu mæligildanna um miðgildin c) Bestu línum gegnum meðaltöl og miðgildi bergflokkanna á mynd 4.3.2.	38
11. Samanburður á mældum og reiknuðum poruhluta í vinnsluhluta holu SJ-17	43
12. Bergummyndun og fylling holrýmis	43
13. Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti	51
14. Afstætt magn pýríts og epidóts	52
15. a) Skematísk mynd sem sýnir afstæðan aldur útfellinga í holrými b) Fjöldi steinda í holrými.	53
16. Afstæð tímaröðun ummyndunarsteinda	54
17. Sprungufyllingar í svarfi	55
18. Staðsetning vatnsæða	59
19. Vatnsborð holu SJ-17 í þrepum, mældum í borlok	61
20. Vatnsborð holu SJ-17 í fyrra þrepaprófi	61
21. Vatnsborð holu SJ-17 í síðara þrepaprófi	63
22. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 við lok borunar. Annað þrep	65
23. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 við lok borunar. Þriðja þrep	66
24. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í fyrra þrepaprófi. Annað þrep	66
25. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í fyrra þrepaprófi. Þriðja þrep	67
26. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í fyrra þrepaprófi. Ádæling stöðvuð	67
27. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Annað þrep	68
28. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Ádæling stöðvuð	68
29. Mælt og reiknað vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Ádæling stöðvuð. Áhrif tregðu	69
30. Eininganiðurdráttur í þrepaprófunum holu SJ-17	69
31. Allar hitamælingar í holu SJ-17	70
32. Allar þrýstimælingar í holu SJ-17	71
33. Berghiti og þrýstingur í holu SJ-17	74
34. Samanburður ummyndunarhita og mælds hita	75
35. Saga topp- og botnþrýstings og heildarrennslis úr holu SJ-17	77
36. Samband rennslis og toppþrýstings holu SJ-17 í júlí 1999	78
37. Samband rennslis og þrýstings á 1100 m dýpi í SJ-17 í júlí 1999	78
38. Samanburður jarðлага SJ-17 við Eldvörp, Svartsengi og Stað	86
39. Samanburður ummyndunar í holu SJ-17 við Eldvörp, Svartsengi og Stað	87
40. Möguleg tengsl vatnsæða við jarðfræði	80

## TÖFLUR

1. Halli og lárétt hliðrun holu SJ-17	9
2. Yfirlit um jarðlagamælingar í holu SJ-17	29
3. Yfirlit um dreifingu poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar í berggerðum sem greindar hafa verið í vinnsluhluta holu SJ-17	31
4. Skekkja í viddarmælingum	34
5. Stuðlar bestu lína gegnum mælipunktana á myndum 4.3.3a og c ásamt tilheyrandi gildum fyrir viðnám poruvökvars og Archie-stuðulinn m	37
6. Ummyn dun á a) gleri, b) ólivíni, c) plagióklasa og d) magnetíti	41
7. Eiginteikar grunnvatnslíkana sem herma þrepaprófanir í holu SJ-17	64
8. Áætlaður berghiti og þrýstingur við holu SJ-17 haustið 1998	72
9. Styrkur koldíoxíðs ( $\text{CO}_2$ ) og brennisteinsvetnis ( $\text{H}_2\text{S}$ ) í gufu	79
10. Efna samsetning vatns, gass og þéttivatns úr holu 17	80
11. Styrkur efna (mg/kg) í djúpvatni holu 17 í Svartsengi	81

## ÁGRIP

Hola SJ-17, sem ætluð er til niðurdælingar, er um 2,4 km vestan við vinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi. Henni var valinn staður m.a. með tilliti til lágs viðnáms, sem þarna mælist og er vísbending um háhita á litlu dýpi. Holan var boruð í fjórum áföngum á tímabilinu frá 30. mars til 13. maí 1998 og tók borunin 58 verkdaga. Fyrsta stig borunarinnar var höggborun niður á 70 m dýpi með 24" hamri og fóðrun með 22" rörum. Síðan tók jarðborinn Jötunn við og boraði fyrir öryggisfóðringu niður á 400 m dýpi (m.v. drifborð) með 21" krónu. Var holan þá fóðruð með 18 5/8" steyptri fóðringu. Þar næst var borað með 17 1/2" krónu niður í tæpa 797 m og 13 3/8" vinnslufóðring steypt niður undir það dýpi. Síðasti hlutinn var borun vinnsluhluta holunnar með 12 1/4" krónu niður í 1260 m, en hann var síðan fóðraður með raufuðum leiðara.

Megineinkenni jarðlagastaflans eru fjögur tímabil móbergsupphleðslu (jökulskeið) með hraunlagamýndunum (hlýskeiðum) á milli. Tvö innskot (berggangar) eru í holunni og vísbendingar eru um það þriðja nærrí holunni. Dreifing ummyndunarsteinda bendir til að smektít-zeólítabeltið nái niður á um 500 m dýpi, blandlagsbeltið á 660 m og klórít-epidótbeltið þaðan og niður á botn holunnar. Ummyndunin gefur til kynna svipaðan hita og líklegur berghitaferill. Vísbendingar eru þó um að jarðhitakerfið hafi kólnað eilítið neðan 700 m dýpis og jafnvel milli 200 og 400 m dýpis. Ummyndunarhitinn bendir einnig til að jarðhitakerfið hafi ekki náð suðuhita. Kerfisbundin athugun á aldursröðun útfellinga í jarðhitakerfinu bendir til hægt vaxandi hita með tíma. Yfirbragð ummyndunarinnar sýnir fá merki um mikla hræringu í jarðhitakerfinu þrátt fyrir töluverðan hita.

Vatnsæðar sem holan sker virðast tengjast lóðréttum sprungum við two bergganga og svo lóðréttum sprungum í neðsta hluta holunnar. Prepaprófanir sýndu að holan örvaðist við endurtekna dælingu á köldu vatni milli tímabila upphitunar. Í síðustu þrepidælingunni tók hún við 130 l/s, og reyndist viðnámsstuðull vatnsæðanna í lok þrepidælfana vera 2,3 m/(l/s), sem þykir góð niðurstaða ef miðað er við aðrar Svartsengisholur. Styrkur gass í gufu í sýnum sem tekin voru er holan var afkastamæld þykir benda til að rennslið inn í holuna sé að einhverju leyti tvífasa. Efnasamsetning djúpvökvars í holu 17 er mjög svipuð og í söltustu holunni í Svartsengi, holu 9. Samanburður á þrýstingi í holu 7 og 17 bendir til að samgangur á milli svæðanna sé afar góður, og er það í samræmi við viðteknar hugmyndir um samtengingu Eldvarpa og Svartsengis. Aflmælingar sem gerðar voru sýna að holan gefur um 160 kg/s við 8 bara þrýsting á holutoppi. Djúppþrýstingur holunnar svarar rennslisbreytingum fljótt, og bendir það til mikillar lektar og rýmdar jarðhitakerfisins við holuna. Sýnt þykir því að holan er hin ágætasta vinnsluhola.

## **1 INNGANGUR**

Niðurdælingarholan SJ-17 var boruð um 3 km vestan við orkuverið í Svartsengi með jarðbornum Jötni. Markmið borunarinnar var að finna hentugan stað til að dæla niður vökva í jarðhitakerfið til að halda uppi þrýstingi í svæðinu.

Holan var boruð á 58 verkdögum og náði hún 1260 m dýpi. Frumgögn um rannsóknir á holunni eru geymd hjá Rannsóknasviði Orkustofnunar. Þessi skýrsla greinir frá niðurstöðum rannsókna sem gerðar voru við borunina sjálfa og upphleypingu holunnar. Fyrst er tæpt á forsendum staðsetningar og helstu atriðum við borun, og síðan er skýrt frá jarðfræði- og jarðeðlisfræðilegum rannsóknum, sem fengust með athugunum á svarfsýnum og borholumælingum. Þar næst er umfjöllun um vatnsæðar í holunni, svo sem staðsetningu þeirra, jarðfræði, hita, þrýsting og væntanlega vatnsgæfni. Þá er gerð grein fyrir upphleypingu holunnar, afli hennar og efnasamsetningu rennis. Að lokum er reynt að setja fram heildstæða mynd af því jarðhitakerfi sem borholan sker. Í viðauka eru birtar dagskýrslur Orkustofnunar sem dreift var með rafþósti og lýsa framvindu verksins og rannsóknum á borstað. Allar dýptartölur í holunni eru miðaðar við drifborð Jötuns, nema annað sé tekið fram.

Verkið var unnið samkvæmt samningi 630360-1998 milli Hitaveitu Suðurnesja og Rannsóknasviðs Orkustofnunar dagsettum 21.04.1998.

## **2 STAÐSETNING HOLU SJ-17**

SJ-17 er fyrsta holan á vinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi sem sérstaklega er boruð til niðurdælingar. Þetta er jafnframt fyrsta niðurrennslisholan hér á landi sem boruð er gagngert í þeim tilgangi. Henni var valinn staður um 3 km VSV við orkuverið. eins og sýnt er á mynd 1. Forsendur þeirrar staðsetningar voru í fyrsta lagi niðurstöður forðafræðilíkans verkfræðistofunnar Vatnaskila (1997), sem sýndu nauðsyn þessarar fjarlægðar til að sporna gegn kælingaráhrifum niðurdælingar. Í öðru lagi var vitað um gott þrýstisamband jarðhitakerfis Eldvarpa og Svartsengis. Landsig sem afleiðing jarðhitavinnslu bendir einnig til samtengingar þessara svæða. Þýdingarmestu rökin fyrir staðsetningunni voru niðurstöður viðnámsmælinga á þessu svæði, sem sýna lágvíðnámsrennu á litlu dýpi á milli þessara jarðhitakerfa. Undir þessari lágvíðnámsrennu liggar hávíðnámskjarni sem bendir til klórít-epidót ummyndunarbeltis ( $>250^{\circ}\text{C}$ ). Holan er staðsett rúmum 100 m norðan háhryggs viðnámsrennunarr.

## **3 ÁGRIP BORSÖGU**

Holan var boruð með jarðbornum Jötni samkvæmt samningi Hitaveitu Suðurnesja og Jarðborana hf. Áður en Jötunn var fluttur á staðinn hafði holan verið forboruð með höggbor niður á 70 m dýpi og hún fóðruð með 22 1/2" rörum. Einnig höfðu tvær vatnsholur verið boraðar vestan í borplaninu til að sjá bornum fyrir skolvatni. Holurnar skiluðu ísoltu vatni vegna þess að þær náðu niður í jarðsjávarlagið og voru

fóðraðar með heilum rörum sem náðu of djúpt. Eðlisleiðni vatnsins mældist um 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  og var því ferskvatn flutt á borstað í tankbílum fyrir steypingu fóðurröra.

Lýsing á hönnun holunnar og aðstæðum til borunar var unnin af Orkustofnun árið 1998 og er að finna í greinargerð Sverris Þórhallssonar (1997). Holan er hönnuð í þeim tilgangi að taka við affallsvatni frá orkuverinu í Svartsengi og er því nefnd niðurdælingarhola. Hér er um holu að ræða með víðum fóðurrrorum, og svipar henni til vinnsluholna í Svartsengi. Af öryggisástæðum var holan hönnuð með þremur steyptum fóðringum, en í holum boruðum um 1980 voru tvær. Þessi ákvörðun var tekin í ljósi þess að suðusvæði (gufupúði) hefur myndast ofan 650 m í Svartsengi með um 25 bar þrýstingi, en því varð að setja um 250 m öryggisfóðringu í holuna. Ekki var talin þörf á að hafa gataðan leiðara neðst í niðurdælingarholum, en í þessu tilviki var leiðari settur í holuna í verklok þar eð áhugi var einnig á að láta hana blása sem vinnsluholu. Því má segja að niðurdælingarholan SJ-17 sé nánast eins og aðrar vinnsluholur sem boraðar voru 1998 í Svartsengi. Á myndum 2 og 3 er sýnt þversnið af holu SJ-17 eins og hún stendur fullgerð, svo og frágangur á holutoppi. Mynd 4 sýnir svo lokafrágang holunnar.

Borverk hófst 17. mars og lauk 13. maí og tók alls 58 verkdaga. Af þessu fóru tvær vikur í að reisa borinn og koma honum í lag. Verkdagar við borunina sjálfa voru því 43. Á mynd 2 er sýnd framvinda verksins, þ.e. bordýpi að loknum hverjum verkdegi. Þar kemur glögglega í ljós að borunin var áfallalaus. Borun var einungis stöðvuð meðan verið var að fóðra og steypa fóðringar á 392 m og 776 m dýpi. Í viðauka eru birtar dagskýrslur staðarjarðfræðings og borholumælingamanna Orkustofnunar, sem dreift var daglega. Þar er greint frá framvindu verksins, jarðfræðirannsóknum sem fram fóru á borstað og niðurstöðum borholumælinga. Eftirlit með framkvæmd borsamningsins annaðist Hitaveita Suðurnesja sjálf. Af þeim sökum er ekki talin þörf á að lýsa borsögunni í smáatriðum í þessum kafla, heldur er hér drepið á atriði sem þykja markverð um verkið og þann árangur sem náðist.

Miklu réð um framvindu verksins hve þétt jarðlögin reyndust ofan 500 m dýpis. Þétt jarðög á þeim kafla sem fóðraður var af eru af hinu góða og auðvelda borun og minnka tap á borleðju. Ennfremur stuðlaði þetta að því að fóðurrorin steyptust vel. Borleðja var notuð við borun fyrir öryggisfóðringunni og einnig mestan hluta borunar fyrir vinnslufóðringu. Þegar örlítils taps fór að gæta var holan þétt með því að bæta við glimmerflögum út í leðjuna. Undir lok borunar fyrir vinnslufóðringu (>700 m) var hætt að nota leðju því áhugi var á að kanna hvort skoltap kæmi fram þegar leðjunnar nytí ekki lengur við. Við vatnsborunina þurfti að nota þrjár bordælur og var skolmagnið aukið í 73-75 l/s, en hafði aðeins verið um þriðjungur þess við leðjuborunina. Prátt fyrir aukna dælingu gekk illa að hreinsa botnfall úr holunni fyrir fóðrun hennar, og var 13 m botnfall skilið eftir. Að baki þessum áhuga á skoltapi lá ósk um að ljúka boruninni á 800 m dýpi, með öryggisfóðringu í 400 m, en enga vinnslufóðringu. Þar með hefði sparast bortími og talsvert af fóðurrrorum. Gert var ráð fyrir í verklýsingunni að freista þess að bora holuna hálfa en fá samt nýtanlega niðurdælingarholu (svonefndan hálfvita). Þetta gekk þó ekki eftir, og því var vinnslufóðringin sett í holuna til að unnt yrði að bora dýpra.

Neðan 145 m dýpis er vinnslufóðringin samsett úr gömlum fóðurrrorum, sem legið höfðu ónotuð frá árinu 1981 á plani úti við Eldvörp. Þau voru orðin talsvert ryðguð,

og var ryðskánin barin úr þeim að utan og innan. Einnig þurfti að yfirfara allar gengjur, en sumar þeirra höfðu skemmt af völdum vatns, sem náð hafði að smjúga inn undir hlífðarmúffurnar. Rörin voru þrátt fyrir þetta talin heilleg og nothæf.

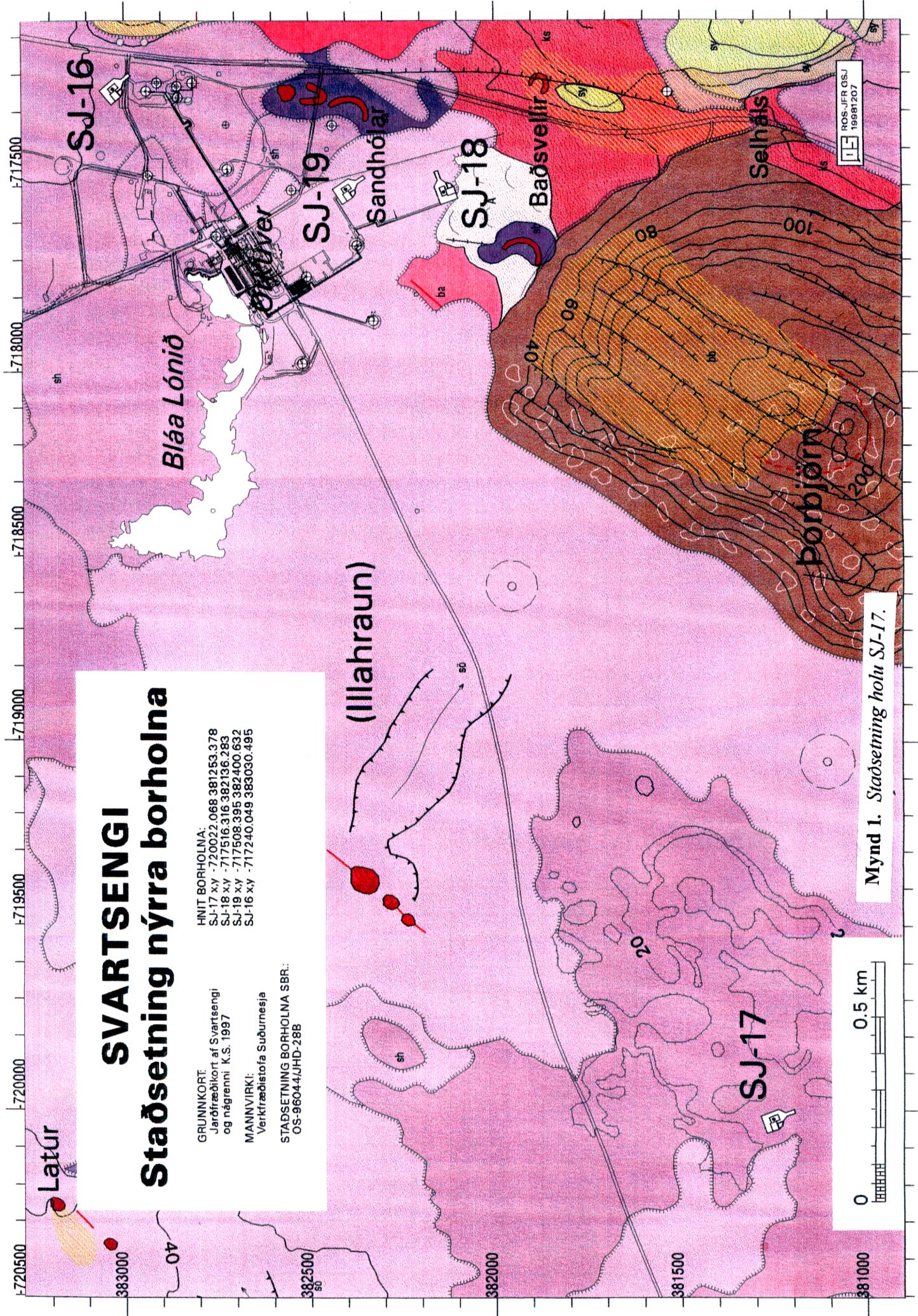
Vel gekk að steypa öryggisfóðringuna en mun erfiðara var að steypa vinnslufóðringuna. Skoltöp í lok borunar voru tærir 40 l/s. Við fyrstu steypingu opnaðist holan enn meira og gleymið alla steypu sem dælt var í hana, eða um 77 tonn. Ádæling kalds vatns utan með sýnir að vatnið fór að miklu leyti í botn holunnar en nokkuð tapaðist á 500 m dýpi. Því var brugðið á það ráð að steypa utan með. Þurfti fjórar steypur til og alls 66 tonn. Viss áhætta er að steypa ofan frá því vatnspokar geta myndast á milli laga og síðar leitt til fóðurroraskemmda þegar holan hitnar. Í þessu tilfelli virtist þetta ekki hafa komið að sök, því steypugæðamæling (CBL) sem gerð var að lokinni steypingu sýndi samfellda steypu. Yngsta steypan hafði þó ekki náð að fullharðna og er niðurstöðum lýst í dagskýrslu frá 3. maí.

Við áframhaldandi borun neðan fóðringar voru skoltöp lítil þar til komið var í 1222 m dýpi en þá tapaðist allt skolvatnið. Mæld skoltöp eru sýnd á mynd 5, og í töflu í viðauka eru sýndar allar mælingar bormanna meðan á borun stóð. Endanlegt dýpi holunnar varð 1260 m. Holan var þrepaprófuð áður en jarðlagamæling fór fram og var dæmd nægilega opin til að gagnast sem niðurdælingarhola. Þá var talið að barmafull tæki hún við 90 l/s af köldu vatni. Raufaður leiðari var settur í holuna, því einsýnt var að hún væri í góðu jarðhitakerfi.

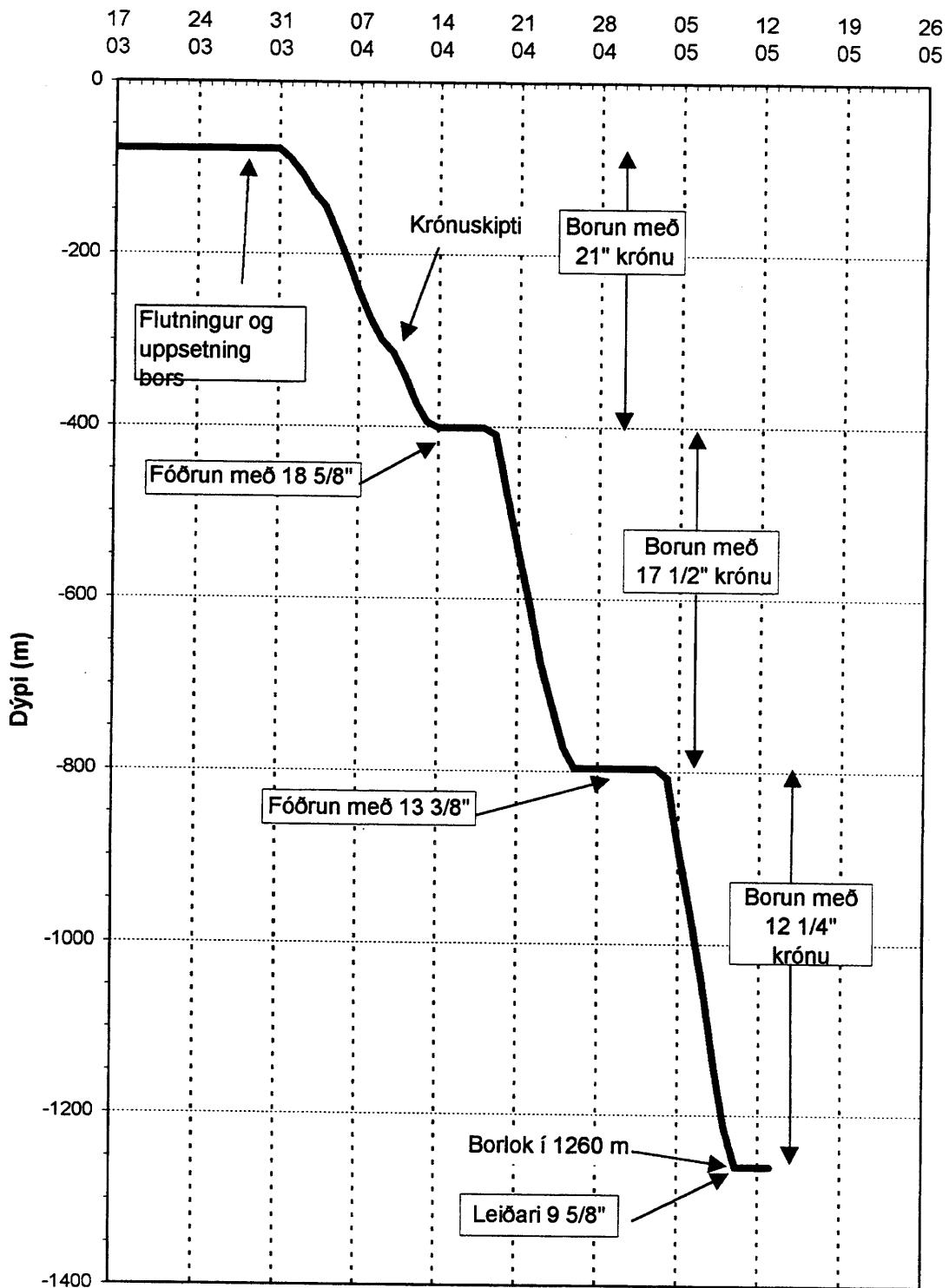
Hallamælingar voru gerðar með reglulegu millibili meðan á borun holunnar stóð og eru niðurstöður þeirra sýndar í töflu 1. Hallinn er mestur tæplega  $4^{\circ}$  frá lóðréttu. Mesta láréッta hliðrun holunnar í botni er um 62 m, ef sú forsenda er gefin að holan hallist í eina átt. Skýrslur borstjóra um fóðringar í holunni eru sýndar í viðauka 3. Tafla sem sýnir mælingar bormanna (dælingu, skoltöp, skolvatnshita) er einnig birt í viðauka 2.

**Tafla 1.** Hola SJ-17. Hallamælingar og reiknuð mesta láréッta hliðrun holunnar.

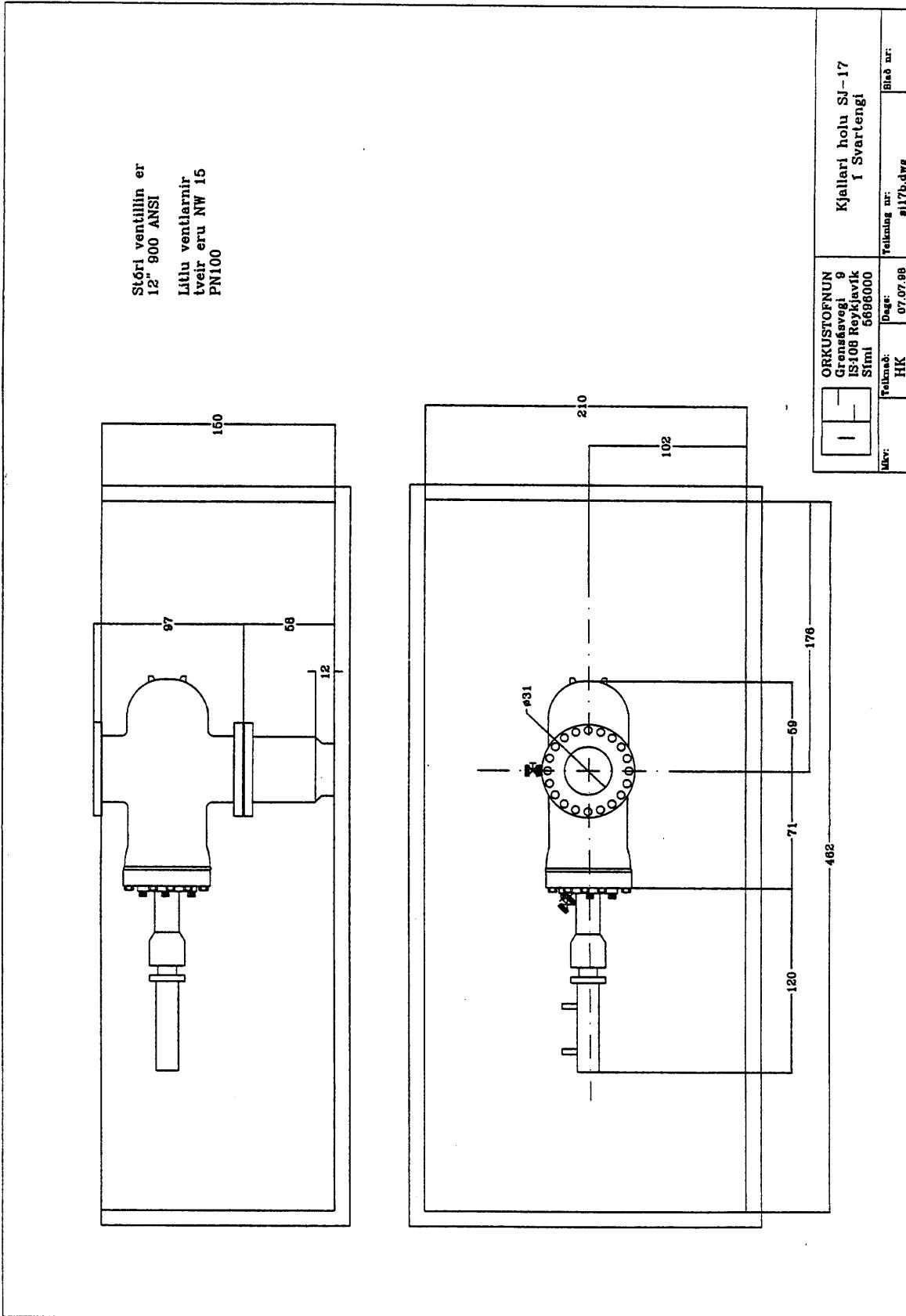
Dýpi	Halli	Hliðrun	Samt. hliðrun
-0 m	0,0°	0 m	0 m
-150 m	0,5°	1 m	1 m
-200 m	1,2°	1 m	2 m
-250 m	1,4°	1 m	4 m
-300 m	3,0°	3 m	6 m
-350 m	2,5°	2 m	8 m
-450 m	2,4°	4 m	13 m
-550 m	3,0°	5 m	18 m
-650 m	2,8°	5 m	23 m
-800 m	3,8°	10 m	33 m
-900 m	3,2°	6 m	38 m
-1000 m	3,7°	6 m	45 m
-1100 m	3,8°	7 m	51 m
-1260 m	3,8°	11 m	62 m



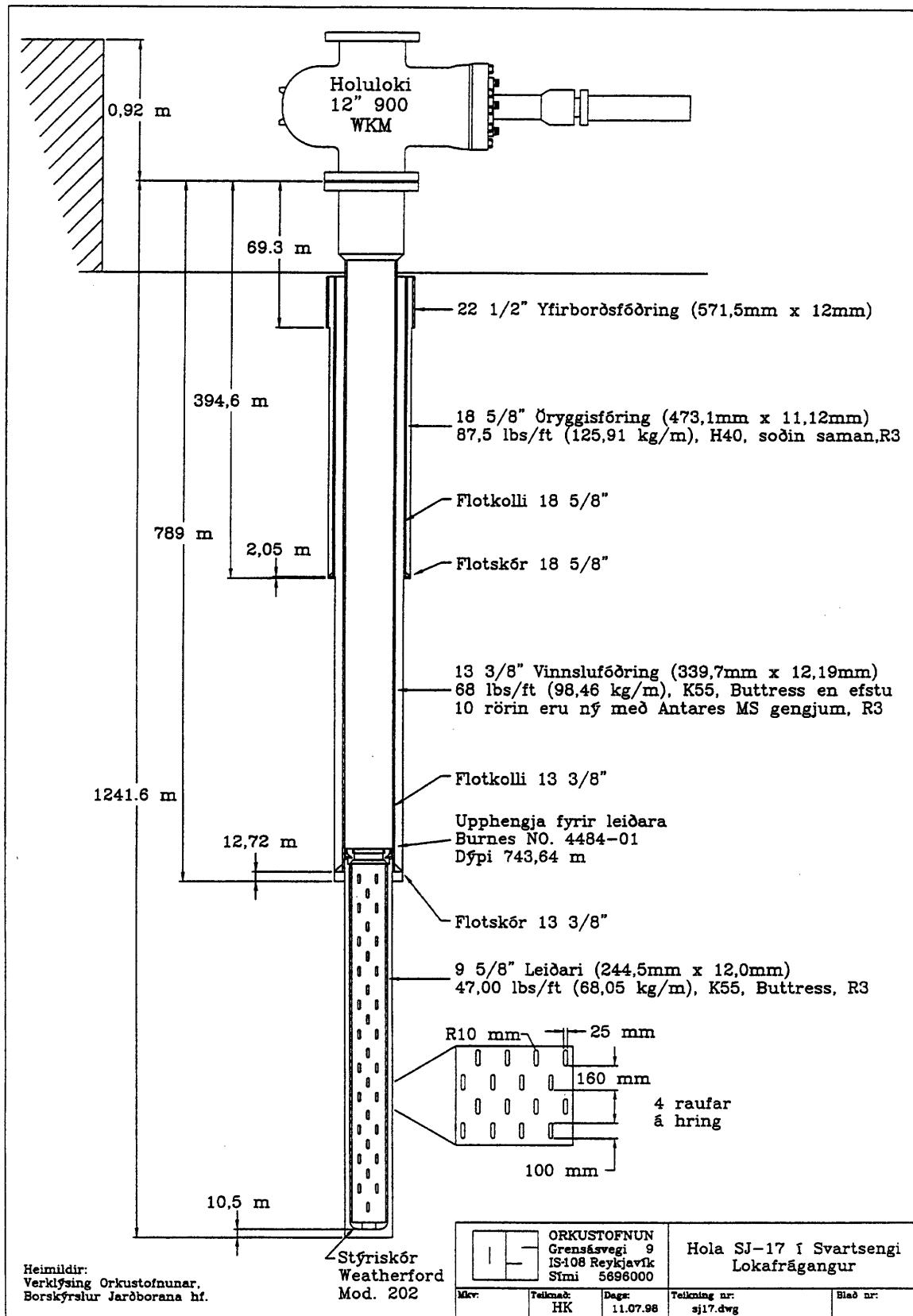
### Dagsetningar 1998



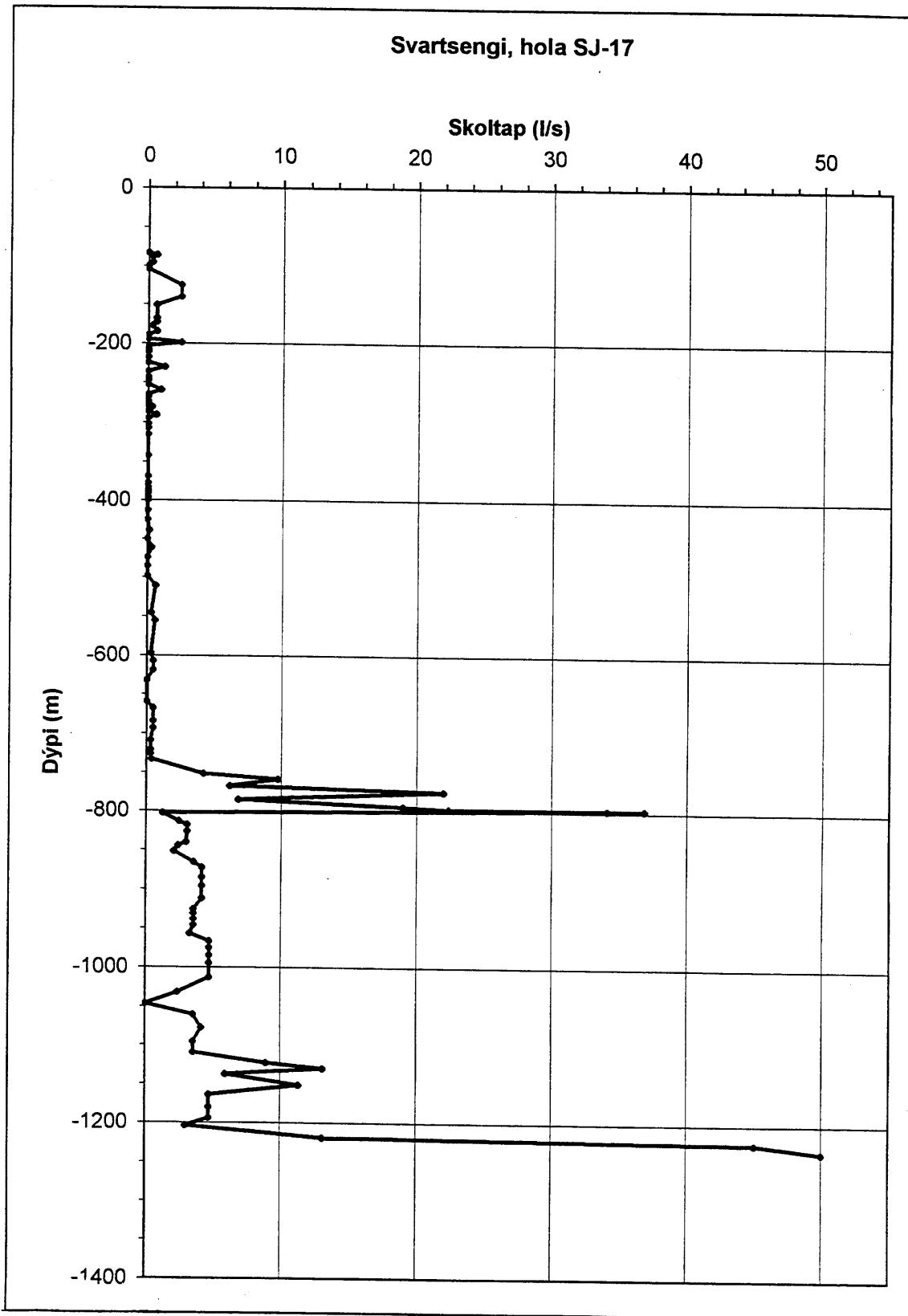
Mynd 2. Gangur borunar holu SJ-17.



**Mynd 3.** Frágangur kjallara og holutopps SJ-17.



Mynd 4. Lokafrágangur holu SJ-17.



**Mynd 5. Skoltöp í SJ-17.**

## 4 JARÐLÖG OG JARÐLAGAMÆLINGAR

Borsvarfi var safnað í 125 ml dósir á 2 m bili, eins og venja er, og jarðlög greind samtímis því sem borað var. Upplýsingar, sem þannig fengust á borstað, voru m.a. nýttar við mat á jarðlagagerð, vatnsæðum og hitaástandi í jarðhitageyminum. Nánari úrvinnsla á borsvarfinu var gerð síðar á rannsóknarstofum Orkustofnunar, þar sem meðal annars var stuðst við þunnsneiðaskoðun. Á mynd 6 er jarðlagasnið holunnar sýnt ásamt borhraða, vatnsæðum, svo og víddar- og jarðlagamælingum. Mynd 7 sýnir einfaldað jarðlagasnið og -mælingar ásamt ummyndunarbeltum. Jarðlögum við holuna hefur verið skipt í upphleðslueiningar og er skiptingunni gerð skil í kafla 4.1 hér á eftir, en síðan gerð grein fyrir innskotum í jarðlagastaflanum í kafla 4.2.

Við túlkun á uppbyggingu jarðlagastaflans var stuðst við greiningu borsvarfs og jarðlagamælingar, sem gerðar voru í lok hvers áfanga. Jarðlagamælingar eru mælingar á ýmsum eðliseiginleikum bergsins í borholuveggjunum, svo sem náttúrulegri gammageislun og rafviðnámi. Vatnsinnihald bergsins er fundið með nifteindamlælingu. Nánar er fjallað um þessar mælingar í kafla 4.3.

### 4.1 Gosberg

Í þessum kafla er lýst helstu einkennum berglagastaflans í holu SJ-17. Honum hefur verið skipt upp í sjö upphleðslueiningar. Af þeim eru fjórar móbergsmyndanir og þrjár hraunlagamyndanir.

#### *Hraunlagamyndun 1. 0-412 m*

Þessum hraunlagastafla er unnt að skipta í að minnsta kosti sjö smærri einingar á grundvelli mismunandi hraunlagagerðar.

- a. Ólivín-þóleiít hraunlög 0-22 m. Þessi tvö hraunlög eru meðal-grófkorna ólivín-þóleiít, það efra er plagíóklasdílótt.
- b. Pikrít hraunlög 22-ca. 46 m. Líklegast eru hér tvö hraunlög, bæði meðal- til grófkorna. Kristöllun er meira jafnkorna en í ólivín-þóleiítinu, en auk þess sjást plagíóklas-, pýroxen- og ólivíndílar í bergen. Ólivín er algeng steind í bergen og líklegast er efnasamsetningin svonefnt pikrít, sem er kvíkutegund sem hefur þróast minnst á leið sinni úr möttlinum. Við efra borð hraunlaganna varð vart við nokkra oxun í bergen, sem fellur nokkuð vel saman við vatnsborð á 26 m dýpi. Þessi oxun heldur áfram neðar í berglögin, þar til hún hverfur að einhverju leyti í jarðhitaummyndunina.
- c. Ólivín-þóleiít hraunlög ca. 50-84 m. Ekki er ljóst hve mörg lög teljast til þessarar hraunlagasyrpu þar sem svarfsýni vantar á tveimur stöðum. Hraunlögin eru meðal-grófkorna og dílalaus. Freistandi er að álykta að þessi hraunlög tilheyri svonefndri Sandfellshæðardyngju sem hefur miðju rétt vestan við Eldvörp. Hún er að mati Kristjáns Sæmundssonar um 12.000 ára gömul. Engin merki finnast um að hún hafi í upphafi gosið undir sjó, en við þær aðstæður hefðu myndast móbergsbreksíur. Botn dyngjunnar er nú kominn á um 84 m dýpi sem merkir í

raun að land á þessum stað í gosbeltinu hafi sigið að minnsta kosti 60 m síðustu 12.000 ár, en það er um 5 m sig á hverjum 1.000 árum.

- d. Pikrít hraunlög 84-106 m. Á þessu dýpi finnast fjögur hraunlög. Þau eru fín-meðalkorna, fremur þétt, plagióklas-, pýroxen- og ólivíndilótt hraunlög. Kristöllunin bendir til að hraunlögin geti verið pikrít.
- e. Ólivín-þóleiít hraunlög 106-220 m. Þessum lögum má skipta í tvær einingar, en á milli þeirra er setkennt túff á 150-168 m dýpi. Í efri hlutanum er basaltið meðalgrófkorna ólivín-þóleiít. Basaltlöggin eru dílalaus nema það efsta, sem líklega er plagióklas- og ólivíndilótt. Setlöggin tvö (samtals rúmlega 10 m þykk) eru túffkennd, og aðskilin af þunnu hraunlagi. Þessi lög eru einu setlögin sem sjást í hraunlagabunkanum allt niður á tæplega 400 m dýpi. Hugsanlega geta þessi lög tengst síðasta jökulskeiði, sem merkir að á þeim tíma hafi ekkert gosið undir jökli. Því til stuðnings eru um 30 m þykk túfflög á svipuðu dýpi í holum við Stað, um 5,5 km suðvestan SJ-17. Neðan setlaganna tveggja koma nokkur misþykk ólivín-þóleiít hraunlög niður á 220 m dýpi, nema á 288-290 m þar sem hraunið er líklegast úr pikrítí.
- f. Dyngjusyrpa 220-330 m. Hraunin, sem eru að minnsta kosti átta að tölu, eru mjög keimlísík; meðal-grófkorna ólivín-þóleiít. Líklegt er, að holan liggi hér í gegnum ólivín-þóleiít dyngju.
- g. Þóleiít hraunlagasyrpa 330-412 m. Við 330 m dýpi verður áberandi breyting á hraunlögunum, þau verða mun fínkornaðri með jafnkorna kristöllun, þéttari og líkari þóleiíti í kristöllun, og jafnframt verða þau miklu ferskari og minna ummynduð. Pennan mun á ólivín-þóleiítinu fyrir ofan og þessu þóleiíti er væntanlega unnt að skýra með því að það fyrrnefnda hefur mun hærri poruhluta en það síðarnefnda. Vegna þessa hefur jarðhitavökvinn mun greiðari aðgang að bergeninu en ella. Þessi þóleiít hraunlög ná niður á 412 m dýpi, og eru löggin líklegast um átta að tölu. Um 5 m túffset finnst ofan á neðsta hraunlaginu.

#### Móbergsmýndun 1. 412-593 m

Móberginu má skipta í tvær aðskildar einingar eða tvö eldgos undir jökli, þar sem sú efri er gerð úr dílalausu móbergi en sú neðri er plagióklasdilótt. Dílar verða til þegar kvikan byrjar að kristallast áður en hún kemur til yfirborðs. Þannig myndast kristallar af tveimur stærðum, hinir stærri eru dílarnir, en minni kristallarnir (grunnmassinn) myndast við hraðari storknun kvíkunnar á yfirborði. Dílar í hraunlögum eða móbergi eru gott kenni þegar reynt er að tengja jarðlög á milli hola. Slík jarðlög kallast leiðarlög, og eru tekin sérstaklega fyrir í jarðlagalýsingu. Móbergsmýndunarinnar eru líklegast samtíma þeim myndunum sem finnast á svipuðu dýpi í Svartsengi, og einnig koma fram sams konar skil á líku dýpi í borholunum við Stað suðvestan SJ-17. Neðri mörk móbergsins mynda því mjög gott leiðarlag. Sú tilgáta hefur verið sett fram að botn móbergsmýndunarinnar marki upphaf þriðja síðasta jökulskeiðs, en það var fyrir um 300.000 árum. Ef svo er, segir það í raun að land sígur að meðaltali um 2 m á hverjum þúsund árum. Hraunlögin neðan móbergsmýndunarinnar (neðan 593 m dýpis) segja enn fremur að yfirborð á þeim tíma hafi verið ofan sjávarmáls.

- a. Olivín-bóleiít móbergstúff 412-482 m. Þetta móbergstúff, sem telst vera ólivín-bóleiít, hefur nokkur seteinkenni í efstu 10 metrum myndunarinnar, en þar fyrir neðan verður það venjubundið glerríkt túff. Túlkun borholumælinganna bendir hins vegar til þess að settúffið nái yfir dýptarbilið 424-475 m. Glerið hefur ummyndast að mestu leyti í leir. Þótt glerið hafi ummyndast að miklu leyti ber það lítil merki um gegnumstreymi jarðhitavökva. Í neðri hluta þess verður það mjög oxad, sem skýrist af hitaáhrifum frá berggangi sem holan sker þar nærrí.
- b. Plagíoklas-dílótt móbergstúff og breksía 482-593m. Móbergið er ólivín-bóleiít, en sker sig frá efra túffinu vegna áberandi plagíoklasdila, eins og áður er getið, sérstaklega í efri hlutanum, en verður meira stakdílótt er neðar kemur. Móbergið er þrískipt; túff er ráðandi niður á 502 m dýpi, þar neðan við verður það breksíulegra (líklegast bólstrabreksía). Neðri mörk breksíunnar eru óglögg 'þar sem basaltinnskot skermar af þau skil, en líklegast eru þau á bilinu 532-546 m. Neðsti hluti móbergsins einkennist af túffi, og nær niður á 593 m dýpi.

#### Hraunlagamyndun 2. 593-847 m

Þessum jarðlagastafla er skipt í þrjá hluta, efst eru hraunlög úr ólivín-bóleífti, næst 30 m þykkt túffset, og neðst eru mestmagns bóleíft hraunlög.

- a. Blönduð hraunlög 593-662 m. Á þessu dýptarbili greinast um tólf hraunlög. Það fyrsta er líklegt bóleíft, en næstu fimm svipar meir til ólivín-bóleífts. Þar neðan við eru hraunlögin jafnkorna og fínkorna og því líkari bóleífti.
- b. Móbergsset og breksía 662-692 m. Efri 20 m eru úr túffi með seteinkennum. Þessi túffgerð hefur fundist víða í tengslum við móbergsmyndanir. Tenging þessa túffs við set er e.t.v. nokkuð misvísandi. Einkennin, sem hliðsjón er höfð af við nafngiftina, eru þau að glerkornin í túffinu eru yfirleitt smá, þeim er pakkað saman og þau samlímd í einhvers konar millimassa. Móbergstúff, sem líklegt er að samsvari þessu, hefur verið rannsakað í Surtsey af Sveini Jakobssyni (1996). Þannig túff er vel lagskipt og loftborið og upprunnið úr því gjóskuskýi sem fylgir gosi undir vatni. Millimassinn er svonefnt 'gel-palagonít', en það er gler sem dregið hefur til sín 5-10% vatn. Slíkt gler er myndlaust og svo viðkvæmt fyrir hita og efnahvörfum að það ummyndast mjög fljótt. Orðið settúff ætti ef til vill frekar að nefnast gjóskutúff, því það hefur ekki borist langt í brott frá gosstöðvunum, og er eiginlegur hluti af gosmynduninni. Neðstu 10 m eru móbergsbreksía. Nokkur hluti af svarfinu af þessu dýptarbili er líklegt innskot, og er breksían við jaðra þess mjög rauðoxuð, vegna hitaáhrifa frá innskotinu.
- c. Póleíft hraunlög 692-847 m. Hraunlögin eru 15-20 að tölu, í efri hlutanum eru fínkorna og jafnkorna lög ráðandi og því líklega úr þóleífti, nema efsta hraunlagið sem telst vera ólivín-bóleíft. Neðan tæplega 820 m dýpis ber meira á plagíoklas-/pýroxen dílóttum hraunlögum. Tvö breksíulög koma fram, það eftir á 729-752 m dýpi er ólivín-bóleíft með stórum plagíoklasdílum, en það neðra (759-769 m) er blanda af túffi og breksíu.

#### Móbergsmyndun 2. 847-1148 m

Á þessu dýptarbili koma fram tvær aðskildar móbergsmyndanir, sú efri nær frá 847 m niður á 946 m, en sú neðri nær þaðan og niður á 1148 m dýpi.

- a. Dílalaust móberg, mest túff 847-946 m. Þessi ca. 100 m þykka móbergsmyndun, sem er líklegast úr ólivín-þóleiíti, er aðskilin neðra móberginu á grundvelli plagíóklasdíla í því neðra. Móbergið er gróflega séð tvískipt, ofan 902 m er það að mestu úr breksíum og túffi, en neðan þess verður það meira setkennt (gjóskukennt).
- b. Dílótt bólstraberg, túff og hraunlög 946-1148 m. Áberandi plagíóklasdílar eru helsta einkenni þessarar myndunar, sem er úr ólivín-þóleiíti. Myndunin er talin móbergsstapi, þar sem neðst koma 'hraunlög' og bólstraberg. Þar ofan við koma túffflög og breksíulög í bland, og svo í efsta hlutanum eru hraunlög sem runnu þegar gosopið var komið yfir vatnsborð í jöklinum. Örlítil hækkun verður í gammamælingunni á bilinu 1044-1064 m. Sú hækkun gæti verið vegna aðflutnings geislavirkra efna (kalíumísótópa), en þarf ekki að tákna breytingu á upphaflegri efnasamsetningu storkubergsins.
  1. Hraunlög 946-988 m. Líklegast eru hraunlögin a.m.k. þrjú að tölu, og eru þau meðal- til grófkorna.
  2. Túff og breksíulög 988-1058 m. Að undanskildu glerjuðu basalti (bólstrabergi) efst, er bergið að mestu leyti úr túffi með þunnum basalt- og breksíulögum inni á milli.
  3. Breksíu og bólstraberg 1058-1128 m. Á 1058 m dýpi breytist bergið frá túffríkara bergi fyrir ofan yfir í breksíukennt glerjað basalt (bólstraberg).
  4. Hraunlög 1128-1146 m. Vísbendingar eru um að á þessu bili séu þrjú hraunlög. Ástæðan fyrir að telja þessi hraunlög með móbergsmynduninni er að þau eru mjög plagíóklasdílótt, eins og móbergið fyrir ofan.

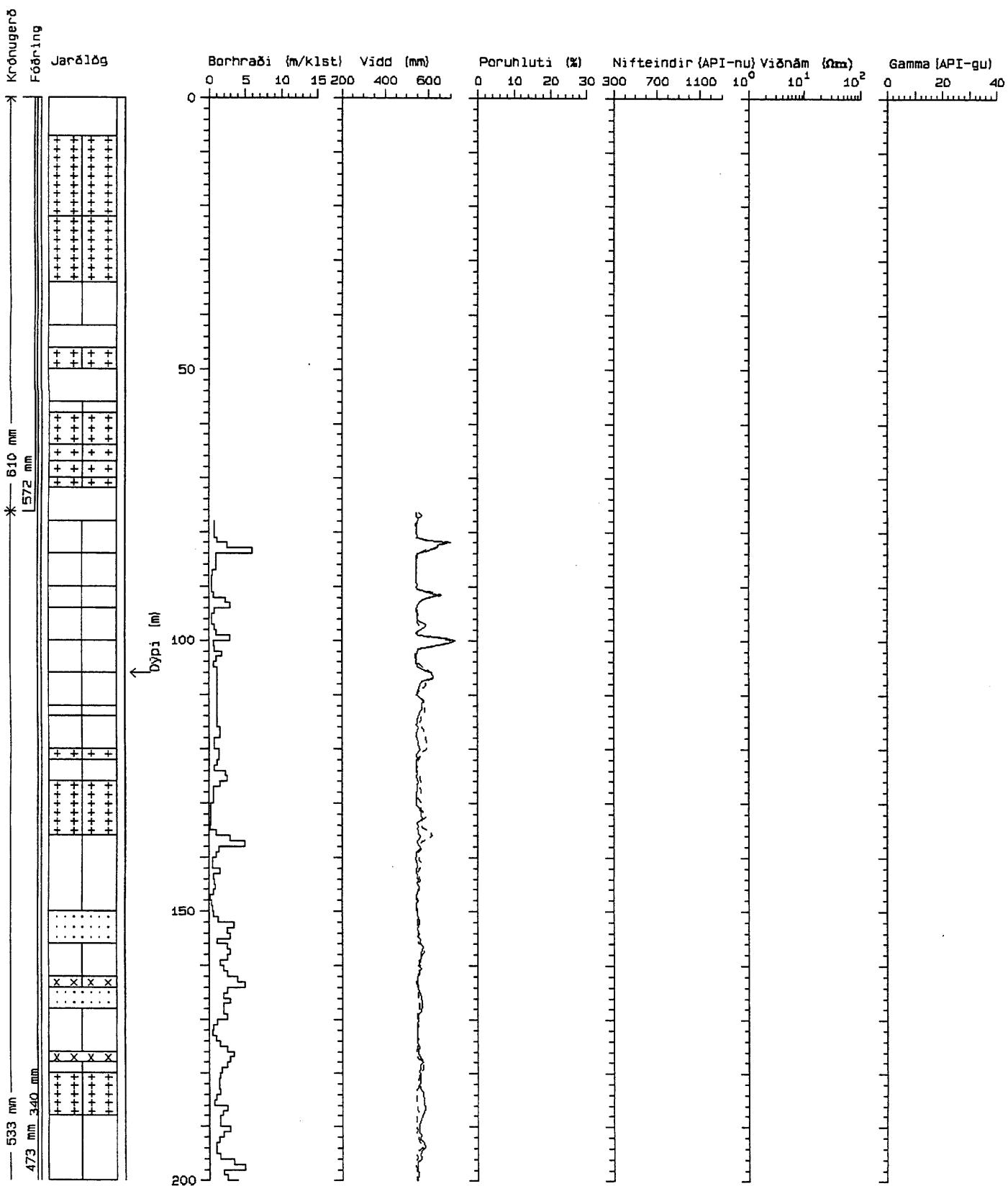
#### Hraunlagamyndun 3. 1148-1218 m

Hraunlögin í þessari myndun eru a.m.k. fimm að tölu, meðal- til grófkorna ólivín-þóleiít. Neðri mörkin eru óljós þar sem síðasta svarfkornið kom upp er dýpi holunnar var 1222 m.

#### Móbergsmyndun 4. 1218-(1260) m

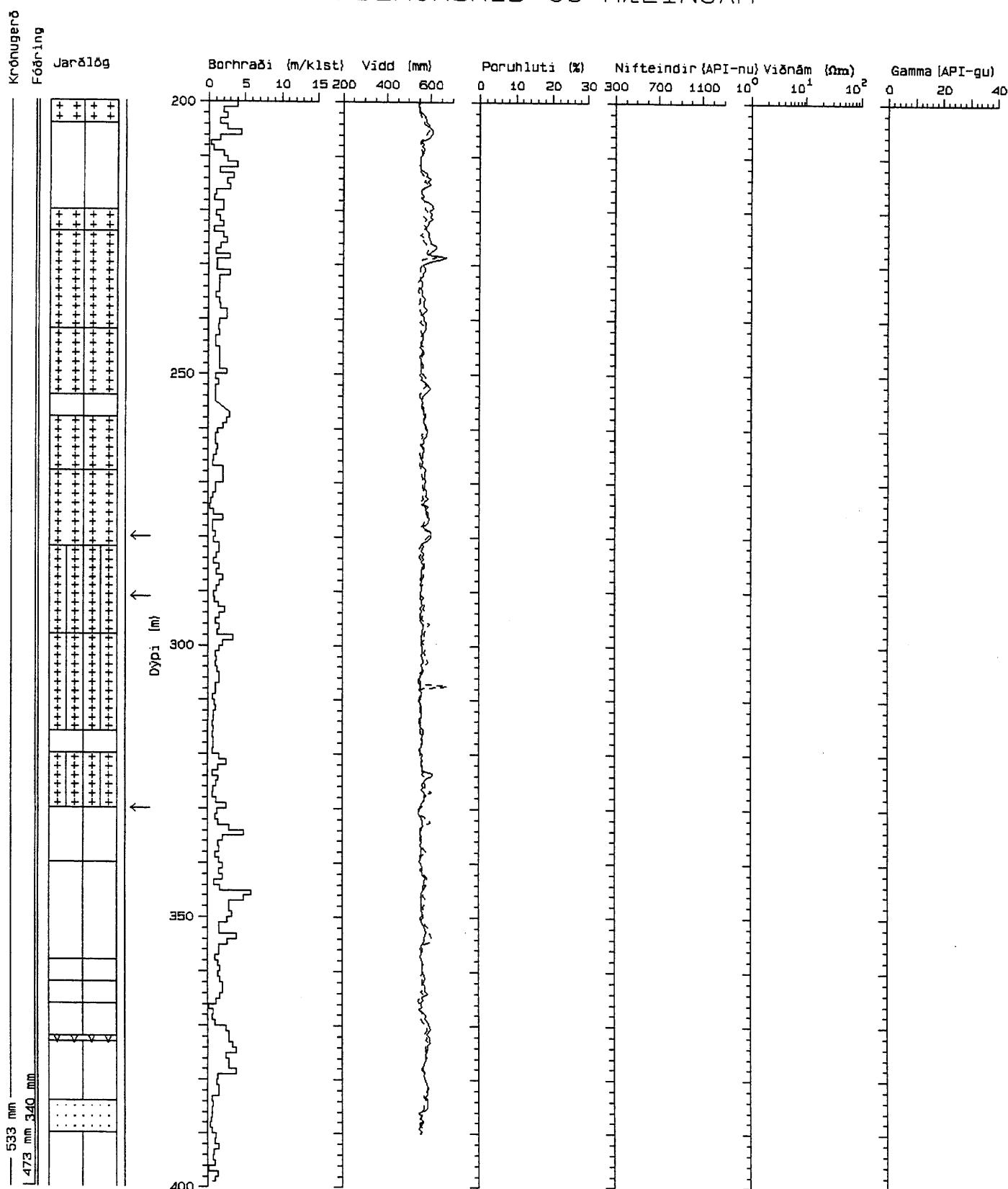
Engin svarfsýni eru til frá 1218 m niður á botn holunnar í 1260 m. Ef litið er á borholumælingar sést áberandi hliðrun á um 1218 m dýpi, þar sem nifteindamælingin lækkar umtalsvert (poruhluti eykst), og víddarmælingin bendir til áberandi útvöskunar. Viðnám sýnir aftur á móti hægt vaxandi gildi til botns holunnar sem gæti stafað af vaxandi fjölda opinna sprungna í berginu. Er bergið á grundvelli þessara borholumælinga túlkað sem líklegt móberg.

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



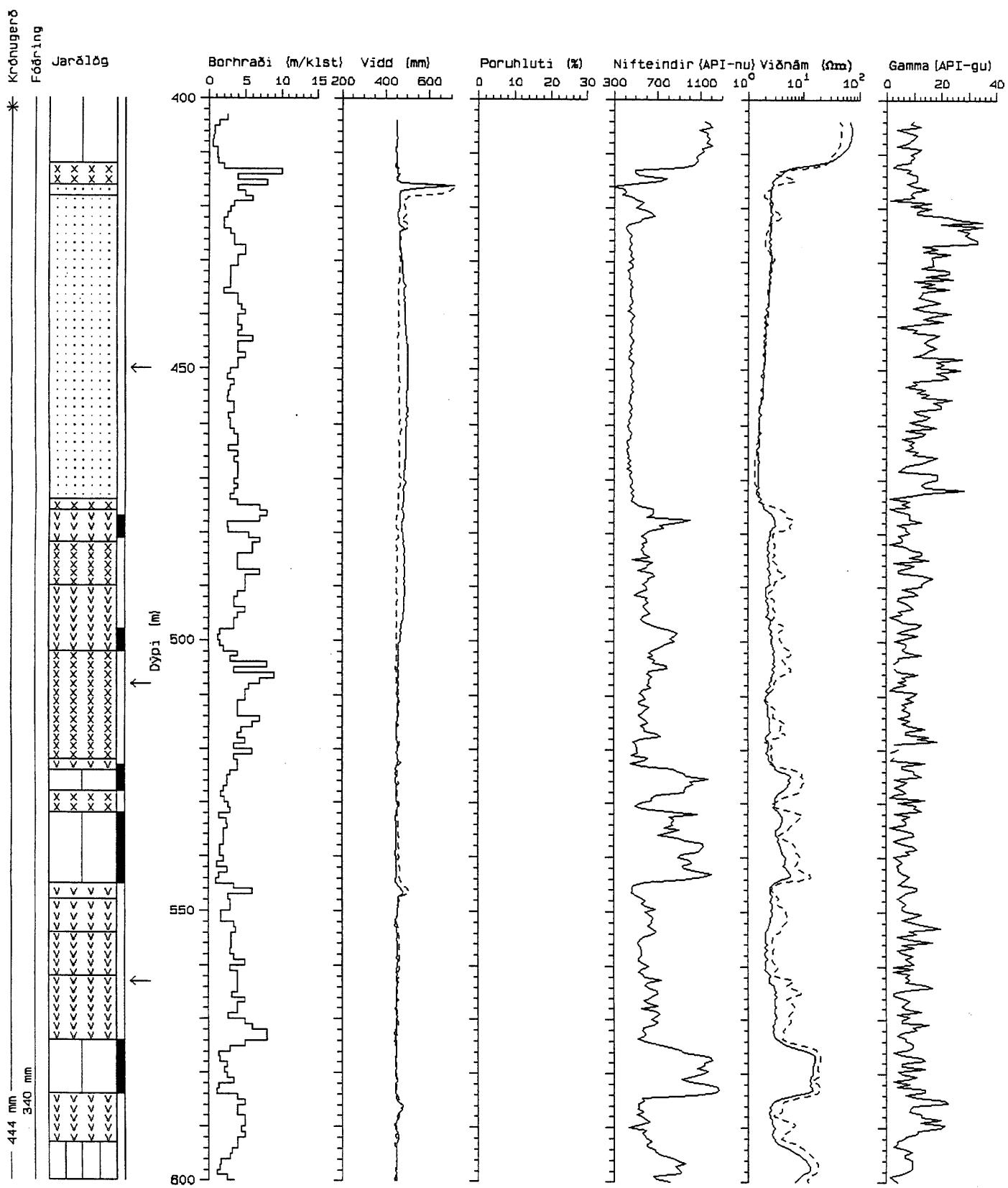
Mynd 6. SJ-17 - Jarðlagasnið og mælingar. Skýringar, sjá bls. 25.

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARDLAGASNID OG MÆLINGAR



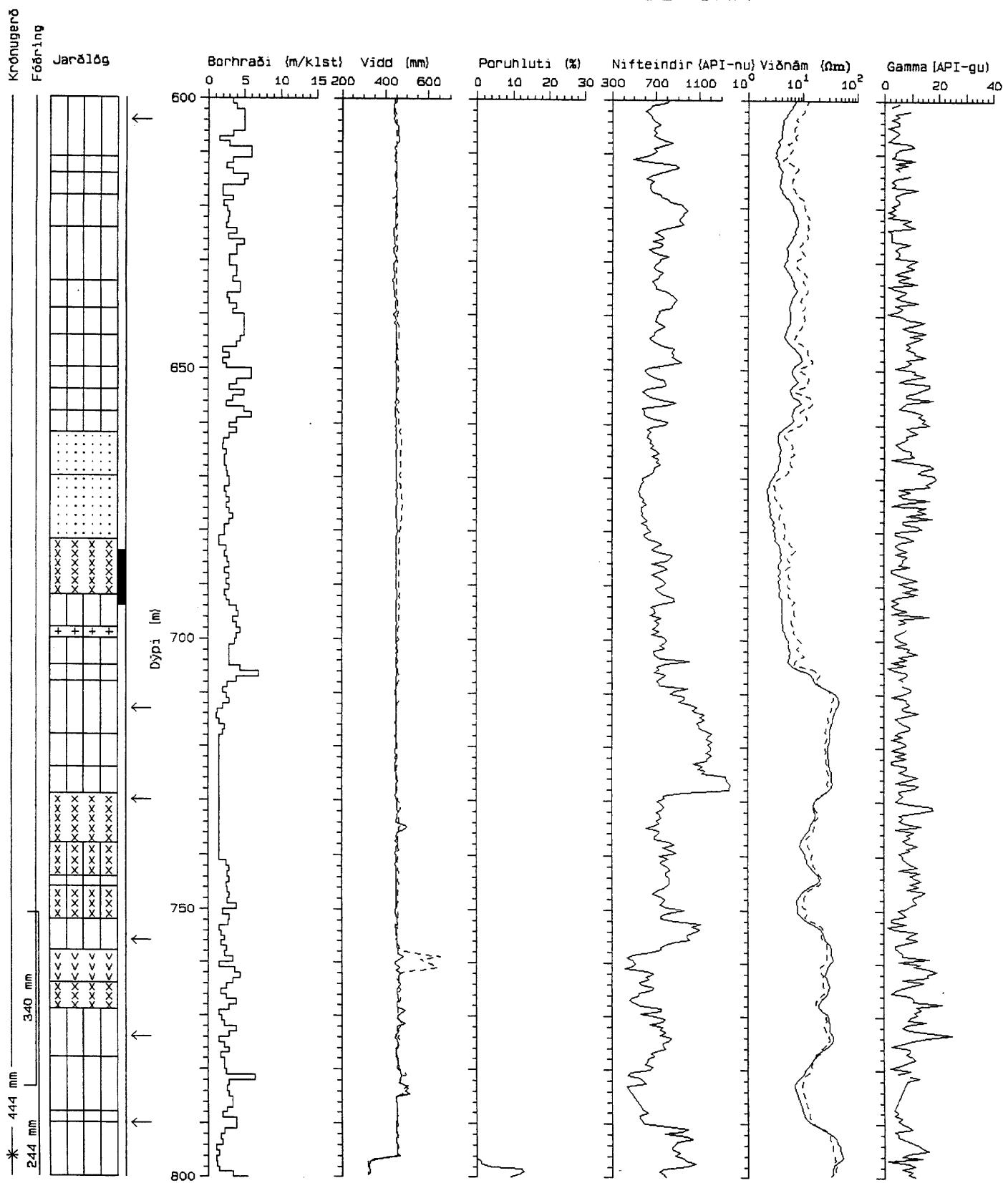
**Mynd 6. frh. Hola SJ-17 – Jarðlagasnið og mælingar.**

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



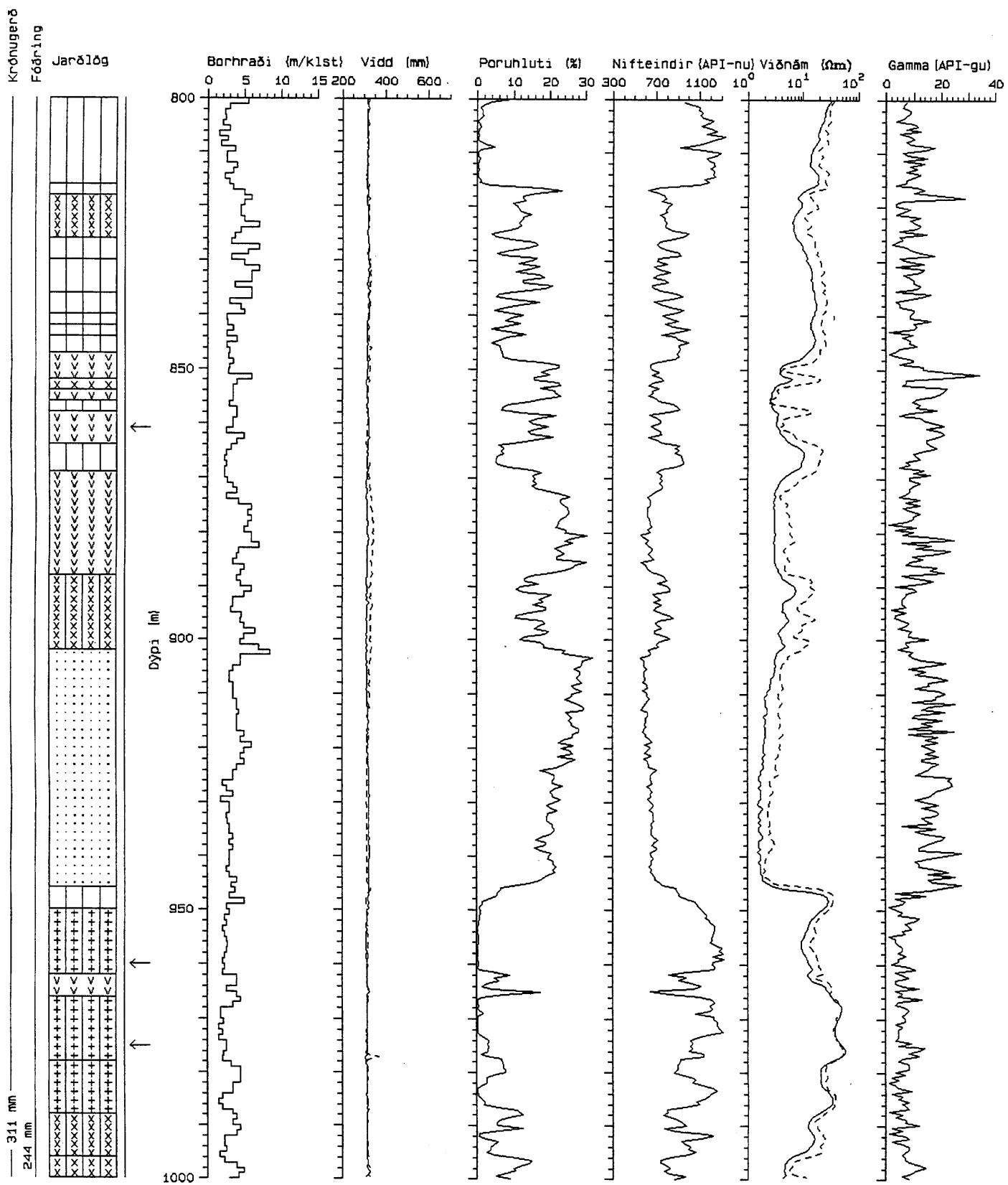
**Mynd 6. frh.** Hola SJ-17 – Jardlagasnið og mælingar.

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



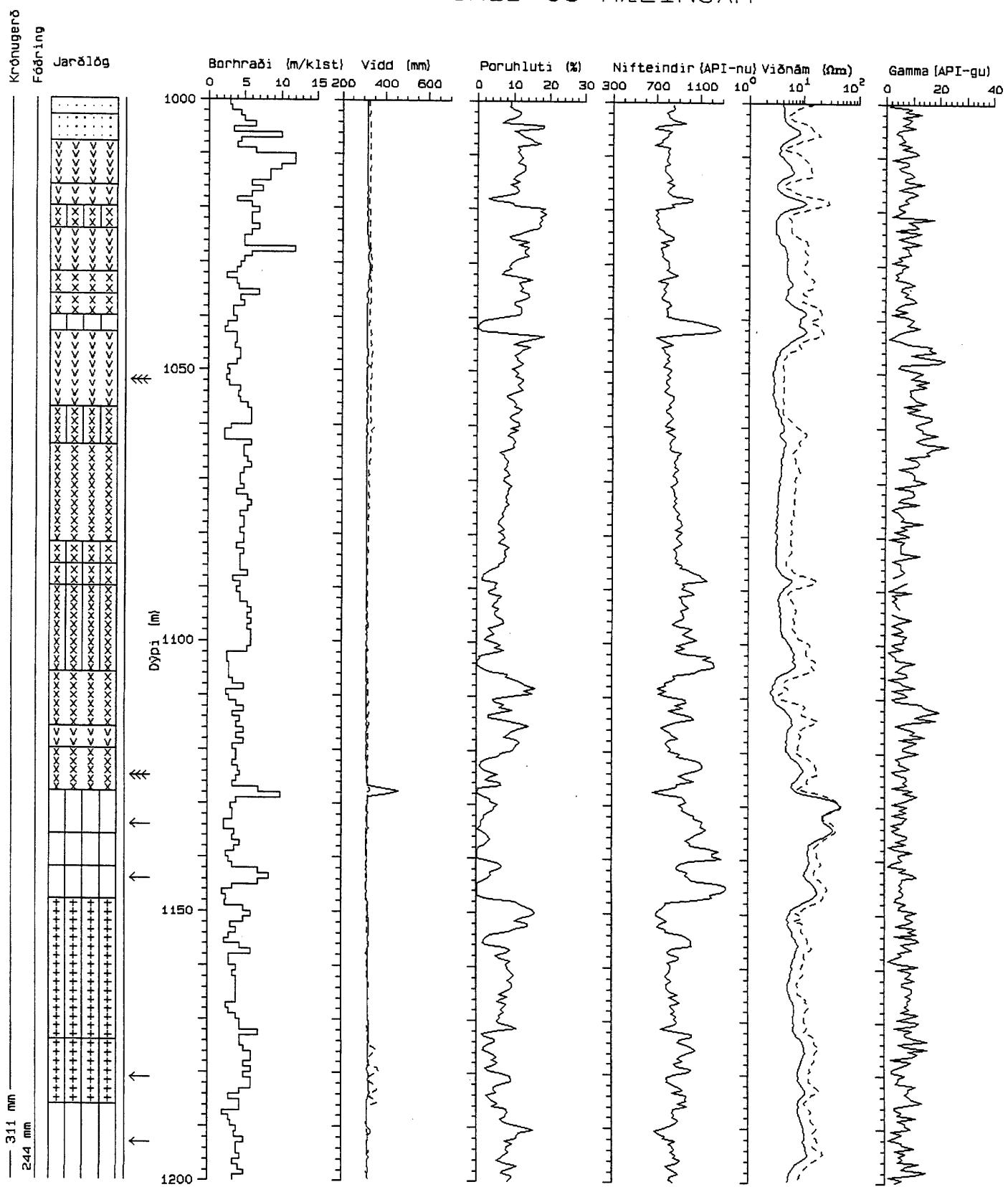
**Mynd 6. frh. Hola SJ-17 – Jarðlagasnið og mælingar.**

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



Mynd 6. frh. Hola SJ-17 – Jarðlagasnið og mælingar.

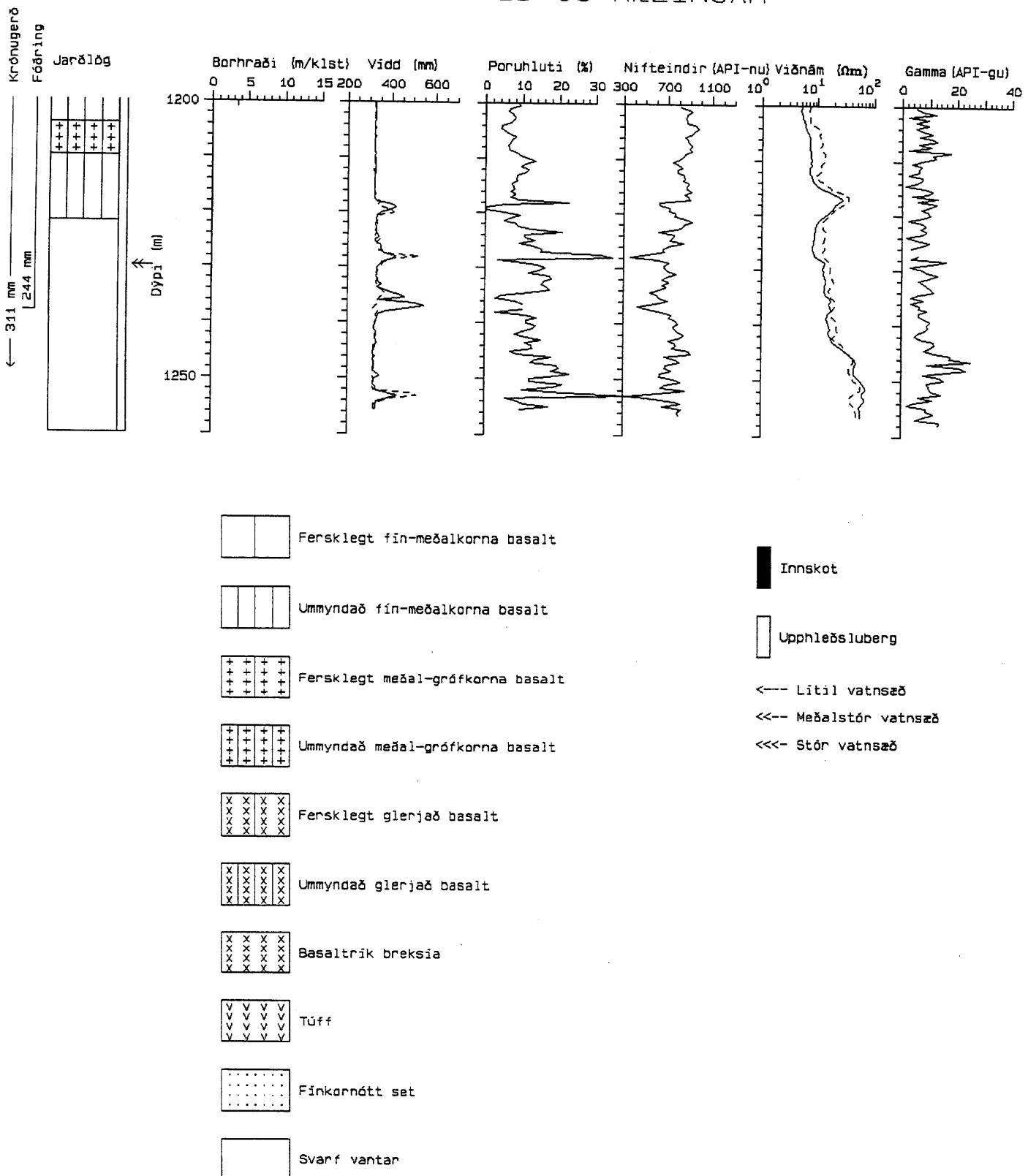
SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



Mynd 6. frh. Hola SJ-17 – Jarðlagasnið og mælingar.

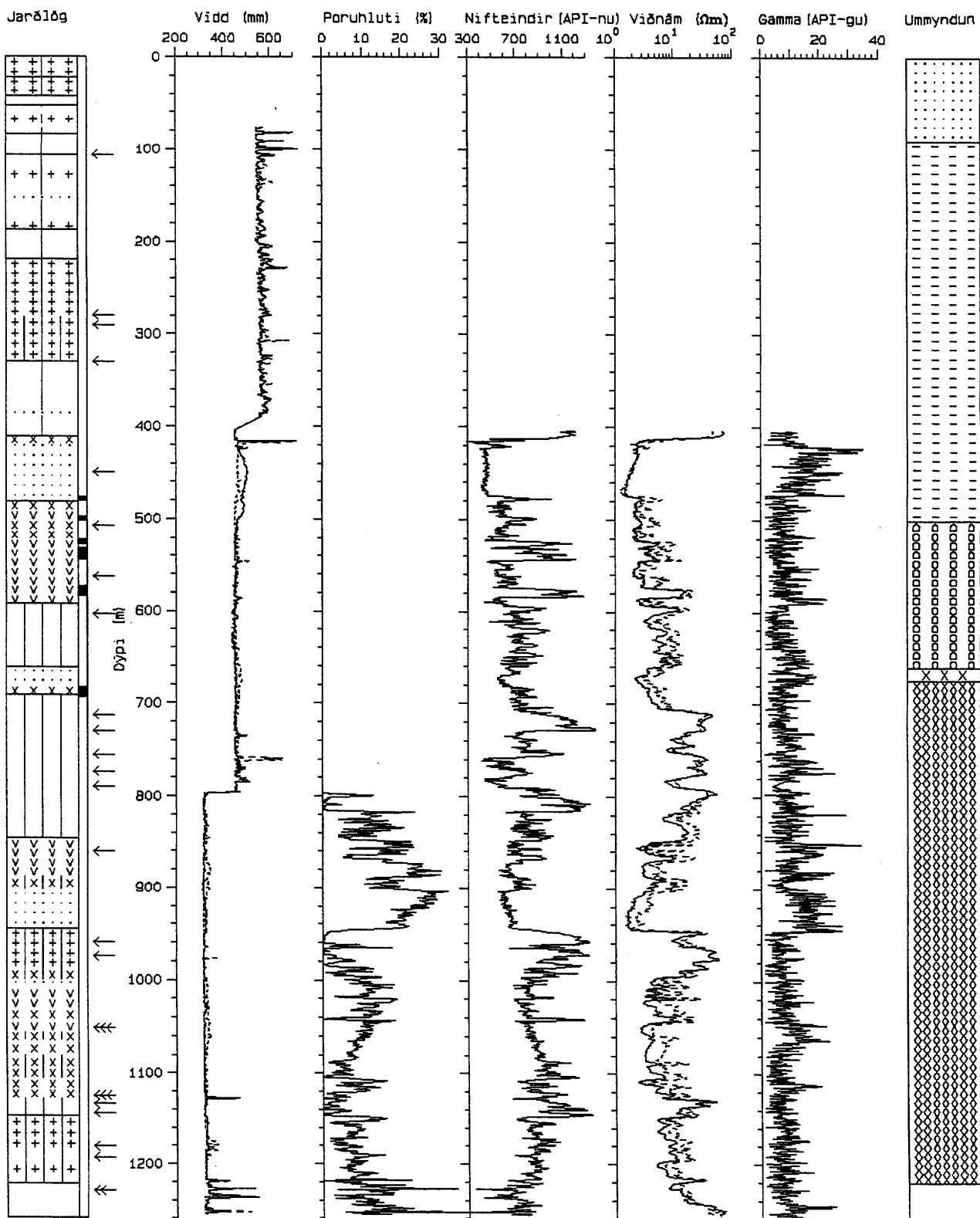
# SVARTSENGI HOLA SJ-17

## JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



**Mynd 6. frh. Hola SJ-17 – Jarðlagasnið og mælingar.**

SVARTSENGI HOLA SJ-17  
JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



**Mynd 7.** Hola SJ-17 – Einfaldað jarðlagasnið, mælingar og ummyndunarbelti.

	Engin ummyndun		Fersklegt fin-meðalkorna basalt
	Smeiktít-zeólítabelti		Ummynndað fin-meðalkorna basalt
	Blandlagsbælti		Fersklegt meðal-grófkorna basalt
	Klórítbælti		Ummynndað meðal-grófkorna basalt
	Klórít-epidóttbælti		Ummynndað glerjað basalt
	Innskot		Basaltrík breksia
	Upphleðsluberg		Tüff
<-- Lítill vatnsæð			Finkornátt set
<<-- Meðalstórr vatnsæð			
<<<-- Stórr vatnsæð			Svarf vantar

**Mynd 7 frh. Skýringar.**

## 4.2 Innskot

Aðeins varð vart við innskot á tveimur stöðum í holunni og eru þau merkt á myndum 6 og 7.

### *Basaltinnskot 477-584 m*

Á þessu dýptarbili var borað ýmist í gegnum basaltinnskot eða við jaðra þess. Bergið er tiltölulega fínkorna þétt ólivínríkt basalt, og telst líklega vera pikrít (en það er minnst þróaða bergið sem finnst á Reykjanesi). Það sem staðfestir að borað sé eftir nær lóðréttum gangi er nokkuð áberandi hitaummyndun í bergeninu við jaðra innskotsins. Þessi hitaáhrif birtast sem ljósgrænleitt (klínó-)pýroxen, málmútfelling (líklegast magnetít) utar og síðan áberandi oxun er fjað dregur ganginum. Þessi ummyndun er sýnd í dreifingu ummyndunarsteinda á mynd 13. Eins og sést á mynd 17, er nokkuð um sprungufyllingar við jaðra gangsins, þar sem finna má kalsít, hematít (oxun), og anhydrit. Anhydritið er í tiltölulega þykum æðum eitt sér og er gjarnan samsett úr litlum kristöllum líkt og í sykurmola. Slíkt anhydrit hefur verið talið myndast þegar kaldur jarðsjór flæðir inn í heitara berg og fellur hratt út, enda er þessi tegund anhydríts yfirleitt eina steindin í viðkomandi sprungu. Unnt er að tímasetja bergganginn miðað við jarðhitakerfið á grundvelli þess að oxunin (hitaáhrifin frá ganginum) myndar lag við jaðra holrýmis í grannberginu og er þess vegna eldri en þær holufyllingar sem síðar falla út og eru tengdar jarðhitakerfinu.

### *Basaltinnskot 684-694 m*

Þetta innskot er þétt og fremur fersklegt meðal-grófkorna basalt. Áberandi oxun er nærrí jaðri innskotsins, og þar vottar einnig fyrir pýroxen og magnetít hitaummyndun. Sennilega er innskotið berggangur (lóðréttur), en ekki sá sami og fyrir ofan þar sem bergerðin er líklega önnur. Athyglisvert er að vatnsinnihaldið í ganginum er svipað eða meira en í hraununum fyrir ofan og neðan.

### *Innskot ca. 1120-1160 m*

Grunur leikur á að innskot (gangur) liggi nærrí holunni á ca. 1120-1160 m dýpi, en þar verður vart við ljósgrænt klínópýroxen ásamt magnetíti sem er vísbending um hitaáhrif frá innskoti. Oxun er mun meira áberandi í svarfinu og finnst allt frá um 950 m niður undir 1200 m.

## 4.3 Jarðlagamælingar

### 4.3.1 Inngangur

Við boranir á jarðhitasvæðum eru yfirleitt gerðar mælingar á náttúrulegri gammageislun, rafviðnámi og sjálfspennu bergsins í borholuveggjunum ásamt því hversu vel nifteindir ná að dreifa sér um bergið (sjá viðauka 5). Þótt víddarmælingar falli ekki undir eiginlegar jarðlagamælingar, geta þær stundum gefið vísbendingar um jarðlagagerð og eru einnig notaðar til þess að leiðréttu jarðlagamælingarnar. Því er einnig fjallað um þær í þessum kafla. Jarðlagamælingarnar veita upplýsingar um uppbyggingu jarðlagastaflans sem borað var í gegnum. Með samtulkun við greiningar á borsvarfi má greina milli jarðmyndana, bæði einstakra jarðлага og heilla syrpna, ákvarða þykkt þeirra og tengja þær milli borholna. Mælingarnar gefa einnig upplýsingar um poruhluta bergsins og vísbendingar um efnasamsetningu þess. Með tengingu þessara upplýsinga við borholujarðfræði og yfirborðsrannsóknir fæst betra

líkan af jarðhitakerfinu en ella. Ef borað er með algjöru skoltapi, gefa jarðlagamælingarnar einu upplýsingarnar um jarðlögin sem borað var í gegnum, þar sem ekkert svarf berst þá til yfirborðs. Jarðlagamælingarnar er einungis hægt að gera í opnum (ófóðruðum) og kældum háhitaholum og er því eini möguleikinn til að ná þessum upplýsingum að gera mælingarnar fyrir hverja fóðrun og í borlok áður en leiðarinn er settur niður.

#### 4.3.2 Yfirlit um jarðlagamælingar

Yfirlit um allar jarðlagamælingar sem gerðar voru í tengslum við borun holu SJ-17 er sýnt í töflu 2.

**Tafla 2. Yfirlit um jarðlagamælingar í holu SJ-17.**

Dagsetning	Lykil-Númer	Tegund mælingar	Dýpi frá (m)	Dýpi til (m)	Athugasemdir
1998.04.13	19652	Á	0	398	
1998.04.13	19653	A	0	398	
1998.04.27	19728	Á	1	783	Botnfall
1998.04.27	19729	A	1	783	Botnfall
1998.04.28	19734	S	395	785	Botnfall
1998.04.28	19733	L	395	785	Botnfall
1998.04.28	19730	N	69	785	Botnfall
1998.04.28	19732	E	395	785	Fannst ekki í svuntukistu
1998.04.28	19731	G	67	783	Mælt upp. Botnfall
1998.05.11	19789	Á	0	1254	
1998.05.11	19790	A	0	1254	
1998.05.11	19786	S	780	1254	Vatnsborð í 350 m
1998.05.11	19787	L	780	1254	Vatnsborð í 350 m
1998.05.11	19785	N	780	1255	Mælt upp, rólega milli 1255 og 780. Vatnsborð í 350 m
1998.05.11	19788	E	780	1255	
1998.05.11	19784	G	780	1255	Mælt upp, rólega milli 1255 og 780, en síðan gefið í. Vatnsborð í 350 m
1998.05.11	19783	G*	325	1255	Ekki notuð. Mælt hratt niður, 35 m/min. Vatnsborð í 350 m
1998.05.11	19782	N*	325	1255	Ekki notuð. Mælt hratt niður, 35 m/min.

\* Mæling ekki notuð í frekari úrvinnslu

Jarðlagamælingarnar voru gerðar í tveimur lotum. Þann 28. apríl 1998 var mælt neðan öryggisföðringar á dýptarbilinu 395-785 m. Vinnsluhluti holunnar var svo mældur 11. maí. Reyndist holan þá hafa grynnkað vegna botnfalla því mælitækin komust ekki niður fyrir 1255 m, en borað hafði verið í 1260 m. Engar jarðlagamælingar voru gerðar í fyrstu boráföngum holunnar (í höggbors- og öryggisföðringarhlutunum), því ekki var talið mögulegt að ná áreiðanlegum mælingum í svo víðri holu fullri af borleðju. Víddarmæling var hins vegar gerð neðan höggborsföðringarinnar á dýptarbilinu 76,5-398 m. Sjálfspennumælingarnar reyndust gallaðar og er því ekki fjallað frekar um þær hér.

Mælingarnar voru skráðar í gagnagrunn Orkustofnunar og er lykilnúmer þeirra í grunninum að finna í töflu 2.

### 4.3.3 Úrvinnsla og túlkun jarðlagamælinga

Eftir að mælingunum hafði verið komið fyrir í gagnagrunninum var tekið til við að vinna úr þeim. Fyrst voru gerðar dýptarleiðréttigar og leiðréettingar á holuvídd. Síðan voru gerðir útreikningar á poruhluta bergsins. Ekki var talin ástæða til þess að umreikna gammaferilinn yfir í kísilsýruinnihald af ástæðum sem lýst er síðar. Tölfræðileg dreifing poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar alls bergs í vinnsluhluta holunnar var reiknuð og kannað hvernig dreifingin skiptist á þá bergflokka sem greindust í svarfi. Að lokum var gerð sérstök athugun á sambandi viðnáms og poruhluta í vinnsluhluta holunnar í þeim tilgangi að ganga úr skugga um, hvort kenningar fái staðist um að mjög dragi úr yfirborðsrafleiðni djúpt í háhitakerfum.

Leiðréttar mælingar eru sýndar á mynd 6 ásamt jarðlagasniði, holuhönnun, staðsetningu á æðum og borhraða. Viðnámsferlarnir eru teiknaðir lógaritmískt til að sjá betur breytingar í viðnámi þar sem það er lágt. Fyrir vinnsluhlutann er einnig sýndur ferill reiknaðs poruhluta. Einfaldað jarðlagasnið, ásamt jarðlagamælingum og skiptingu jarðlagastaflans í ummyndunarbelti er sýnt á mynd 7.

#### 4.3.3.1 Tölfræðileg dreifing mælinga

Tölfræðileg dreifing poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar alls bergs í vinnsluhluta holu SJ-17 er sýnd á mynd 8a-c. Dreifingunni var skipt upp eftir þeim bergflokum sem greindust í svarfi og hún sýnd í viðauka 6. Yfirlit um alla dreifingu ásamt meðaltolum og miðgildum er að finna á mynd 9 og í töflu 3.

Af þessum gögnum má sjá að poruhlutinn er minnstur í ummynduðum basalthraunum, eilítið hærri í glerjuðu basalti og basaltríkri breksíu, en hæstur í túffi og settúffi. 64" viðnámið er hæst í hraununum, lægra í glerjuðu basalti, breksíu og túffi, en áberandi lægst í settúffi. Náttúruleg gammageislun er lítil og einkennandi fyrir basalt í öllum bergflokunum. Örlitla aukningu má þó greina í túffi, sérstaklega í settúffi.

Ekki er afgerandi munur á dreifingu í bergflokunum sex. Þvert á móti skarast hún í flestum tilvikum mjög mikið, eins og sést á mynd 9a-c, jafnvel þó einungis sé litið til þess helmings mæligildanna sem umlykur miðgildið. Með þetta sem viðmið, er það t.d. einungis settúffið sem jaðrar við að aðgreinast frá hinum bergflokunum á grundvelli poruhluta og gammageislunar. Aðgreining bergflokkanna er skári í viðnásmælingunni, því með sama viðmiði greinast bæði hraunlögin og settúffið frá öðru bergi.

Af þessum samanburði má draga þá ályktun, að poruhluti, 64" viðnám og náttúruleg gammageislun bergsins í vinnsluhluta holu SJ-17 ráðist að einhverju leyti af berggerð eins og hún endurspeglast í bergflokum ákvörðuðum á grundvelli svarfgreiningar. Sambandið er hins vegar fremur veikt og varla tölfræðilega marktækt eins og sést af því að útilokað er að nota jarðlagamælingarnar einar og sér til að ákvarða bergflokkanum alla. Af mynd 9a-c má ráða, að ekki verði komist nær því markmiði en að grófflokkum bergið í þrjá bergflokku (basalthraunlög, glerjað basalt/breksíu og túff/settúff) ef líkurnar á réttri greiningu ættu að verða betri en u.p.b. 50 á móti 100. Samanburðurinn bendir einnig til þess að samband sé milli viðnáms og poruhluta í

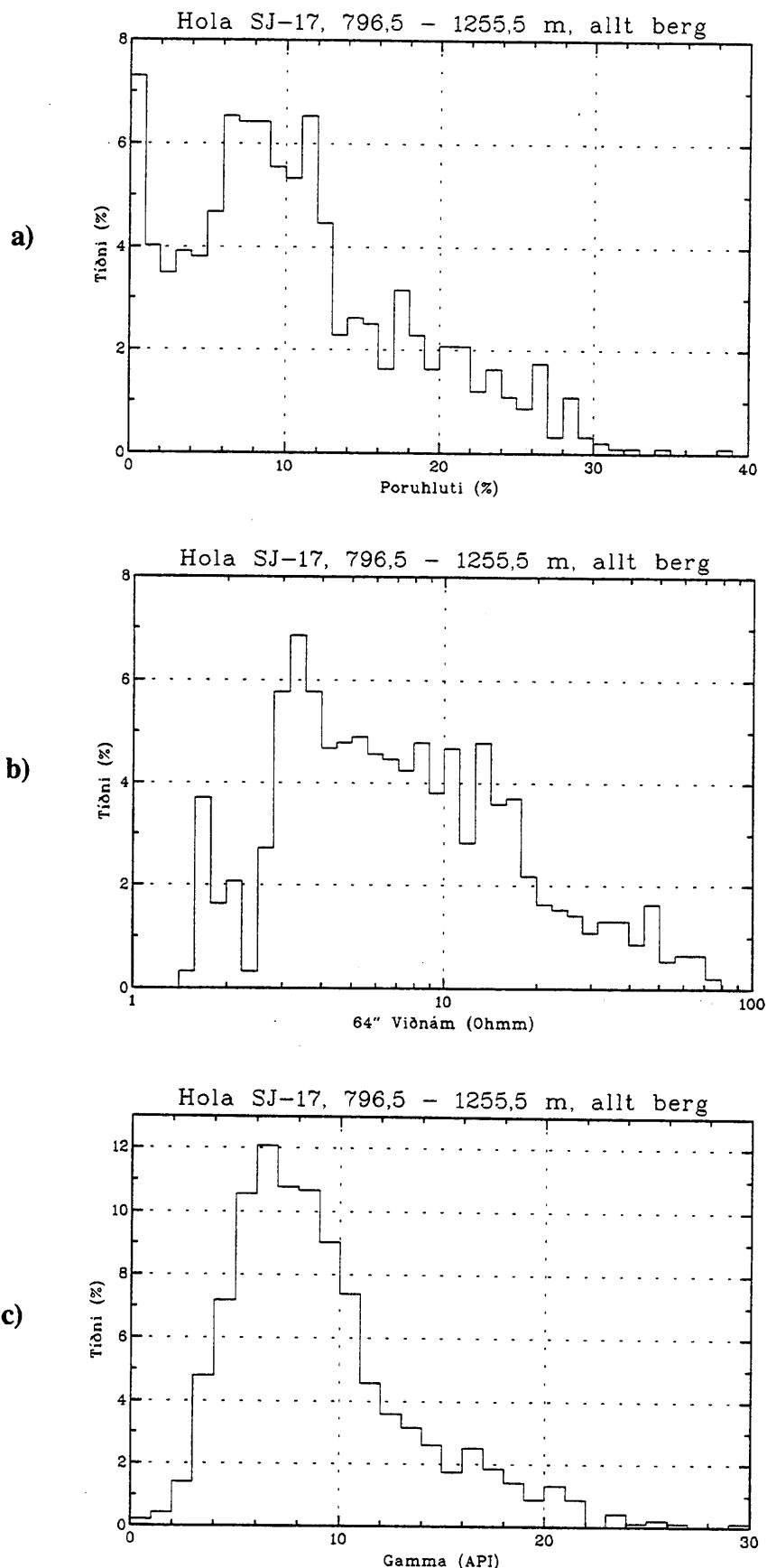
vinnsluhluta holunnar. Nánari könnun á því sambandi gæti gefið vísbindingar um eðli rafleiðni djúpt í háhitakerfum og er fjallað um það í sérstökum kafla.

**Tafla 3.** Dreifing poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar í vinnsluhluta holu SJ-17 flokkuð eftir bergtegundum.

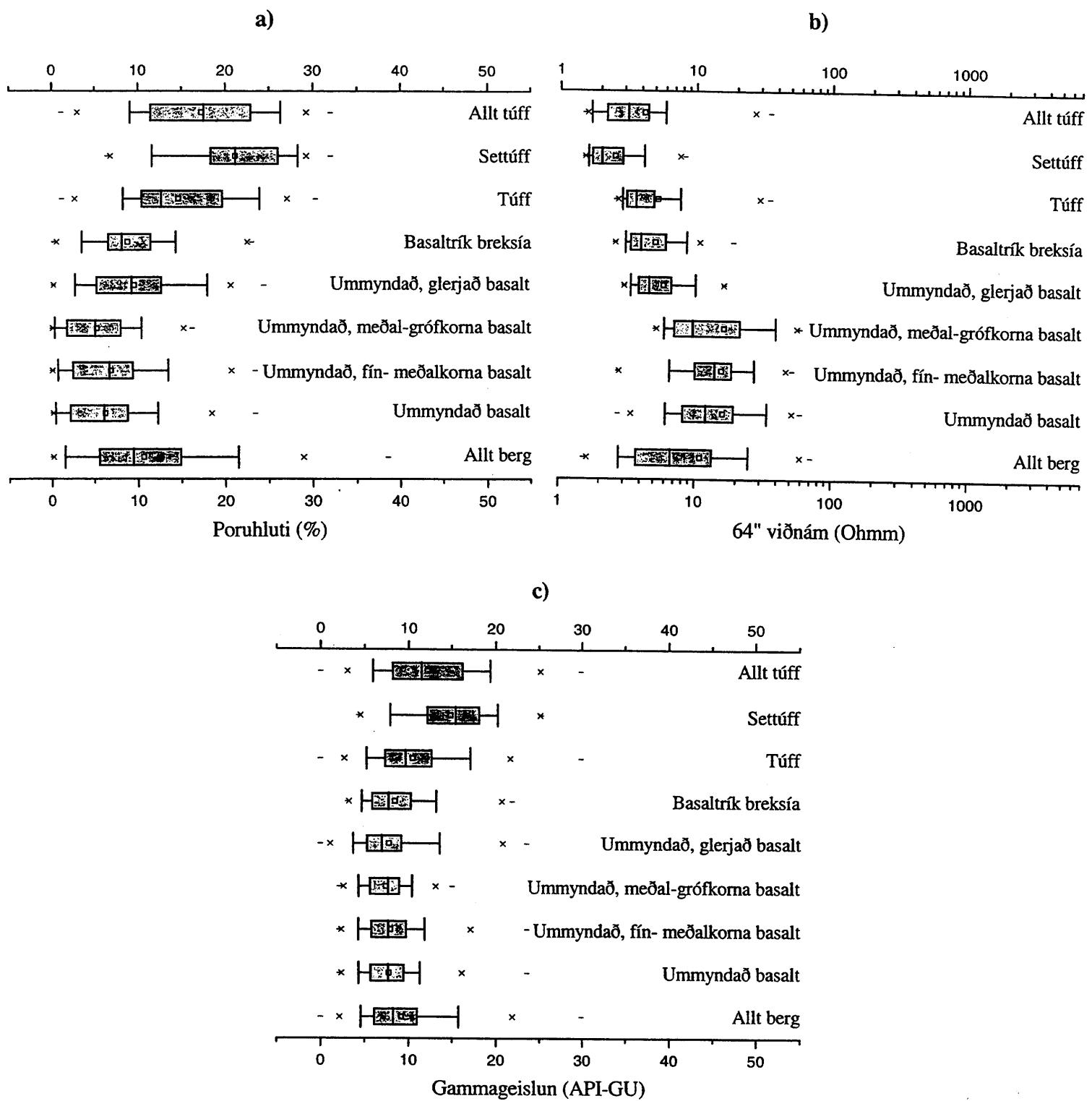
	Meðaltal	Miðgildi	25%-75%*	5-95%**
<b>PORUHLUTI (%)</b>				
Allt túff	17.2	17.5	9.1 - 26.3	3.0 - 29.3
Settúff	21.0	21.2	11.6 - 28.3	6.9 - 29.3
Túff	14.7	12.8	8.3 - 23.9	2.7 - 27.0
Basaltrík breksía	8.8	8.2	3.5 - 14.4	0.6 - 22.6
Glerjað basalt	9.5	9.3	2.8 - 17.9	0.3 - 20.1
Ummynndað, meðal-grófkorna basalt	5.2	5.1	0.4 - 10.5	0.1 - 15.2
Ummynndað, fin-meðalkorna basalt	6.8	6.8	0.8 - 13.5	0.1 - 20.7
Ummynndað basalt	6.2	6.1	0.5 - 12.3	0.1 - 18.5
Allt berg	10.6	9.4	1.5 - 21.5	0.2 - 29.0
<b>64" VIÐNÁM (Ohmm)</b>				
Allt túff	4.2	3.1	2.2 - 4.4	1.7 - 5.9
Settúff	2.5	2.0	1.7 - 2.9	1.6 - 4.2
Túff	5.3	3.7	3.1 - 4.9	2.9 - 7.7
Basaltrík breksía	5.0	4.0	3.3 - 6.0	3.1 - 8.6
Glerjað basalt	5.8	4.6	3.8 - 6.6	3.4 - 10.1
Ummynndað, meðal-grófkorna basalt	16.0	9.5	7.0 - 21.3	5.9 - 38.8
Ummynndað, fin-meðalkorna basalt	15.6	13.9	9.9 - 18.5	6.5 - 27.4
Ummynndað basalt	15.8	12.0	8.1 - 19.0	6.1 - 33.7
Allt berg	10.8	6.6	3.7 - 13.2	2.8 - 24.8
<b>GAMMAGEISLUN (API – GU)</b>				
Allt túff	12.2	11.5	8.1 - 16.2	3.0 - 25.1
Settúff	14.8	15.4	12.1 - 18.1	4.6 - 25.1
Túff	10.4	9.7	7.2 - 12.7	2.7 - 21.7
Basaltrík breksía	8.4	7.8	5.8 - 10.2	3.1 - 20.8
Glerjað basalt	7.8	7.0	5.3 - 9.1	1.2 - 20.9
Ummynndað, meðal-grófkorna basalt	7.3	7.7	5.5 - 9.0	2.6 - 13.1
Ummynndað, fin-meðalkorna basalt	7.9	7.7	5.7 - 9.7	2.3 - 17.1
Ummynndað basalt	7.7	7.7	5.6 - 9.4	2.4 - 16.1
Allt berg	9.1	8.3	6.0 - 10.1	2.2 - 21.9

\* 50% mæligildanna liggja á þessu bili, 25% eru hærri, 25% lægri.

\*\* 90% mæligildanna liggja á þessu bili, 5% eru hærri, 5% lægri.



**Mynd 8.** Tölfræðileg dreifing a) poruhluta, b) 64" viðnáms og c) náttúrulegrar gammageislunar í vinnsluhluta holu SJ-17.



**Mynd 9.** Yfirlit um dreifingu a) poruhluta, b) 64" viðnáms og c) náttúrulegrar gammageislunar í þeim berggerðum sem greindar hafa verið í vinnsluhluta holu SJ-17. Einkenni dreifinganna eru auðkennd með táknum. Bilið milli láréttu strikanna spannar öll mæld gildi. Bilið milli krossanna spannar 98% mæligildanna og liggur 1% utan þess til hvorras handar. Á sama hátt liggja 50% gildanna á bilinu sem svarar til skyggðu cassanna og eru 25% gildanna hærri en 25% lægri. Lóðréttu strikin utan cassanna afmarka 90% gildanna. Miðgildi (median) dreifinganna er sýnt með lóðréttum strikum gegnum cassana, en meðaltalið með litlum ferningi.

#### 4.3.3.2 Dýptarleiðréttigar

Jarðlagamælingarnar voru skráðar sem fall af dýpi og miðaðist núllpunkturinn við driftborð borsins. Núllstillingin er þó ekki alltaf nákvæm og getur það valdið innbyrðis hliðrun milli mæliferlanna. Í víddarmælingunum í SJ-17 reyndist skekkjan vera allt að 2,0 m. Leiðrétt var fyrir henni með því að skoða dýpi á fóðringarenda í mælingunum og hliðra mæliferlunum, þar sem þess þurfti, svo dýpinu bæri saman við uppgefið dýpi í fóðringarskýrslu. Hinir ferlarnir voru svo stilltir af miðað við víddarmælinguna á grundvelli úrekninga á fylgni milli ferlanna sem fall af innbyrðis hliðrun. Reyndist leiðréttin liggja á bilinu 1,4 - 2,9 m. Þessari aðferð má beita vegna þess að víddaráhrif koma yfirleitt greinilega fram í nifteindamælingunni og hún sýnir góða fylgni við viðnámsmælingarnar.

#### 4.3.3.3 Holuvídd

Fjögurra arma víddarmælirinn mælir víddina í tvær stefnur (X og Y) hornréttar hvor á aðra. Komið hefur í ljós að nokkur óvissa getur verið í mælingunni og að kerfisbundinn munur virðist vera á ferlunum tveimur. Þetta var kannað með því að bera ferlana saman innan í fóðringunum þar sem víddin er þekkt og þeir ættu að falla saman. Eins og kemur fram í töflu 4, sýndi samanburðurinn að um 1 cm munar á X- og Y-ferlunum innbyrðis og allt að hálfum öðrum cm getur skakkað á þeim og raunverulegu innanmáli fóðringanna. Leiðrétt var fyrir þessum skekkjum.

**Tafla 4. Skekkja í víddarmælingum.**

	Höggbors-fóðring	Öryggis-fóðring	Vinnslu-fóðring	Meðaltal
Víddarfrávik (X - D) (mm)	+4.6	+2.1	+1.3	+2.7
Víddarfrávik (Y - D) (mm)	-4.6	-13.9	-7.7	-8.7
Víddarmunur (X-Y) (mm)	+9.2	+11.8	+9.0	+10.0
Frávik meðalvíddar [(X+Y)/2 - D] (mm)	+0.6	-4.9	-3.2	-2.5

X,Y = mæld meðalvídd í fóðringunni. D = innanmál fóðringar

Eins og sést á mynd 6 eru borholuveggirnir mjög sléttir og lítið um skápa. Eftir víddarleiðréttingu ber ferlunum vel saman og virðist þverskurður holunnar ekki víkja mikið frá hringforminu. Helsta undantekningin er í túfflögum í efri hluta holunnar (420-500 m). Samkvæmt borhraðaferlinum virðast þessi lög ekki vera áberandi mjúk undir tönn, en sennilega skera þau sig úr hvað varðar brotþol eða aðra svipaða eiginleika. Á bilinu 82-106 m eru nokkrir skápar sem sennilega stafa af hruni eða útvöskun úr millilögum milli píkríthraunlaga á þessu dýpi. Skápar á 416 m og 760 m dýpi tengast sennilega útvöskun á þunnum túfflögum. Skápur á 1128 m dýpi virðist vera á lagmótum breksíu og hraunlaga, en gæti hugsanlega tengst vatnsæð á 1125 m. Skápar eru einnig í neðsta hluta holunnar á bilinu 1218-1253 m. Virðist einn þeirra vera við vatnsæð, og er því hugsanlegt að þeir tengist sprungum og að bergið sé meira sprungið á þessu bili.

#### 4.3.3.4 Poruhluti

Poruhluti var reiknaður út frá nifteinda- og víddarmælingunum. Útreikningarnir byggja á kvörðunarferlum fyrir holar með vídd á bilinu 150 til 230 mm, og er ekki hægt að beita þeim í víðari holum en 350 mm, því reiknaður poruhluti verður of lágor.

Poruhlutinn var því einungis reiknaður fyrir vinnsluhluta holunnar þar sem víddin liggur að mestu leyti á bilinu 315-340 mm.

#### 4.3.3.5 Náttúruleg gammageislun

Styrkur náttúrulegrar gammageislunar í íslensku bergi ræðst að verulegu leyti af kísilsýruinnihaldi þess þótt aðrir þættir komi einnig þar við sögu (Stefansson o.fl., 1982a). Þegar dreifing gammageislunar í vinnsluhluta holu SJ-17 er skoðuð (mynd 8), kemur í ljós toppur á bilinu 4-10,5 API-GU. Gildin á þessu bili mynda eins konar grunnlínu í gammaferlinum á myndum 6 og 7 og svarar hún til dæmigerðrar basaltsamsetningar (sjá viðauka 5). Einstöku móbergsmýndanir sýna þó markvert hærri geislun og þá sérstaklega settúffslögin tvö á 424-475 m og 902-946 m dýpi. Þessi hækkun getur átt sér tvær skýringar. Önnur er sú að lögin séu úr súrara gosbergi og séu ættuð úr öðrum eldstöðvum en lögin fyrir ofan og neðan. Hin skýringin er sú, að geislavirk efni eins og kalíum hafi borist í lögin eftir að þau hlóðust upp, t.d. með hræringu vatns í jarðhitakerfinu, og fallið þar út í ummyndunarsteindum. Seinni skýringin er mun sennilegri vegna þess að engin ummerki eru um sírt berg í svarfinu.

Samband gammageislunar og kísilsýruinnihalds íslensks bergs er oft notað til að meta styrk kísilsýru í bergeninu út frá mælingum á gammageislun. Slikt mat er ekki sýnt hér og er meginástæðan sú að sambandið gildir ekki í þeim myndunum sem auðgast hafa af aðflutnum geislavirkum efnum.

#### 4.3.3.6 Viðnám

Þegar viðnám er mælt í borholum er mælda viðnámið mjög háð holunni og viðnámi vökvans í henni. Ef vel á að vera þyrfti að leiðréttu mæligildin fyrir þessu, en þar sem ekki er til góð mæling á viðnámi vökvans, eru viðnámsmælingarnar birtar hér óleiðréttar og styðjast allir frekari útreikningar við óleiðrétt gildi. Leiðréttigarferlarnir fyrir viðnámstækið benda hins vegar eindregið til þess að leiðréttin fyrir 64" ferilinn sé svo lítil að ekki þurfi að taka tillit til hennar.

#### 4.3.4 Samband poruhluta og viðnáms í vinnsluhluta holu SJ-17

Umfangsmikið háhitasvæði við Svartsengi-Eldvörp hefur verið kortlagt með viðnámsmælingum á yfirborði (Ragna Karlsdóttir, 1998). Í mælingunum kemur fram að efri og ytri hluti jarðhitakerfisins einkennist af lágu viðnámi sem umlykur kjarna hærra viðnáms djúpt í miðju þess. Eðlisviðnám lágvíðnámskápunar mælist 2 Ohmm en um 10 Ohmm mælast í kjarnanum. Rannsóknir á háhitasvæðum landsins benda eindregið til að þessa viðnámsskipan megi rekja til jarðhitaummyndunar bergsins og þeirra breytinga á rafleiðni sem hún veldur (Knútur Árnason og Ólafur G. Flóvenz, 1992). Í stuttu máli gerir kenningin ráð fyrir að lágvíðnámskápan sé tilkomin vegna þess að lághitasteindir (zeólítar, smektít, blandlagsleir), sem leiða rafstraum vel, séu algengar í ytri og kaldari hlutum jarðhitakerfisins, en torleiðandi steindir (klórít, epídót) taki hins vegar við í innri og heitari hluta þess, og valdi það viðnámshækkuninni í háviðnámskjarnanum. Nánar er fjallað um eðlisviðnám bergs á íslenskum jarðhitasvæðum í viðauka 7.

Ef steindir bergsins eru torleiðandi gildir jafna Archie:

$$R=R_w a \phi^{-m} \quad (1)$$

R	heildarviðnám
$R_w$	viðnám poruvökvans
a	fasti, yfirleitt nálægt 1
m	Archie-stuðull, háður lögun porurýmisins
$\phi$	poruhluti

Í jöfnunni koma áhrif hitastigs og seltu jarðhitavökvans fram í  $R_w$ , en stuðullinn m tengist hins vegar lögun poranna. Í ósprungnu storkubergi (eða í storkubergi með lokuðum sprungum) er m ca. 2, en nálgast 1 ef opnar sprungur eru í bergeninu (Stefansson o. fl., 1982b).

Þar sem vinnsluhluti holu SJ-17 liggur allur í klórít-epídótbeltinu, ætti samband viðnáms og poruhluta þar að fylgja jöfnu Archie. Um 400 m af samfelldum mælingum poruhluta og viðnáms eru tiltækjar úr þessum hluta holunnar og var ráðist í það að athuga þetta samband nánar.

Þegar öll mælipör viðnáms og poruhluta í vinnsluhlutanum eru teiknuð í línurit sem dreif stakra punkta, kemur fram losaralegt samband viðnáms og poruhluta (mynd 10a). Tilraun var gerð til að fella Archie-jöfnuna að þessum hrágögnum í log-log plani og fíkkst þá talan  $R_w = 2,8$  Ohmm fyrir viðnám poruvökvans og m = 0,35 fyrir Archie stuðullinn m. Fylgnistuðull línumnar reyndist vera -0,48, en tölugildi hans hefði þurft að vera hærra til þess að sambandið teldist tölfræðilega marktækt. Archie-stuðullinn m hefði þar að auki átt að liggja á bilinu 1,0-2,0. Niðurstaðan m=0,35 er því greinilega röng.

Meginástæðurnar fyrir þessu lága gildi eru sennilega tvær. Önnur er sú, að gögnin eru ekki normaldreifð, heldur teygð út til hliðanna. Þegar aðferð minnstu kvaðrata er beitt til að ákvarða bestu línu gegnum slík gögn (eins og hér var gert), geta útgildin bjagað niðurstöðuna. Hin er sú að jafnan var felld að gögnunum í log-log plani, allir gagnapunktar teknir með og þeir látnir hafa sama vægi á logaritmískum skala. Þetta jafngildir því að óvissan minnki sem veldisfall af poruhluta yfir allt poruhlutasviðið og veldur því að áhrif gagnapunkta með lágan poruhluta (0,1-3%) verða allt of mikil. Óvissan í poruhluta lækkar vissulega með minnkandi poruhluta, en alls ekki 100-falt eins og raunverulega felst í forsendunni um sama (lógaritmískra) vægi allra gagnapunkta. Því miður er ekki vel þekkt hvernig þessi óvissa breytist sem fall af poruhluta.

Í þessari stöðu hefði þó mátt bæta matið með því að fella öll gildi með mjög lágan poruhluta út úr gagnasafninu, t.d. gildi með lægri poruhluta en 3%. Hér var hins vegar valin önnur leið. Eins og sést á mynd 10b, skýrist samband viðnáms og poruhluta töluvert þegar mæligildin eru flokkuð eftir berggerðum. Meðaltölin og miðgildin skilgreina sæmilega skýran feril, sem sýnir að viðnámið lækkar í öfugu hlutfalli við poruhlutann (mynd 10c). Með því að fella Archie jöfnuna að þessum gagnapunktum var að mestu komist hjá vandamálunum sem lýst var hér að ofan.

Bestu línum gegnum meðaltölin og miðgildin eru mjög svipaðar og hafa báðar fylgnistuðulinn  $-0,89$  (sjá töflu 5). Meðaltölin gefa  $0,40$  Ohmm viðnám í poruvökvanum en miðgildin  $0,32$  Ohmm. Þessum gildum ber mjög vel saman við rafleiðnimælingar á sýnum af jarðhitavökvanum, sem gefa gildið  $0,3$  Ohmm. Archie-stuðlarnir eru einnig mjög svipaðir,  $1,27$  fyrir meðaltölin, en  $1,22$  fyrir miðgildin.

Til þess að athuga hversu vel jafna Archie skýrir samband viðnáms og poruhluta í vinnsluhluta holu SJ-17, var jafnan notuð til þess að reikna út poruhlutann og hann borinn saman við mældan poruhluta. Notað var meðaltal bestu línum á mynd 10c, þ.e.a.s. að stuðlunum  $R_w$  og  $m$  voru gefin gildin  $R_w = 0,36$  Ohmm og  $m=1,245$ , og poruhlutinn reiknaður samkvæmt jöfnunni

$$\phi = (R_w/R)^{1/m} \quad (2)$$

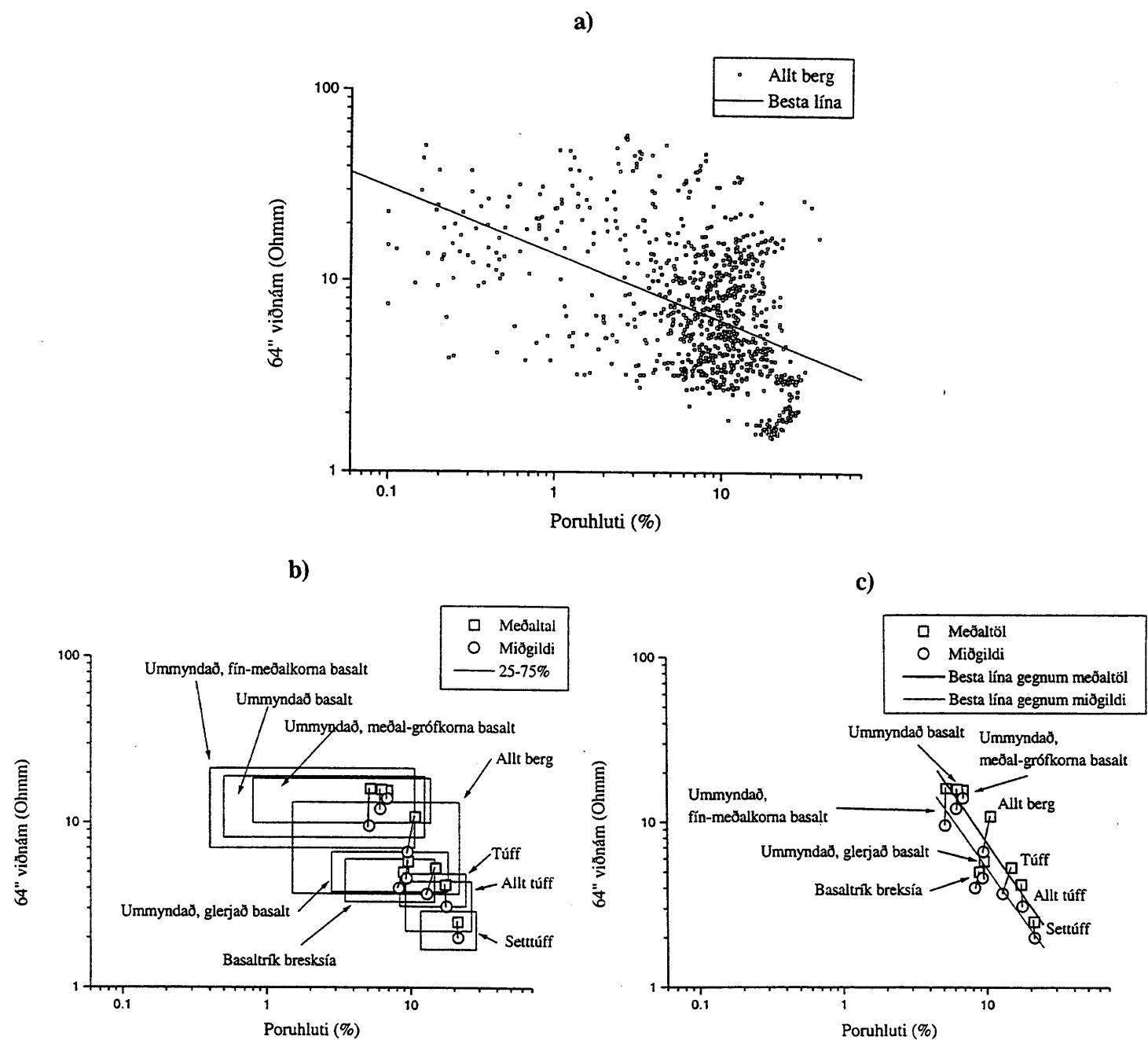
Á mynd 11 sést að reiknaði poruhlutinn hermir mældu gildin þokkalega vel, t.d. er fylgnistuðullinn  $0,58$ .

Meginniðurstaðan af þessari athugun er því sú að í vinnsluhluta holu SJ-17 gildi í aðalatriðum jafna Archie um samband viðnáms og poruhluta. Þetta er eins og við var að búast, því vinnsluhlutinn liggur allur í klórít-epídótbeltinu þar sem talið er að áhrif yfirborðsleiðni séu hverfandi. Jarðhitavökvin er enn fremur mjög saltur og ætti það einnig að draga úr áhrifum hugsanlegrar yfirborðsleiðni.

Þessar niðurstöður vekja vonir um að með bættri mælitækni og frekari rannsóknum megi kortlegga sprungubelti í háhitakerfum með mælingum á viðnámi og poruhluta í borholum.

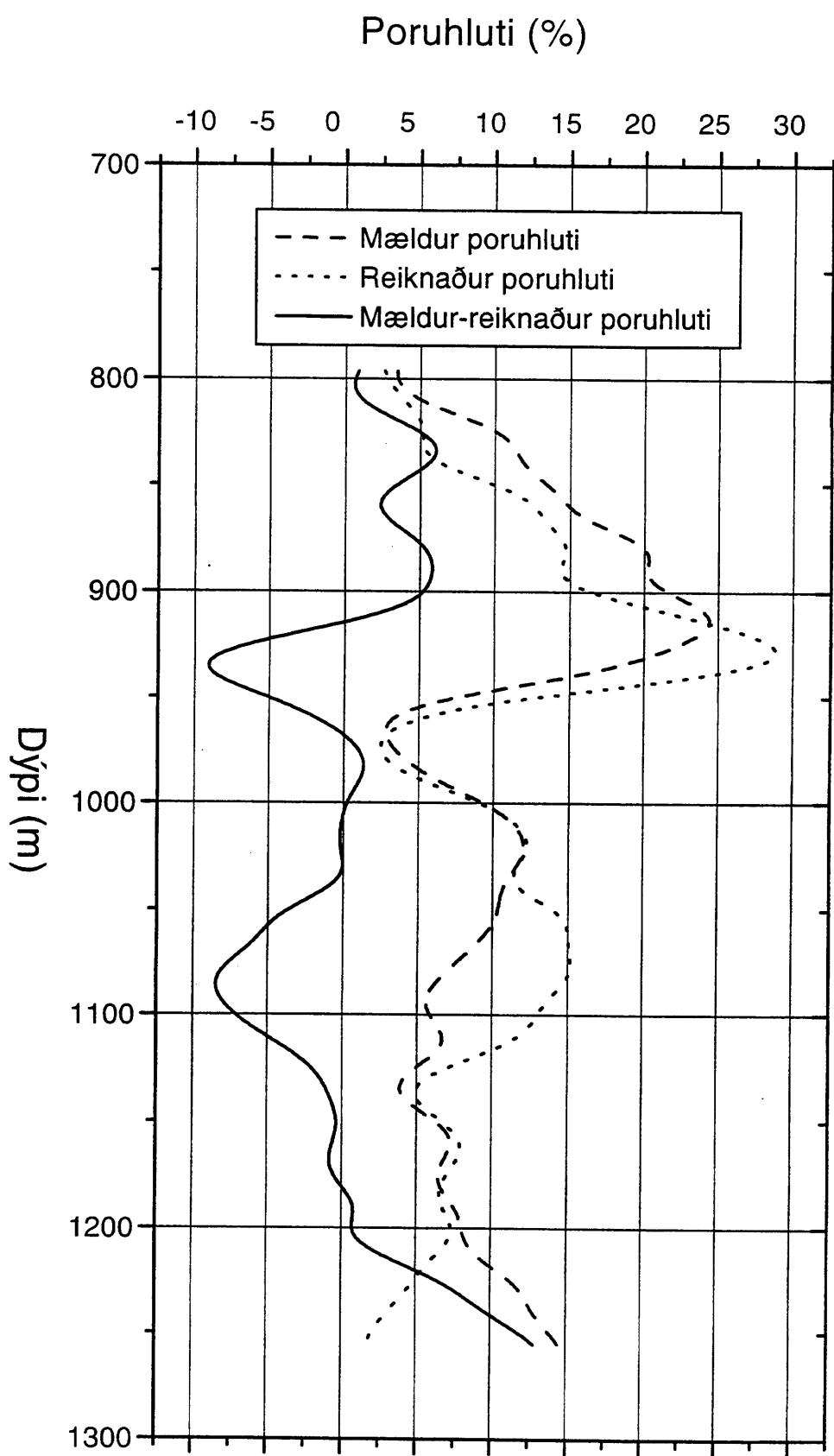
**Tafla 5.** Stuðlar bestu lína gegnum mælipunktana á myndum 4.3.3a og c ásamt tilheyrandi gildum fyrir viðnám poruvökvan og Archie-stuðulinn  $m$ .

	Öll mæligildi	Meðaltöl	Miðgildi
Skurðpunktur við 100% poruhluta ( $\log_{10} R_w$ )	0.44	-0.40	-0.50
Viðnám poruvökva ( $R_w$ )	2.8 Ohmm	0.40 Ohmm	0.32 Ohmm
Hallatala (-m)	-0.35	-1.27	-1.22
Archie stuðull (m)	0.35	1.27	1.22
Fylgnistuðull	-0.48	-0.89	-0.89
Staðalfrávik	0.31	0.14	0.14
Fjöldi punkta	897	9	9



**Mynd 10.** Samband viðnáms og poruhluta í vinnsluhluta holu SJ-17.

- Öll mæligildi. Viðnámið fellur með vaxandi poruhluta, en sambandið er losaralegt.
- Meðaltöl og miðgildi bergflokkanna á mynd 9 ásamt dreifingu mæligildanna um miðgildin. Meðaltölin táknuð með ferringum, en miðgildin með hringjum. Meðaltal og miðgildi hvers bergfloks tengt með grónnu striki. Dreifing mæligildanna er sýnd með kössum á svipaðan hátt og á mynd 9, þ.e.a.s. 50% gildanna liggja innan brúna kassanna, en 25% utan þeirra til beggja handa eftir ásunum.
- Bestu línar gegnum meðaltöl og miðgildi bergflokkanna á mynd 9. Breiða linan er besta lína gegnum meðaltölin, en sú granna besta lína gegnum miðgildin. Stuðlar linana eru gefnir í töflu 5 ásamt tilheyrandi gildum fyrir viðnám poruvökvans og Archie-stuðulinn m.



**Mynd 11.** Samanburður á mældum og reiknuðum poruhluta vinnsluhluta holu SJ-17.  
Nánari skýring í texta.

## 5 UMMYNDUN

Þegar jarðhitavatn leikur um berg tekur það að ummyndast. Hraði ummyndunarinnar svo og ummyndunarstig ráðast af mörgum samverkandi þáttum, en af þeim eru hiti og vatnsleiðni einna áhrifamestir. Oftast er litið á ummyndun frá tveimur sjónarhornum. Annars vegar er horft á áhrif jarðhitans á frumhluta bergsins, svo sem gler, ólivín, pýroxen og plagióklasa, en hins vegar á það hvaða steindir jarðhitavökvinn hefur fellt út og hversu mikið. Þrjár aðferðir voru hér notaðar til að fá sem gleggsta heildarmynd af ummyndunarmynstrinu. Fyrst skal telja svarfgreiningu með 'stereoismásjá', þar sem hvert sýni var athugað. Í annan stað voru þunnsneiðar 42 sýna skoðaðar í bergfræðismásjá, og í þriðja lagi voru útfellingar greindar með bylgjubeygu röntgengreisla (XRD). Alls voru 26 sýni útfellingsteinda röntgengreind, en 31 sýni leirsteinda.

Kaflinn skiptist í fjóra hluta. Í þeim fyrsta er fjallað um hvernig ummyndun bergsins breytist með dýpi. Í öðrum hluta er sagt frá dreifingu ummyndunardeinda í holunni og í þeim þriðja er sýnt hvernig útfellingar raða sér í tíma og rúmi. Í fjórða hlutanum er frekari umræða um hvað ummyndunin segir okkur um jarðhitakerfið sem hola SJ-17 er boruð í.

### 5.1 Bergummyndun

Jarðlagastaflinn á Reykjanesskaganum er nær eingöngu úr gosbergi og að litlu leyti innskotsbergi, og er hvort tveggja basalt að samsetningu. Þegar bráðin kvika kólnar tekur hún að storkna. Hraði storknunarinnar hefur áhrif á hvort og hvernig bergið kristallast. Ef kvikan storknar hratt nær hún ekki að mynda kristalla og bergið verður gler að mestu. Ef kvikan storknar hægar, fær hún tíma til að kristallast, og verða kristallarnir því stærri sem þeir eru lengur að myndast, þótt efnasamsetning ráði einhverju um endanlega stærð kristalla. Helstu kristallar sem finnast í basísku bergi eru plagióklasi, pýroxen, málmur (magnetít, ilmenít) og ólivín. Glerið og áðurnefndar kristaltegundir eru mis-viðkvæmar fyrir jarðhita, og eru ólivín og gler þeirra viðkvæmust.

Ummundun bergsins var metin eftir auga í þunnsneiðum og eru niðurstöður þess mats sýndar á mynd 12 og í töflum 6a,b,c,d. **Ólivín** virðist vera viðkvæmast fyrir ummyndun, því það hefur að miklu leyti ummyndast neðan 100 m dýpis, og algerlega neðan tæplega 400 m dýpis. Það ummyndast, eins og tafla 6 sýnir, aðallega í *iddingsít* og *leir*, og sums staðar ofan 750 m hefur ólivínið lotið í lægra haldi fyrir *kalsíti*. Í þunnsneiðum sýna af 572 m og 708 m dýpi hefur það ummyndast yfir í *sphen*, og á um 1152 m dýpi hefur ólivínið ummyndast í *kvars*. **Gler** er að miklu leyti ummyndað frá tæplega 400 m dýpi og algerlega frá rúmlega 550 m dýpi. Glerið ummyndast mest í leir en einnig sést ummyndun þess í *kalsít*, *stilbit*, *sphen* og *oxun*. **Plagióklasi** sýnir mun meira viðnám gegn ummyndun eins og áður hefur verið sagt. Fyrsti vottur um ummyndun þessarar steindar er á um 320-350 m dýpi þar sem örfínar leirfylltar sprungur hafa myndast í kristöllunum. Ummyndun hans byrjar þó eiginlega ekki fyrr en neðan um 550 m dýpis. Ummyndunin er einna mest frá um 700 m niður á tæplega 900 m dýpi þar sem allt að helmingur steindar þessarar hefur horfið á vit annarra.

**Tafla 6a og b.** Ummmyndun á a) gleri og b) ólivíni.

a)

Dýpi (m)	Gler	Umm. %	Leir	Kalsít	Stilbít	Sphen	Oxun
112	20	x					
124							
152	70	x					
230	50	x					
284	20	x					
322	50	x					
348	30	x					
388	25	x					
388	100	x	x				
414	75	x					
438	80	x					
464	90	x	x	x			
488	90	x					
552	100	x	x				
572	100	x	x		x		
592	100	x					
618	100	x					
646	100	x					
674	100	x					
708	100	x			x		
754	100						
796	100						
854	100	x					
874	100	x	x				
990	100	x			x		
1048	100	x					
1152	100	x				x	
1222	100						

b)

Dýpi (m)	Olivín	Umm. %	Iddings	Leir	Kalsít	Sphen	Kvars
88		5	x				
112		70	x	x			
124		60	x	x	x		
198		100	x	x			
230		75	x	x			
256		80	x	x			
284		80	x	x	x		
322		100	x	x			
370		70	x	x			
388		50	x	x	x		
388		100		x	x		
488		100		x	x		
488		100		x	x		
572		100		x	x	x	x
618		100		x			
674		100	x	x			
708		100	x	x			
740		100	x	x	x		
754		100	x	x			
796		100	x	x			
836		100	x	x			
904		100		x			
990		100					
1100		100		x			
1152		100		x			x

Frá 900 m niður undir botn holunnar virðist ummyndun yfirleitt vera minni en 30% nema á um 1130 m dýpi þar sem um þrír fjórðu hlutar plagióklasans hafa ummyndast, og síðan í 1222 m rétt ofan við skoltapsstaðinn hækkar ummyndunin upp í tæpan helming. *Albit* og *leir* eru helstu ummyndunarsteindir plagióklasa, og neðan 650 m dýpis verður einnig vart ummyndunar hans í *epidót* og *kalsít*. Athyglisvert er, að epidótummyndun er sérlega áberandi í plagióklasdílum basaltsins á þessu dýptarbili, og er algengari en útfelling epidóts í holrými, sem er yfirleitt ráðandi í öðrum háhitakerfum. *Sphen* ummyndun greindist aðeins á tveimur stöðum í holunni neðan 1000 m. *Wairakit* og *adularia* koma fyrir sem ummyndun á plagióklasa á 1030-1050 m og svo á 1130-1150 m dýpi.

**Tafla 6c og d.** Ummmyndun á c) plagióklasa og d) magnetíti.

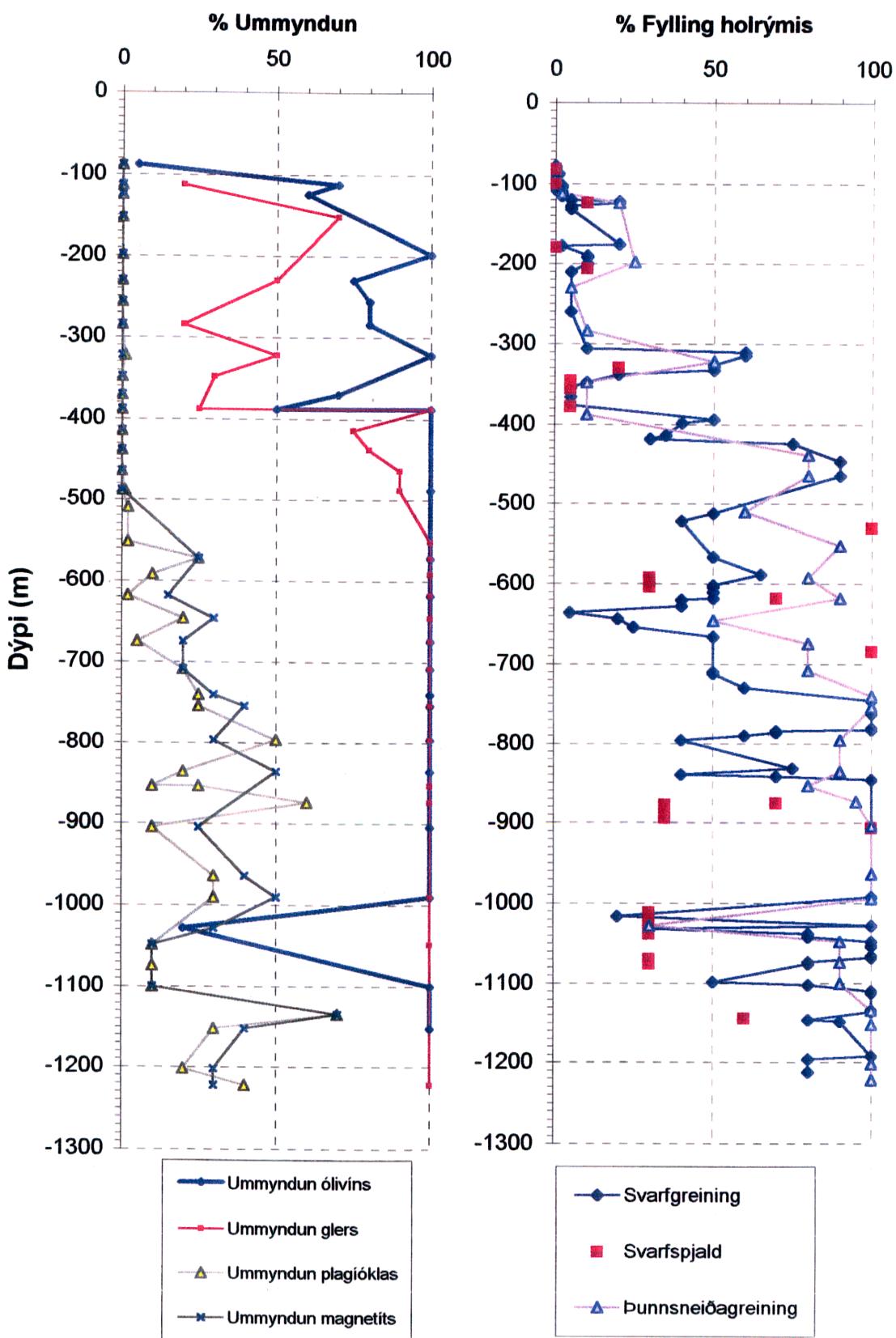
a)

Dýpi (m)	Plagióklas									
	Umm. %	Leir	Albit	Epidót	Kalsit	Sphen	Wair.	Anhyd.	Adúl.	
88	0									
112	0									
124	0									
152	0									
198	0									
256	0									
284	0									
322	1	x								
348	1	x								
370	0									
388	0									
388	0									
414	0									
438	0									
464	0									
488	0									
488	1		x							
510	0									
552	2		x							
572	5	x	x							
592	10	x	x							
618	10	x	x							
646	20	x	x							
674	2		x	x	x					
708	20	x	x	x	x					
740	25	x	x	x	x					
754	25	x	x	x	x					
796	50	x	x	x	x					
836	50	x	x	x	x					
854	10	x	x	x	x					
874	20	x	x	x	x					
904	60	x	x	x	x					
964	10	x	x	x	x					
990	30	x	x	x	x	x				
1028	20	x	x	x	x	x	x	x	x	
1048	10	x	x	x	x	x	x	x	x	
1074	10	x	x	x	x	x	x	x	x	
1100	10	x	x	x	x	x	x	x	x	
1134	70	x	x	x	x	x	x	x	x	
1152	30	x	x	x	x	x	x	x	x	
1202	20	x	x	x	x	x	x	x	x	
1222	40	x	x	x	x	x	x	x	x	

b)

Dýpi (m)	Magnetít		
	Umm.%	Sphen	Oxun
88	0		
112	0		
124	0		
152	0		
198	0		
230	0		
256	0		
284	0		
322	0		
348	0		
370	0		
388	0		
414	0		
438	0		
464	0		
488	0		
572	25	x	
618	15	x	
646	30	x	x
674	20	x	x
708	20	x	x
740	30	x	x
754	40	x	x
796	30	x	x
836	50	x	x
904	30	x	
964	40	x	
990	50	x	
1028	30	x	
1048	10	x	
1100	10	x	
1134	70	x	
1152	40	x	
1202	30	x	
1222	30	x	

Wairakít er, eins og bent er á í kafla 5.6, einna síðast að falla út í jarðhitakerfinu, og adúlaría er oft talin tengjast góðri lekt. Hvort tveggja passar mjög vel við að á báðum stöðum koma fram góðar vatnsæðar. Á fyrri staðnum sést plagióklasi einnig hafa ummyndast í *anhýdrít*. **Málmur (magnetít/ilmenít)** sýnir svipaðan stöðugleika og plagióklasi, og ber ekki á ummyndun hans fyrr en neðan 550 m dýpis. Ummyndun hans yfir í sphen (titanít) er hvergi alger, en er mjög svipuð og plagióklasa eins og best sést á mynd 12. Áberandi oxun sést í málminum á 650-680 m dýpi, en það er líklegast vegna hitaáhrifa frá ganginum sem þar liggur nærrí.



**Mynd 12.** Bergummyndun og fylling holrýmis.

## 5.2 Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti

Mynd 13 sýnir dreifingu ummyndunarsteinda í holu SJ-17, og eru þær táknaðar á myndinni eftir greiningaraðferð. Á sömu mynd er sýnt einfaldað jarðlagasnið, staðsetning innskota og skipting ummyndunar í beltí. Þá eru vatnsæðar einnig sýndar vegna samhengis við ummyndunina.

**Karbónöt.** Karbónöt eru hópur steinda sem allar innihalda  $\text{CO}_3^{2-}$ , eins og nafnið gefur til kynna. Í þessari holu fundust alls fimm gerðir karbónata, sem aðgreindar voru að hluta til í svarfgreiningu og þunnsneiðagreiningu, en röntgengreiningar staðfesta tegundaheitið best.

**Kalsít** ( $\text{CaCO}_3$ ). Hluti þess kalsíts, sem merkt er á mynd 13, kann að vera önnur karbónöt, einkum það sem greint er ofan 300 m dýpis. Í svarfgreiningu er sá háttur hafður á að láta dropa af saltsýru á hluta sýnisins Ef viðkomandi karbónatsteind freyðir er það talið merki um kalsít, en ef hún freyðir ekki, er líklegt að um annað karbónat sé að ræða. Magn kalsíts er fremur takmarkað, borið saman við önnur háhitavæði. Kalsít er, eins og sýnt er fram á í kafla 5.4 um tímavensl útfellinga, með síðustu steindum sem falla út í jarðhitakerfinu. Kalsítummyndun á plagíóklasa finnst neðan við 750 m dýpi. Kalsít sprungufyllingar eru töluvert algengar, eins og sést á mynd 17, og er vert að minnast á aukningu slíkra sprungufyllinga neðan um 1050 m dýpis, en þar er kalsít megintegund sprungufyllinga. **Ankerít** ( $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe}^{+2},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ ) finnst í röntgengreiningu á um 250 m dýpi og hugsanlegt að það finnist í svarfgreiningu á um 270 m dýpi. **Dólómít** ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) fannst á einum stað á um 250 m dýpi í röntgengreiningu. **Síderít** ( $\text{FeCO}_3$ ) greindist á fjórum stöðum á tveimur dýptarbilum, annars vegar í svarfgreiningu á 100-120 m dýpi og hins vegar í röntgengreiningu á 335 og 375 m dýpi. Síderít er, eins og efnagreiningin gefur til kynna, járnkarbónat. Það er því fremur rauðbrúnleitt og myndar smáar kúlur á blöðruveggjum. **Aragónít** ( $\text{CaCO}_3$ ) hefur sömu efnasamsetningu og kalsít, en aðra kristalgerð. Það fannst á tveimur stöðum í röntgengreiningum, á um 250 m dýpi og svo á um 370 m. Öll þessi karbónöt, að undanskildu kalsítinu, finnast við lægri hita en 200°C, líkt og í Svartsengi, og er þetta líklegast merki um grunnvatn sem hefur hitnað og yfirmettast með tilliti til þessara karbónata.

**Límonít** ( $\text{H}_2\text{Fe}_2\text{O}_4(\text{H}_2\text{O})_x$ ) er járnoxíð og myndar rauðlitaðar kúlur á holuveggjum. Það greindist á um 100 m dýpi, 230 m dýpi og síðan á um 630 m dýpi. Límonít er fremur algeng steind í tiltölulega köldu grunnvatni, og er með fyrstu útfellingum sem verða til í grunnvatns- og jarðhitakerfum. **Iddingsít** ( $\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot3\text{SiO}_2\cdot4\text{H}_2\text{O}$ ) er ummyndunarsteind sem herjar á ólivín og myndar rauðbrúna húð, aðallega eftir megin-kleyfniflötum kristallanna. Iddingsít á það gjarnan til að breytast í límonít, en á þessu var ekki gerð nein sérstök athugun.

**Kísilsteindir** eru flokkur þar sem  $\text{SiO}_2$  er í fyrirrúmi. Þær eru hitaháðar, þar sem ópall myndast við lægstan hita (<120°C), síðan tekur við kalsedón (120-180°C), og ofan 180°C myndast kvars. Víða sést að ópall hefur breytst í kalsedón og síðan kvars með hækkandi hita, og er þannig stundum unnt að sjá hvort það kvars sem nú greinist hafi upphaflega verið ópall eða kalsedón. Slíkt hefur þýðingu, þegar reynt er að setja útfellingarnar í aldursröð og meta fornrita í jarðhitakerfinu. **Ópall** finnst aðallega frá um 120 m niður á um 160 m dýpi, en vottur hans finnst á stöku stað allt niður á

rúmlega 500 m dýpi. Ópallinn er hvít- til gulleitur og lítt kristallaður og sest sem þunn húð á blöðruveggi eða sem lagskipt set í holrými. **Kalsedón** þekkist á tærum og örlítið vatnsbláum lit. Oft er það lagskipt og, að því er virðist, ókristallaður í svarfgreiningu. Hann myndar oftast húð á holuveggi. Kalsedón finnst aðallega á tveimur dýptarbilum; frá um 280 m dýpi niður á 330 m, og svo frá rúmum 500 m niður á um 800 m dýpi. Í þunnsneiðagreiningu sést greinilega að kalsedón hefur endurkristallast í kvars neðan 500 m dýpis, enda hiti þar kominn vel yfir 200°C. Ástæða þess að kalsedón er rakið þangað niður er sú, að það markar ákveðið útfellingatímabil í sögu upphitunar í jarðhitakerfinu. **Kvars** greinist fyrst á um 480 m dýpi og verður algeng steind frá rúmlega 500 m dýpi. Í svarfgreiningu þekkist kvars á sexstrendri kristallögum, en erfitt er í röntgengreiningu að þekkja sundur kvars það sem myndast hefur á kostnað kalsedóns og hitt sem fallið hefur út beint úr jarðhitavökvanum. Kvarts virðist algengast á dýptarbilinu frá 530 m niður á um 850 m, en er ekki eins áberandi þar fyrir neðan, þótt vissulega sé það til staðar alla leið til botns.

**Zeólítar** eru steindaflokkur sem mikið er notaður til að meta hitastig í bergi. Zeólítar eru ekki algengir í holusvarfinu í SJ-17. Vottur af **kabasíti** finnst á rúmlega 250, 340 og hugsanlega á 430 m dýpi. **Tomsónít** er heldur algengara, það finnst fyrst við æðina í 110-130 m og síðan á dýptarbilinu frá um 230 m niður undir 350 m. Tekið skal fram að oft er ekki auðvelt að sjá mun í svarfgreiningu á milli sveipmyndaðs karbónats og tomsóníts. **Analísí** greindist á þróngu dýptarbili frá um 420 m niður á um 470 m dýpi, og er gott samræmi á milli svarf-, þunnsneiða- og röntgengreininga. **Stilbít** sást í þunnsneið á tveimur stöðum á 430-460 m dýpi, og hugsanlega í svarfgreiningu á tveim öðrum stöðum ofan 520 m. Stilbíti og anhýdríti svipar nokkuð saman í svarfgreiningu, og má vera að svarfgreiningin sé ekki nægilega örugg. **Mordenít** finnst á þróngu dýptarbili frá um 480 m niður á um 530 m dýpi. Aðeins sér votta fyrir **laumontíti** á einum stað á rétt rúmlega 500 m dýpi. **Wairakít** er eina zeólítategundin sem þolir hærri hita en 200°C. Wairakít er ekki algengt í SJ-17 og einskorðast við 1020-1060 m dýpi, og svo við um 1130 m dýpi, en á báðum þessum stöðum er góð lekt í holunni. Eins og getið er um í kafla 5.4 hér á eftir er wairakít sú steind sem síðust er talin falla út í jarðhitakerfinu. Það, að hún einskorðist við svæði í holunni þar sem vatnslekt er virk, staðfestir þá mynd.

**Epidót** ( $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$ ) finnst fyrst á 670 m dýpi og greinist þaðan og allt niður á botn. Eins og sést á myndum 13 og 14 er magn þess breytilegt, frá því að vera mjög algengt í að hverfa alveg, t.d. finnst það ekki á milli 900 og 950 m, né frá 1100 að 1130 m dýpi. Í þunnsneiðum virðist sem epidót einskorðist við ummyndun á plagíóklasdílum allt niður á 836 m dýpi, en þar finnst epidót í fyrsta skipti sem holufylling. Epidót ummyndun á plagíóklasa er áfram nokkuð algeng neðar í holunni eins og sést í töflu 6c. Epidótummyndun er sérkennileg efst í epidótbeltinu, því hún einskorðast við ummyndun á plagíóklasa um miðbik klórít-epidótbeltsins eða neðar, og rekur höfund ekki minni til að hafa séð slíkt í öðrum jarðhitakerfum. Á hinn bóginn verður oft vart að plagíóklasdílar eru viðkvæmari fyrir ummyndun en plagíóklas í grunnmassanum, og hefur einnig verið sýnt fram á slíkt á efnafræðilegum forsendum (Sigurður Gíslason og Stefán Arnórsson 1990). Á mynd 14 er sýnt mat á magni epidóts af svarfspjaldi sem fall af dýpi í holu. Epidót er í litlu magni niður á um 850 m dýpi, þaðan og niður á 1000 m verður eilítill aukning, en á milli 1000 og rúmlega 1100 m er epidót mjög algengt, og svo neðan um 1160 m eykst epidótið á ný. Epidót virðist myndast á þriðja útfellingatímabilinu (sjá kafla 5.4), og ætti tilvist þess því að falla

nærri núverandi ástandi jarðhitakerfisins. Vottur af **wollastoníti** ( $\text{CaSiO}_3$ ) finnst aðeins á tveimur stöðum í holunni, annars vegar á um 1100 m dýpi, og hins vegar á tæplega 1200 m dýpi. Tilvist þess var staðfest í þunnsneið á síðarnefnda staðnum. Hugsanlega vottar fyrir **granati** ( $\text{CaFe}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) í þunnsneið á um 1220 m dýpi. Reynsla af granati og wollastoníti er sú að þau byrja að myndast við um  $270^{\circ}\text{C}$ . **Albit** ( $\text{Na}_2\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ) finnst aðallega sem ummyndun á plagióklasa, eins og er sýnt í töflu 6c. Albít ummyndun sést í flestum þunnsneiðum sem teknar eru neðan 480 m dýpis. **Adúlaría** ((K,Na) $\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ) er K-ríkur feldspat. Hún er algeng í erlendum háhitakerfum þar sem ísúrt og súrt berg eru meginhluti jarðlagastaflans. Hér á landi er steindin mun sjaldgæfari, enda jarðlagastaflinn að mestu úr basalti. Adúlaría hefur verið tengd sterklega við lekt, og svo vill til að í holu SJ-17 finnst hún í tveimur þunnsneiðum í nokkru magni á um 1030-1040 m dýpi og svo á um 1140 m dýpi, en á báðum stöðum eru áberandi vatnsæðar. **Anhýdrít** ( $\text{CaSO}_4$ ) er algeng steind í holunni, eins og vænta má í söltu jarðhitakerfi. Það kemur fyrir tvívegis, fyrst í tveimur sýnum á 190-200 m dýpi, og síðan birtist það nokkuð reglulega neðan 470 m dýpis. Anhýdrít er aðallega af tveimur gerðum. Annars vegar eru mjög smágerðir kristallar í 'klumpum', líkir sykurmolum, og koma þeir oftast fyrir sem sprungufyllingar eða í stærri blöðrum í bergen. Þessar útfellingar virðast einskorðast við tvö dýptarbil; annars vegar frá um 525 að 672 m dýpi, og er líklegt talið að það tengist sprungum með jaðri berggangs sem holan sker. Aftur verður vart við 'sykur'-anhýdrít neðan 1170 m dýpis. Slíkar sprungufyllingar voru mjög algengar í holunni í Eldvörpum, og hafa einnig sést á Reykjanesi og í Svartsengi. Þessi gerð af anhýdríti er talin einkennandi fyrir kaldari sjávarvökva sem flæðir inn í heitara berg. Það er yfirleitt eina steindin sem finnst í viðkomandi sprungum, sem bendir til að það falli út hratt. Þetta ætti að falla saman við góða lekt af slíkum utanaðkomandi vökvum, en jafnframt hraðvirka útfellingastíflun. Hin tegund anhýdríts birtist sem velformaðir kristallar í blöðrum bergsins. Ekki er ljós skyldleiki milli þessara tegunda anhýdríts, en talið er að það síðarnefnda sé fremur tengt jarðhitakerfinu sjálfu en innflæði kaldari vökvum inn í jarðhitakerfið. Afstæður aldur þessa anhýdríts er ekki ljós; vísbendingar eru um að það hafi fallið út frekar snemma, þó einnig finnist merki um að það tengist yngsta útfellingatímanum (sbr. mynd 16). **Sphen** (**títanít**) ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) finnst fyrst í einu sýni á 460 m dýpi, en síðan ekki fyrr en neðan um 560 m dýpis. Það er algengast sem ummyndun á málmsteindum (magnetít/ilmenít), en einnig vottar fyrir sphenummyndun á plagióklasa, olívíni og gleri (sbr. töflu 6a,b,c,d).

**Hitaummyndun.** Í rannsókn á svarfi úr holu EG-2 í Eldvörpum (Hjalti Franzson 1996) komu í ljós mjög sterk hitaáhrif við jaðra þeirra innskota sem holan fór í gegnum, og var það í fyrsta skipti sem sérstök athugun var gerð á því fyrirbrigði í svarfgreiningu. Eitt af þeim vandamálum sem koma upp í túlkun á innskotum á grundvelli svarfgreiningar er mat á halla þeirra í berggrunninum. Nauðsyn þeirrar vitneskju tengist því að oft fylgir lekt þessum innskotaflötum, og fást þá auknar upplýsingar um stefnu lektar í jarðhitakerfinu. Áberandi hitaummyndun í svarfsýnum, án þess að sjáist til innskots á tiltölulega löngu dýptarbili, gefur sterkar vísbendingar um nærveru innskots, og þar með að innskotið liggi samsíða holunni, sem oftast er nær lóðrétt. Ekki verður vart við slíka ummyndun við jaðra innskota nema stöku sinnum, og er líklegt að hitaáhrifin séu bæði háð þykkt innskotsins og því hve mikil kvika hefur flætt eftir ganginum. Til dæmis má vænta mun meiri hitaummyndunar frá gosgangi en kvikuinnskoti sem fleygar jarðlagastaflann, stöðvast og kólnar.

Hitaummyndunin virðist einnig tengjast aukningu í járni, og er lagskipt, þannig að næst innskotinu sést pýroxenið verða járnrikt og magnetít sest fyrir í bergi og blöðrum, en er fjær dregur hverfa áhrifin á pýroxenið en magnetít og oxun koma fram. Í ysta beltinu verður oxun mest áberandi. Erfitt er að gera sér grein fyrir þykkt þessara belta, en hún getur verið frá nokkrum tugum sentimetra upp í metra eða meira. Hitaummyndun finnst á tveimur dýptarbilum í holunni: **Oxun** er áberandi frá 470 m niður á um 650 m, **magnetít** ( $Fe_3O_4$ ) og **klínó-pýroxen** hafa mun afmarkaðri útbreiðslu og finnast aðallega frá um 600 m niður á um 640 m. Þessi hitaummyndun tengist líklega basaltinnskoti, sem holan sker á nokkrum stöðum frá rúmlega 470 m niður á tæplega 600 m dýpi. Oxun tekur að aukast neðan um 1020 m dýpis og greinist allt niður á ca. 1180 m, og frá um 1140 niður í ca. 1170 m greinist magnetít og klínó-pýroxen. Síðari hitaummyndunin er mun veikari en sú efri, og ekki fundust neinar vísbendingar um að holan skæri innskot. Athyglisvert er þó að frá 1170 m niður á rúmlega 1200 m dýpi sjást sprungufyllingar af anhydriti, eins og reyndust algengar fram með efra innskotinu. Þetta styrkir þá skoðun að lóðréttur strúktúr (berggangur) liggi nærrí holunni neðan 1000 m dýpis, og er möguleiki á að hann tengist meginlekastrúktúrnum í botni holunnar.

**Oxun** af völdum grunnvatns getur einnig verið áberandi, t.d. sést það glöggt í svarfsýnum úr höggborsholunni að oxun hraunlaga byrjar á sama dýpi og vatnsborðið í holunni (26 m). Einnig verður oxunar vart við efra bord hraunlaga, og orsakast hún af hita frá næsta hraunlagi fyrir ofan.

**Pýrit** ( $FeS_2$ ) er, miðað við önnur háhitakerfi, ekki algeng steind í holu SJ-17. Pýrit hefur oft verið notað sem vísbending um lekt, enda er  $H_2S$ , sem er í upplausn í jarðhitavatninu, aðalvaldur pýritútfellinga. Pýrits verður vart á einum sex dýptarbilum í holunni. Það efsta er á 110-130 m dýpi, en þar varð vart við fyrstu jarðhitaummyndun í holunni. Næst verður vart við pýrit í einhverju magni á um 450-480 m dýpi. Á tæplega 600 m dýpi vottar fyrir pýriti, sem gæti tengst smávatnsæð sem þar finnst. Pýrit er einna mest áberandi á dýptarbilinu frá um 720 m niður undir 800 m. Á sama dýptarbili verður vart við eina fimm lekastaði í holunni, sem bendir til tengsla pýrits við vatnslekt í háhitakerfinu. Pýrit finnst á stöku stað frá 930 niður á rúmlega 1030 m dýpi. Það eykst aftur neðan um 1180 m dýpis niður undir 1220 m, en þaðan fengust síðustu svarfsýnin. Mynd 14 sýnir afstæða magndreifingu pýrits í holunni, og ber henni saman við þá sem að ofan er lýst, nema að ákveðinn pýrittoppur kemur fram á 1140-1160 m dýpi. Hann er ekki sýndur á mynd 13, og er líklegt að pýritið hafi farið framhjá annars árvökulum augum svarfgreinanda á borstað. Einnig sést þar mjög áberandi aukning á pýriti frá um 1190 m niður undir 1200 m dýpi.

**Leir** er ein algengasta jarðhitaummyndun bergs. Leirtegundirnar sem myndast eru hitaháðar, og þess vegna hafa þær verið notaðar sem mikilvæg viðmið í ákvörðun á þeim hita sem ummyndun segir til um. Röntgengreiningar hafa oftast verið notaðar við ákvörðun á tegundum leirsteinda. Einnig hefur verið höfð hliðsjón af kristöllun leirsins í holrými bergsins og af áferð í þunnsneiðum.

### Kristöllun leirsteinda

Á undanförnum árum hefur verið gerður samanburður á gerð þeirra leirsteinda sem kristallast í holrýmum og niðurstöðum röntgengreininga (t.d. Hjalti Franzson 1994). Svipaður samanburður var gerður í svarfgreiningu holu SJ-17. Niðurstöður

svarfgreiningarinnar eru sýndar á mynd 13. Þar sést að fínfjaðraður leir myndar húð í holrými allt niður á 420 m dýpi, og síðan virðist fínfjaðra leir verða aftur meira áberandi milli 500 og 650 m dýpis. Fínfjaðraður leir er áberandi neðan um 800 m. Gróffjaðraður dökkgrænn leir birtist á 420 m dýpi og er ráðandi niður á um 500 m. Slangur af honum finnst svo frá um 750 m niður á tæpa 1000 m, en lítt þar fyrir neðan. Ljósgrænn gróffjaðra leir sést fyrst á 650 m dýpi og er áberandi niður undir 800 m. Ljósgrænn gróffjaðra leir verður, líkt og sá dökkgræni, lítið áberandi frá 800 m niður á botn holunnar. Mögulegt er að gróffjaðraður leir sé heldur algengari þar sem vatnsæðar koma í holuna, en því miður var þessum þætti leirgreiningarinnar ekki sinnt eins kerfisbundið í allri holunni og æskilegt hefði verið.

Líklegt er að þessi mismunandi kristöllun leirs í holrými hafi nokkra jarðhitalega þýðingu. Í Svartsengi, Eldvörpum og á Nesjavöllum virðist leir falla út í holrými við upphaf jarðhitavirkni eða við mikla breytingu í jarðhitakerfinu. Fínfjaðra leir markar oft upphaf lághitaumhverfis, gróffjaðra leir kristallast þegar hiti nær yfir  $200^{\circ}\text{C}$  í virku jarðhitakerfi, og í kjölfar þeirrar kristöllunar virðist háhitakefið færast nær yfirborði. Þessi útfelling og kristöllun virðist því tengjast lekt og lektarbreytingum. Grófkristallaði leirinn er, eins og áður sagði, með tvenns konar litaáferð; annars vegar dökkgrænn (í þunnsneið er hann mjög pleókróiskur), og hins vegar ljós- og daufgrænn (í þunnsneið daufgrænn og lítið pleókróiskur). Í SJ-17 er þessi gróffjaðraði leir myndaður á sama tíma, og er annað hvort með þessari dökkgrænu eða ljósgrænu áferð. Sú staðreynnd að gróffjaðraður leir er ekki ráðandi nema á afmörkuðum stöðum í holunni gæti bent til að lekt og/eða lektarbreytingar á tíma háhitakerfisins hafi verið takmarkaðar. Tímaröðun leirsins í holunni sýnir að það er fyrst eftir að jarðhitakerfið hefur fellt út leirsteindir að eiginlegar háhitasteindir falla út. Leirinn sýnir þannig nákvæmlega sömu hegðun og í öðrum háhitakerfum. Undirliggjandi ástæða þessara leirútfellinga á breytingarskeiði jarðhitakerfisins er ekki ljós, en velta má fyrir sér hvort hún geti tengst sambandi jarðhitavökvars við nýmyndaða sprungufleti. Sú staðreynnd að gróffjaðraður leir hefur ekki náð að myndast í meirihluta holunnar neðan 800 m dýpis gæti bent til að jarðhitakerfið við holuna hafi ekki myndast við neinn ákveðinn jarðhitaatburð. Það fellur einnig saman við þá staðreynnd að holrými er víða í holunni langt frá því að vera fyllt (sbr. mynd 12).

### Röntgengreiningar leirsteinda

Megineinkenni smektíts í röntgengreiningu er toppur í um  $13\text{ \AA}$ , sem í glýkolmettun þenst upp í um  $16\text{-}17\text{ \AA}$ , og fellur við hitun niður í um  $10\text{ \AA}$  ( $\text{\AA}$ ngström). Vottur af smektíti finnst fyrst í röntgengreiningu á 102 m dýpi, en verður áberandi í 136 m dýpi. Smektít er ráðandi niður á um 504 m dýpi. Frá 414 m fer að bera á  $14\text{ \AA}$  toppi í glýkolmettun sem gæti bent til að leirinn sé að fá yfir sig blandlagseinkenni. Þessi upphafseinkenni blandlagsins byrja á svipuðu dýpi og dökkgræni gróffjaðraði leirinn birtist í svarfinu. Smektít hverfur að mestu leyti í röntgengreiningu nema vottur sem finnst í um 580 m, tæplega 900 m og tæplega 1100 m. Þótt einhver merki um blandlagsleir komi fram í 414 m er efra borð **blandlagsbeltisins** sett á 504 m dýpi, en þar koma fyrstu merki um  $28\text{-}30\text{ \AA}$  toppa í ómeðhöndluluðu og glýkolmettuðu sýni. Blandlagsleir greinist í flestum sýnum niður á botn holunnar eins og mynd 13 sýnir. Fyrstu merki um **klórít** koma fram í sýni af 662 m dýpi og hafa flest sýni stóran klóríthluta þaðan og niður á botn holunnar. Klórít birtist á sama dýpi og grófkristallaður daufgrænn leir í svarfgreiningu.

### **5.3 Ummynndunarbelti og samanburður við berghita**

Ummynndunarbelti í holu SJ-17 eru sýnd hægra megin á mynd 13. Bergið telst vera ferskt niður á um 90 m dýpi, en þar tekur við smektít zeólítabletti sem nær niður á um 500 m dýpi. Blandlagsbelti (ca. 200-230°C) nær niður á um 650 m, klórítbelti (ca. 230-ca. 240°C) niður á 675 m dýpi, og þaðan og niður á botn holunnar ræður klórít-epidótbelti (ca. 240-270°C) ríkjum. Fleiri steindir er unnt að nota við ákvörðun hita, t.d. virðist kvars byrja að myndast við um 180°C, kalsedón um 120°C, laumontít og mordenít verða óstöðug við hita hærri en 200°C, og albítummyndun á plagíóklasa hefst við um 200°C. Wollastonít virðist yfirleitt myndast við hita hærri en 270°C. Á mynd 34 er reiknaður líklegur berghitaferill borinn saman við þann hita sem ummyn dunin segir til um. Nokkuð gott samræmi er á þessum tveimur aðferðum, eins og síðar er fjallað um.

### **5.4 Tímavensl útfellinga**

Fjöldi steinda í einstökum holrýmum er mjög breytilegur. Innbyrðis lega þeirra í hverju holrými gefur oft til kynna afstæðan aldur þeirra eins og sýnt er skematiskt á mynd 15a. Kerfisbundin athugun á röðun útfellinga í holrými getur gefið markverðar upplýsingar um þær breytingar sem orðið hafa í jarðhitakerfinu með tíma. Í allt voru athugaðar rúmlega 100 steindaraðir í holrýmum og eru þær sýndar á mynd 16. Stöplarit á mynd 15b gefur yfirlit um hversu margar steindir finnast í hverju holrými sem athugað var. Reyndust 66 vera með tveim steindum, 25 með þremur steindum og 10 með fjórum steindum. Þessi tíðnidreifing er mjög svipuð þeim sem fundist hafa á öðrum íslenskum háhitavæðum þar sem slík röðun steinda hefur verið könnuð (Hjalti Franzson 1990, 1994, 1996).

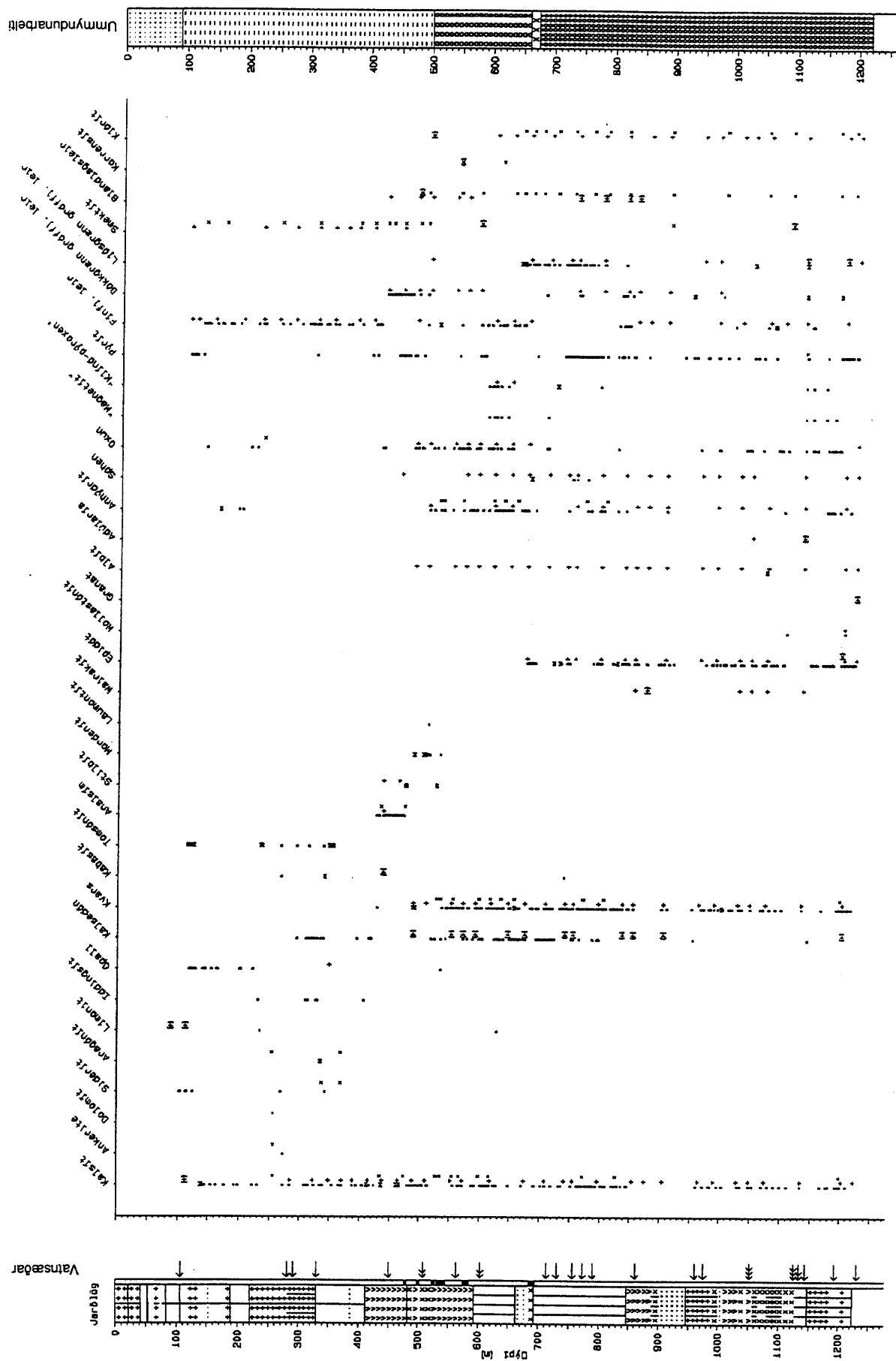
Gróflega má flokka steindirnar í þrjú tímaskeið:

1. *Oxun -> kalsedón/kvars (-> anhýdrít)*. Í þessu elsta skeiði virðist efst í kerfinu bera mest á oxun sem líklegast tengist hitaummyndun út frá berggangi sem holan sker á 500-850 m dýpi. Þar ofan á leggst kalsedón og síðan kvars (aðallega neðan 900 m dýpis). Vísbendingar um anhýdrít finnast á um 500 m og svo rétt neðan 600 m dýpis. Ekki er ljóst hvort allt það anhýdrít hafi fallið út á þessu tímaskeiði eða síðar.
2. *Fínfjaðra leir -> meðalfjaðra leir -> gróffjaðra leir (->gróffjaðra bláleitur leir)*. Fínfjaðra leirinn er einkum að finna ofan 700 m. Ofan á hann leggst yngri meðalfjaðra leir. Sá meðalfjaðra finnst aðallega frá 500-700 m og svo aftur frá rúmlega 1000 m niður undir botn holunnar. Gróffjaðra leirinn er einnig nokkuð dýptaráður, hann finnst aðallega frá tæplega 500 m niður undir 600 m dýpi og er síðan algengur frá tæpum 700 m niður á rúmlega 950 m dýpi, og neðan um 1140 m niður að neðstu svarfsýnum í holunni (1220 m). Á tveimur stöðum finnst gróffjaðra pleókróískur leir, sem er öllu bláleitari í tvíbrotslitum en klórít. Taka verður fram að gróffjaðra leir virðist ekki eins algengur neðan um 800 m og þar fyrir ofan.
3. *(Karbónat+zeólítar ->) kvars ->epidót + kalsít +kvars -> wairakít*. Í efstu 500 m jarðlagastaflans þar sem tiltölulega lágur hiti ríkir verður vart hnúðótt karbónats sem líklegast er síderít eða aragónít, og síðan falla líklegast út zeólítar. Neðan þessa dýpis fellur út kvars. Í kjölfar þess fellur út aðallega epidót og kalsít og

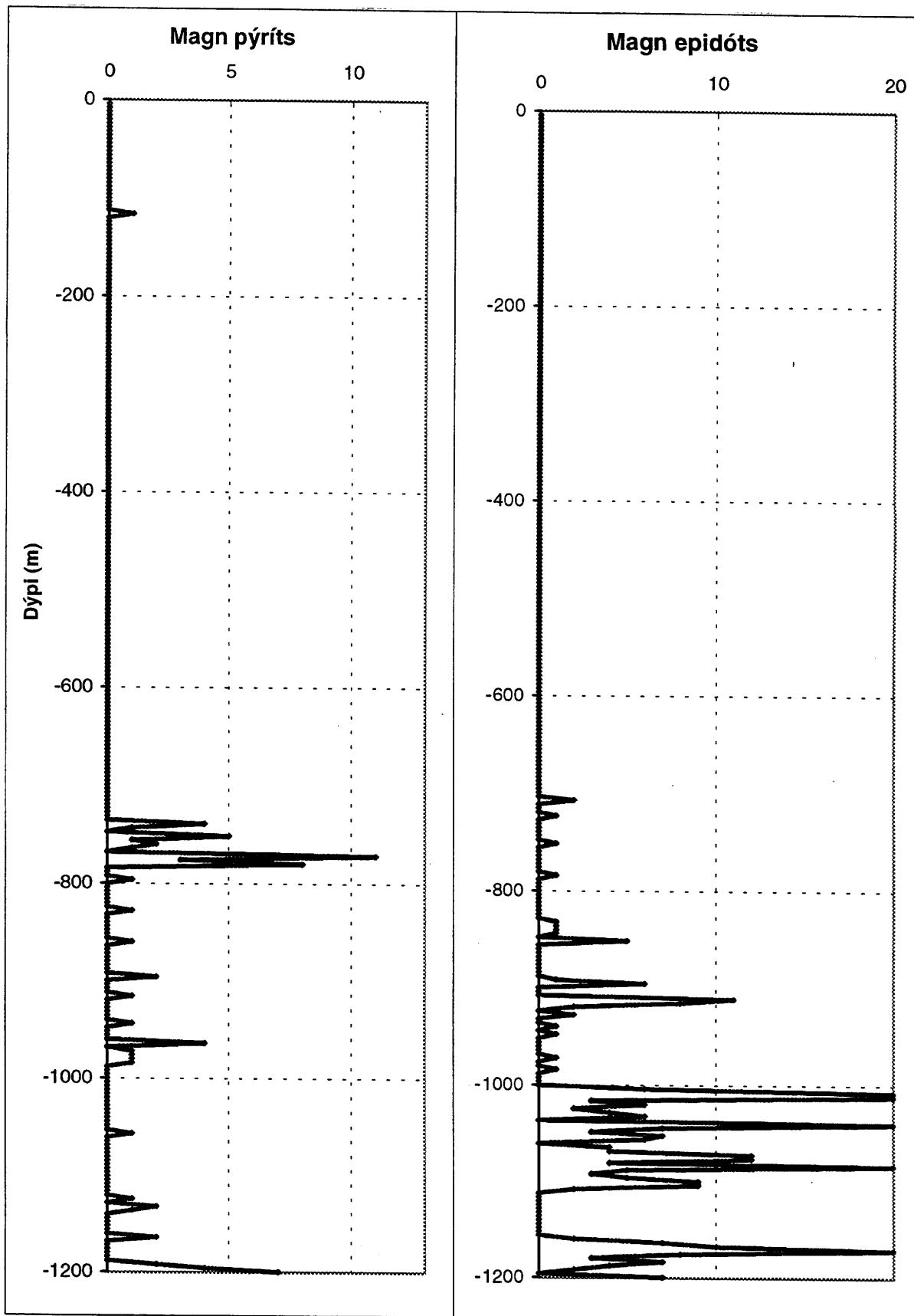
einnig vottar fyrir kvarsi og anhýdríti. Erfitt reyndist að sjá hvort epidótið hafi fallið út á undan kalsítinu, en dæmi fannst um hvorutveggja. Yngsta útfellingin neðan 800 m er líklegast wairakít.

Lausleg athugun var gerð á útfellingum í sprungum, sem fundust í svarfinu, og eru helstu niðurstöður þeirra athugana sýndar á mynd 17. Sprungufyllingar eru nær engar fyrr en komið er niður á um 370 m dýpi þar sem þær verða algengar á þróngu dýptarbili í holunni. Neðan um 480 m og allt niður undir 650 m er tölувert af sprungufyllingum. Er nokkuð augljóst að þær sprungur fylgja eftir jaðri gangs sem finnst á svipuðu dýpi. Slangur af sprungufyllingum finnst nærrí 1100 m. Sprungufyllingar verða áberandi við æðina á um 1040 m dýpi, og á tæplega 1200 m aukast æðafyllingar. Í síðasta sýninu sem kom úr holu SJ-17 verður snögg aukning í sprungufyllingum sem bendir til að þar sé holan að koma inn í sprungið berg, og er það vísbending um vatnslekt á því dýpi. Svipuð könnun á magni sprungufyllinga í svarfi var gerð á Ölkelduhálsi (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1997). Fjöldi sprungufyllinga var þar mun meiri, og komst upp í allt að tvöfaldan fjölda og í einu tilviki í fimmfaldan fjölda þess sem fannst í SJ-17.

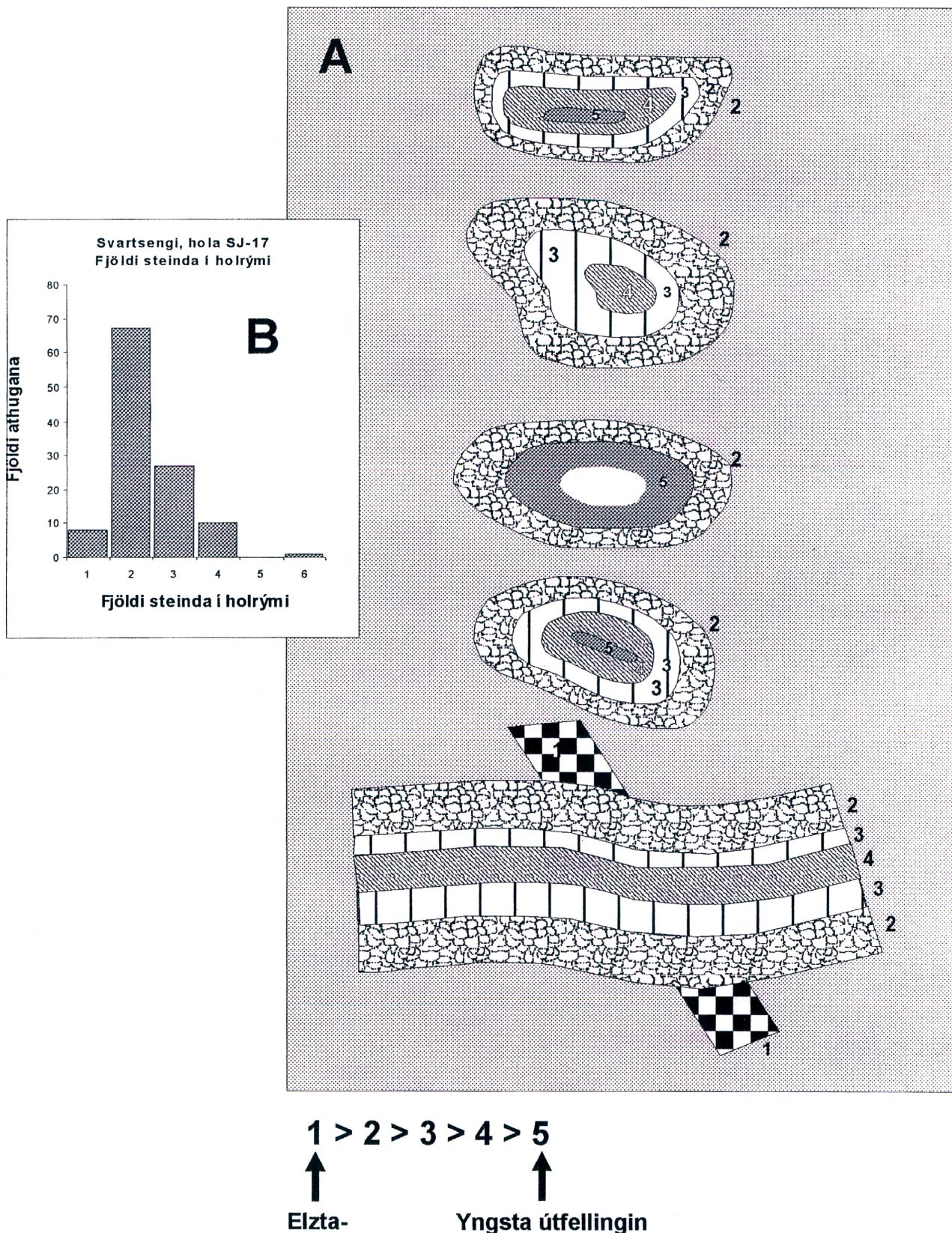
Séu þessar sprungufyllingar athugaðar í ljósi útfellingatímabila sem skilgreind eru hér að ofan, má sjá að flestar sprungufyllingarnar tilheyra yngstu útfellingakynslóðinni og á þar kalsít mestan hlut að máli. Athyglisvert er að nokkuð algengt er að sjá tiltölulega þykkar anhýdrít sprungufyllingar við jaðar berggangsins á 500-600 m dýpi, en anhýdrít hefur oft verið talið merki um innflæði sjávar í jarðhitakerfi (þ.e. upphitun vökva).



**Mynd 13.** Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunararbætti.

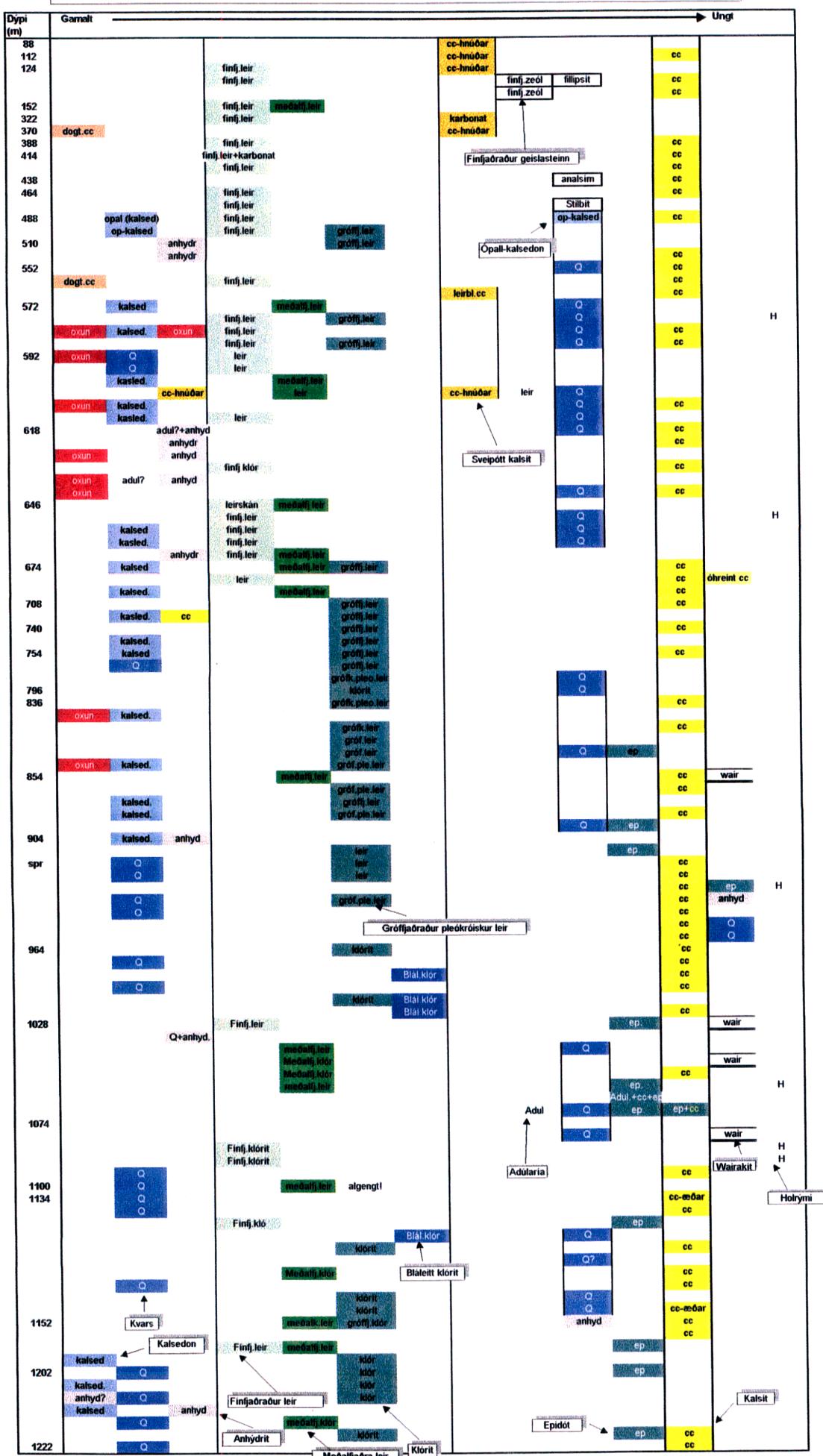


**Mynd 14.** Afstætt magn pýrítis og epidóts.



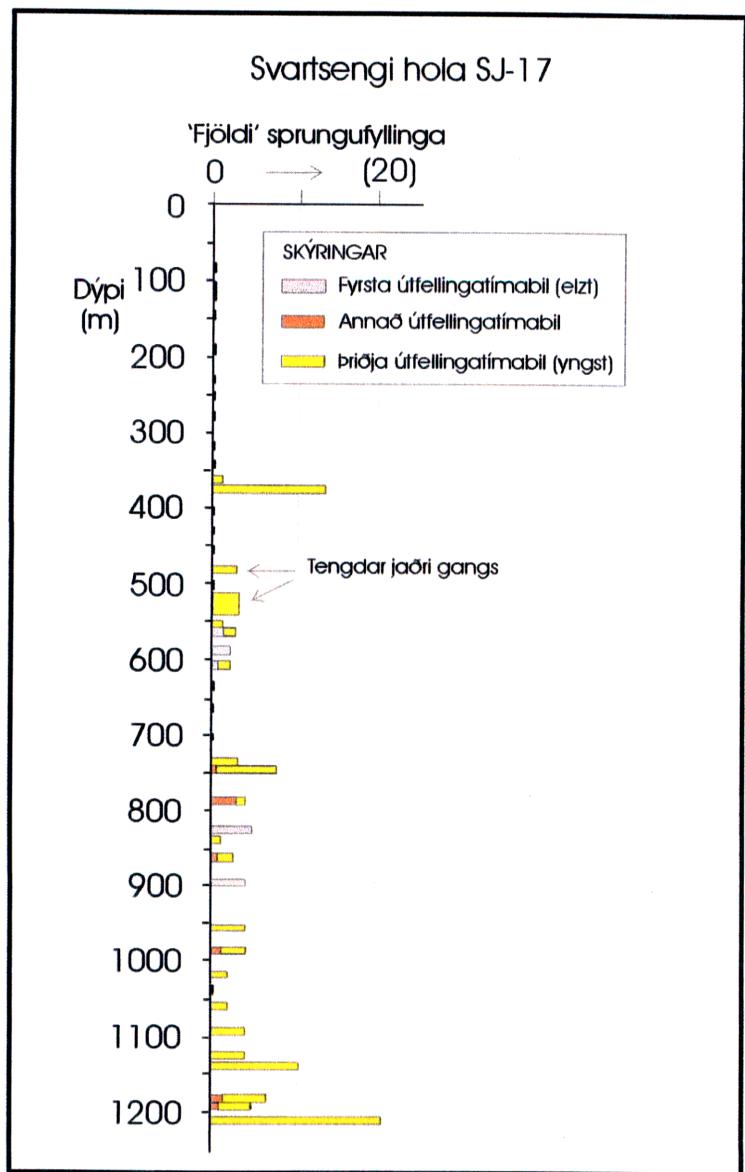
**Mynd 15.** a) Skematísk mynd sem sýnir afstæðan aldur útfellinga í holrými.  
b) Fjöldi steinda í holrými.

Hola SJ-17, niðurdælingahola. Röðun útfellinga í holrými samkvæmt þunnsneiðaskoðun



**Mynd 16.** Skematisk mynd sem sýnir afsteðan aldur *utfellinga i holymi*.

Skeið 1.	Skeið 2.	Skeið 3.
Oxun > Kalsedon/kvars (> Anhýdrit)	Finfjaðraður leir > meðalfjaðraður leir > gróffjaðraður leir > bláleitur gróffjaðraður leir	(Karbónat+zeólitar >) kvars > epidót+kalsit+kvars > wairakit



**Mynd 17.** Sprungufyllingar í svarfi.

## 6 EDLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS

### 6.1 Staðsetning vatnsæða

Mat á vatnsæðum, legu þeirra og afstæðri stærð er einkum fengið út frá gögnum um skoltöp, mælingum á hitabreytingum á skolvökva í skolvatnskassa og hitamælingum í holunni, en síðan koma einnig jarðfræðiupplýsingar (jarðlög, ummyndun og jarðlagamælingar). Gögnin eru síðan borin saman til að meta áreiðanleika þeirra og til að ákvarða sem nákvæmlegast staðsetningu æðanna.

Í borun fyrir öryggisfóðringu og niður á um 750 m dýpi var notuð borleðja, og einnig settar með glimmerflögur til að minnka sem mest öll skoltöp. Það tókst með ágætum að koma í veg fyrir skoltöp á þessu dýptarbili eða þar til að breytt var yfir í vatnsborun neðan 750 m dýpis. Að líkindum er þetta meginástæða þess að vísbendingar um vatnsæðar eru af fremur skornum skammti á þessu dýptarbili. Þau skoltöp sem mælast ofan 750 m eru yfirleitt það lítil að þau nálgast óvissumörk í skoltapsmælingum, og sjást þá einnig illa í hitamælingum.

Alls fundust vísbendingar um 23 vatnsæðar í holu SJ-17 og eru níu þeirra í vinnsluhluta holunnar. Á mynd 18 er sýnd staðsetning vatnsæðanna og afstæð stærð þeirra samkvæmt mati skýrsluhöfunda á tiltækum gögnum. Staðsetning vatnsæða er einnig sýnd á myndum 6 og 7. Einnig eru sýndar veikar vísbendingar um vatnsæðar, merktar sérstaklega með spurningamerki. Í þeim tilvikum er um að ræða vísbendingar sem koma einungis frá einni gerð gagna (t.d. skoltapi, hitamælingu), og eru ekki afgerandi í þeim mælingum. Hér á eftir er lýst helstu einkennum hverrar æðar og líklegum jarðfræðilegum aðstæðum. Dýptartölur eru miðaðar við drifborð Jötuns, sem var 6,86 m ofan við kjallarabrún. Vert er að geta þess að enn er eftir að meta vatnsæðarnar með hliðsjón af því hvernig þær standa sig í vinnslunni.

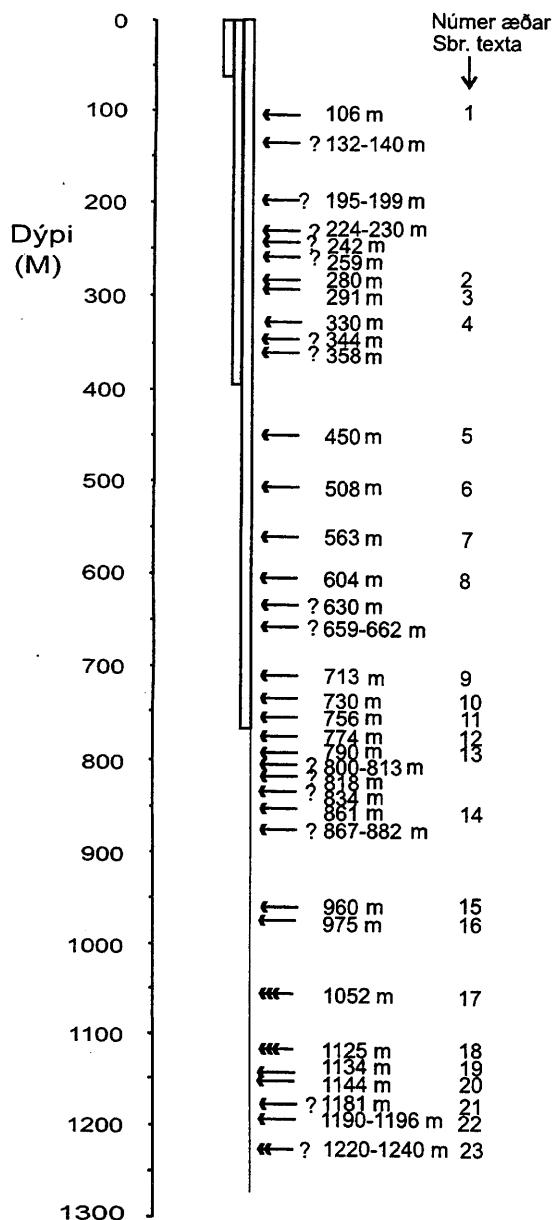
1. **106 m.** Efsta æð í holunni neðan höggborsfóðringar er í um 106 m dýpi. Í hitamælingu sést óverulegur kælipunktur og skoltap mælist rúmur sekúndulítri. Á þessum stað koma fram fyrstu merki um háhitummyndun en þau eru súlfíð. Skápur sést einnig á sama dýpi í víddarmælingu. Æðin kemur fram á lagskilum milli tveggja hraunlaga.
2. **280 m.** Á þessu dýpi verður óveruleg skoltapsauknning ( $<0,5 \text{ l/s}$ ), og í hitamælingu sést óverulegur kælipunktur. Æðin kemur líklegast fram á milli tveggja hraunlaga.
3. **291 m.** Skoltap eykst um rúman hálfan sekúndulítra og í hitamælingu sést votta fyrir kælipunkti. Tengslin við jarðfræði eru ekki glögg þar sem æðin kemur fram við miðju hraunlags.
4. **330 m.** Aðeins finnst lítill kælipunktur í hitamælingu á þessum stað. Aukning verður á ummyndun nærri þessu dýpi, þar sem ólivín hefur alveg ummyndast, aukning verður á ummyndun glers og vottar fyrir leirsprungum í plagíóklasanum. Tengsl við jarðfræðina er ekki ljós, en æðin virðist koma fram í miðju hraunlagi.
5. **450 m.** Tæplega hálfss lítra skoltap mælist á þessu dýpi og frávik kemur í hitamælingu á 450-455 m dýpi. Á þessu dýpi fer fyrst að bera á gróffjaðra leir í holrými, en slíkur leir er hitaháð steind. Æðin kemur fram í miðju þykku túff lagi. (Sjá skýringar við að í 604 m).

6. **508 m.** Rúmlega hálfs lítra aukning verður í skoltapi, og sést votta fyrir kælipunkti í hitamælingu og fráviki í mismunahita. Á þessu dýpi verður fyrst vart við albítummyndun í frumsteindinni plagióklasa. Borhraði er mikill við æðina. Æðin kemur fram um 6 m neðan við neðri mörk á gangi. (Sjá skýringar við æð í 604 m).
7. **563 m.** Á þessu dýpi vottar fyrir kælipunkti í hitamælingu, en ekki varð vart við skoltapsaukningu. Ef hér er um vatnsæð að ræða kemur hún á lagskilum innan túffs, sem einnig sjást í jarðlagamælingum. Æðin kemur fram við lagskil í túfflagi. (Sjá skýringar við æð í 604 m).
8. **604 m.** Smáaukning í skoltapi verður á þessu dýpi, en í hitamælingu kemur fram kælipunktur og frávik í mismunahita. Æðin kemur fram nærrí efri mörkum hraunlags. Eitt er sammerkt með æðum frá 450 m dýpi, en það er hitaummyndun, eða oxun, sem lýst er í kafla 5.2, og tengist jöðrum gangs, og kemur endrum og eins fram í svarfi á um 470-585 m dýpi. Þessi hitaummyndun bendir eindregið til að gangurinn liggi fast upp við holuvegginn. Í mati á sprungum sem sýnt er á mynd 17 sést að sprungur eru tiltölulega algengar á 470-610 m dýpi. Þessi tvö einkenni benda sterkelega til að vatnsæðarnar á þessu dýptaribili tengist þeim lóðréttu sprungum sem liggja meðfram ganginum. Æðarnar eru því innan lóðréttu sprunguflatar.
9. **713 m.** Óverulegur kælipunktur og frávik í mismunahita kemur fram á 712-714 m dýpi. Ef um æð er að ræða kemur hún fram innan hraunlags. Vera má að hún sé tengd berggangi sem liggur nærrí holuvegnum.
10. **730 m.** Kælipunktur í hitamælingu og frávik í mismunahita koma fram á þessu dýpi. Á svipuðu dýpi greinist áberandi pýríttoppur í svarfinu. Æðin tengist liklegast skilum á milli hraunlags og móbergsbreksíu.
11. **756 m.** Um 9 l/s skoltap verður nærrí þessu dýpi og frávik sést í einni hitamælingu. Pýríttoppar sjást í svarfi á 750-760 m dýpi. Í þunnsneiðum á 740 og 750 m dýpi verða kalsítæðar tiltölulega algengar, sem bendir til sprungulektar.
12. **774 m.** Um 13 l/s skoltap verður á um 774 m dýpi og frávik greinist í einni hitamælingu. Mjög áberandi pýríttoppur greinist á 770-780 m dýpi. Æðin kemur inn í holuna í miðju hraunlags.
13. **790 m.** Skoltap eykst um 15 l/s. Engin hitamæling gefur vísbendingar um vatnsæð á þessu dýpi. Á 790 m vottar fyrir pýríti. Á svipuðu dýpi verður vart við nokkrar leir- og kalsítæðar. Ef um vatnsæð er að ræða kemur hún fram í miðju hraunlagi.
14. **861 m.** Um 1,5 l/s skoltap verður nærrí þessum stað, og vísbendingar sjást um vatnsæð í tveimur hitamælingum. Á tæplega 860 m dýpi verður vart aukningar í pýríti. Æðin virðist liggja innan lagskipts túffs. Æðin sést vel á hitamælingu sem var gerð eftir þepaprófun, þegar volgar loftbólur streymdu út úr henni inn í holuna. Æðin kemur fram innan móbergstúffs.
15. **960 m.** Um 1,5 l/s skoltapsaukning verður á dýptarbilinu 957-967 m. Engar hitamælingar benda til æðar á þessum stað, en aukning verður á pýríti á um 960 m dýpi. Æðin kemur fram nærrí lagskilum hraunlags og þunns túfflags.
16. **975 m.** Frávik kemur fram í hitamælingu á 972-985 m dýpi, og aukning verður í pýríti milli 970-980 m dýpis. Æðin kemur fram nærrí neðri mörkum grófkorna hraunlags.
17. **1052 m.** Um 3,5 l/s skoltapsaukning verður á dýptarbilinu 1047-1065 m. Fjórar hitamælingar gefa frávik á dýptarbilinu 1052-1057 m. Aukning í pýríti kemur fram á um 1050 m dýpi. Æðin birtist í grennd við þunnt basaltlag innan móbergstúffs. Á svipuðum slóðum verður vart við nokkuð af sprungufyllingum. Í þunnsneið af 1048 m dýpi er adúlaría algeng bæði sem ummyndun á plagióklasa

og svo sem útfelling í holrými. Adúlaría er kalíum-feldspat sem gjarnan finnst þar sem vatnslekt er góð. Einnig sést í sömu þunnsneið wairakit og anhýdrítummyndun á plagióklasa. Þessi æð er talin hafa örvast umtalsvert í þrepaprófunum og er núna önnur af tveimur aðalæðum holunnar. Æðin kemur fram innan þykks túfflags. (Sjá frekari skýringar við æð 22 (1190-1196 m).)

18. **1125 m.** Aukning verður í skoltapi um eina 10 l/s frá 1110-1130 m dýpis. Kælipunktur kemur fram á um 1125 m dýpi í þremur hitamælingum, og aukning verður í pýriti á 1120-1130 m dýpi. Wairakit, sem talið er að hafi fallið síðast út í jarðhitakerfinu finnst á svipuðu dýpi sem algeng ummyndunarsteind á plagióklasa, og líkleg ummyndun plagióklasans yfir í adúlaría kemur einnig fyrir á þessu dýpi. Þessi æð er ein aðalæð holu SJ-17. Áberandi skápur kemur fram á þessu dýpi og óvenju mikill borhraði, sem bendir til linara bergs. Æðin kemur fram við skil á mikilli móbergsmyndun og hraunlagamyndun neðan hennar. (Sjá frekari skýringar við æð 22 (1190-1196 m).)
19. **1134 m.** Í 1134 m vottar fyrir kælipunkti í hitamælingu og frávik kemur í mismunahita. Æðin kemur fram innan hraunlags. (Sjá frekari skýringar við æð 22 (1190-1196 m).)
20. **1144 m.** Um 5 l/s skoltapsaukning verður á dýptarbilinu frá 1138 til 1152 m. Lítt áberandi kælipunktur kemur fram á 1144 m dýpi. Kalsítæðar eru tiltölulega algengar á þessu dýpi. Æðin kemur fram innan hraunlags. (Sjá frekari skýringar við æð 22 (1190-1196 m).)
21. **1181 m.** Óverulegur kælipunktur kemur fram í hitamælingu á 1180-1184 m dýpi, og frávik í mismunahita. Epidót er áberandi frá 1170 til 1190 m dýpis. Æðin kemur fram nærrí efri mörkum grófkorna basaltlags. (Sjá frekari skýringar við æð 22 (1190-1196 m).)
22. **1190-1196 m.** Um 10 l/s skoltapsaukning verður á dýptarbilinu frá 1204 niður á 1219 m. Áberandi pýríttoppur byrjar í um 1185 m dýpi og nær niður undir 1200 m dýpi. Í 1195-1198 m kemur fram kælipunktur í hitamælingu. Sprungufyllingar eru algengar í svarfsýnum frá 1190 til 1196 m, sem bendir til að holan skeri á því bili vatnsleiðandi sprungu. Æðin kemur fram í miðju hraunlags. Það er sammerkt með vatnsæðum frá 1050 m dýpi niður undir 1200 m að hitaáhrifa gætir í bergeninu, líklegast frá gangi nærrí holunni sem holan nær ekki að skera. Þessi ummyndun er mjög svipuð þeirri sem sést nærrí ganginum á 450-610 m dýpi og áður er lýst. Sprungufyllingar eru einnig tiltölulega algengar á þessu dýptarbili. Líklegt er að æðarnar á þessu bili tengist lóðréttum sprungufleti sem liggar nærrí jaðri þessa gangs.
23. **1220-1240 m.** Á þessu dýptarbili eykst skoltap mjög. Hitalækkun kemur einnig fram í einni hitamælingu, sem bent gæti til kælingar á bergeninu á þessu dýptarbili. Skápar eru áberandi í víddarmælingu á dýptarbilinu 1218-1254 m og er því bergið sennilega lausara í sér á þessum kafla. Ekki er þó unnt að slá því föstu hvort æðar séu á þessu dýptarbili eða ekki. Í þunnsneið af 1222 m dýpi, sem samsvarar ca. 1215 m, og er síðasta sýnið sem kom úr holunni, verður vart við mikinn fjöldi kalsítæða í bergeninu. Áberandi aukning verður í viðnámi neðan 1220 m dýpis, og hefur hún verið túlkuð sem aukning í sprungulekt. Þessi æð tengist því líklegast lóðrétti sprungu sem holan sker á þessu dýptarbili.

**Svartsengi, niðurdælingahola SJ-17**  
**Staðsetning vatnsæða**



**Mynd 18.** Staðsetning vatnsæða í holu SJ-17.

## 6.2 Vatnsleiðni

### 6.2.1 Framkvæmd þrepaprófana

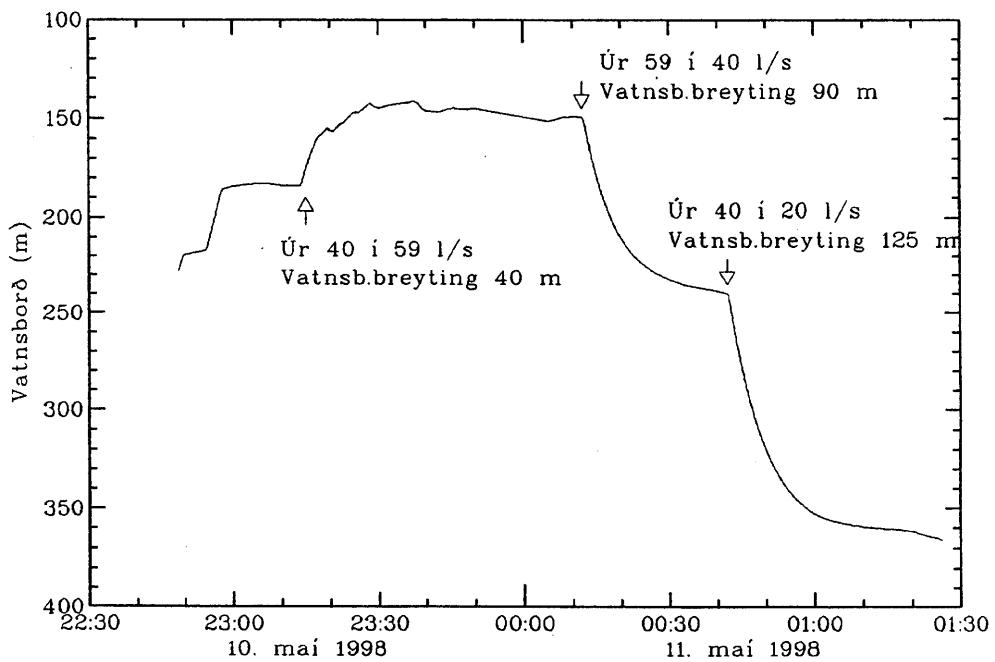
Eftirfarandi texti lýsir þeim fjölmörgu niðurstöðum sem fengust í endurteknum þrepaprófunum holu SJ-17. Sú nýbreytni var tekin upp að þessu sinni að hefðbundnu þrepaprófi var frestað uns Jötunn var farinn af holunni. Hér réði miklu að góð vatnsveita var frá kaldavatnsholunum tveimur í borplaninu sem og þægindin að þurfa ekki að samstilla þrónga stundatöflu og takmörkuð dæluafköst Jötuns við prófið.

Sem liður í þessu ferli fólst að mælt var í holunni í stuttum þrepum vegna ákvörðunar um lok borunar. Með þeim fékkst mat á viðnámsstuðli vatnsæða og þar með hvort lekt væri orðin viðunandi (Grímur Björnsson, 1998). Ljóst var strax í þrófuninni að viðnámsgildið lá á bilinu 5-6 m<sup>3</sup>/l/s í stað þeirra 1-2 m<sup>3</sup>/l/s sem æskilegt væri. Hins vegar varð að ráði að láta þar við sitja í borverkinu þar sem ekki var víst að vatnsmagn í niðurdælingu yrði mikið meira en 100 l/s. Holan gat tekið við því magni af köldu vatni í borlok. Þegar áhrif hita og seigju voru einnig tekin inn í dæmið þótti ljóst að lekt holunnar væri nægjanleg til framtíðar.

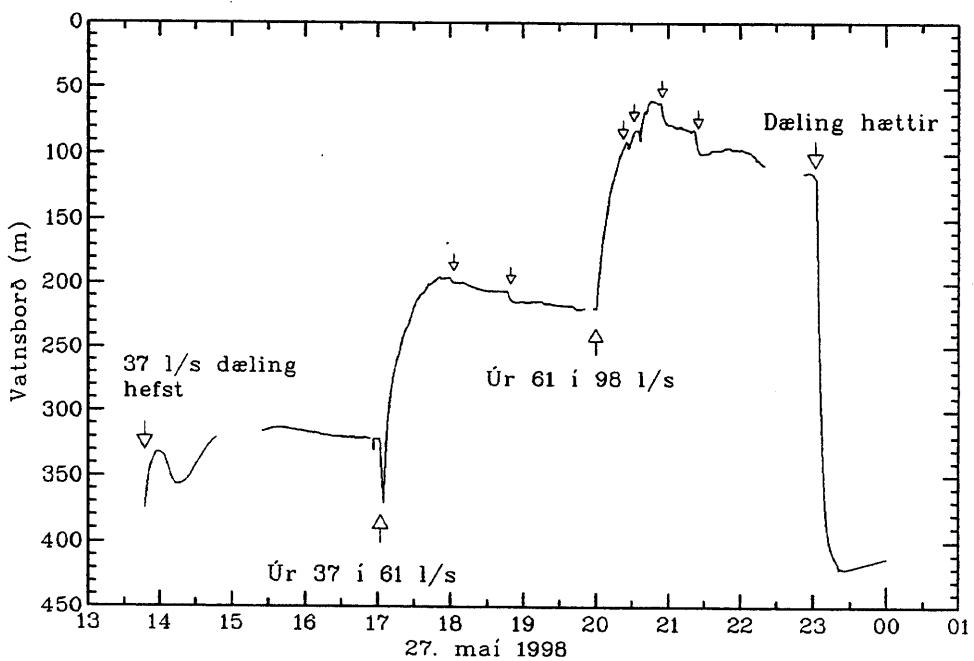
Að lokinni upptekt var þrýstingur á 700 m, í 20 l/s ádælingu, endurmældur. Reyndist hann nánast upp á hár hinn sami og mældist innan í stöngum kvöldið ádur. Ástæða endurmælingarinnar var sú að ekki mældist sama vatnsborðsbreyting við að rennslið jókst úr 40 í 59 l/s og þegar það fíll aftur í 40 l/s (mynd 19). Af þessu er dreginn sá lærðómur að þegar gæfni holna er metin með þrýstimælingu í stöngum, sé öruggara að vatnsborð falli en rísi utan við stangirnar. Þó var höfð á garðslönguádæling niður strenginn í fyrra tilvikinu, en annað hvort var magnið ekki nóg eða að einstefnulokinn í borstrengnum stóð á sér.

Liðu nú u.p.b. 2 vikur að allt var klárt fyrir hefðbundið þrepapróf í holu SJ-17. Það var gert miðvikudaginn 27. maí. Holan var hita- og þrýstimæld í upphafi til að sjá ástand hennar. Það reyndist harla gott, þ.e.a.s. holuhitinn var kominn yfir 220°C frá 1000 m til botns (mynd 31). Að fengnum þessum niðurstöðum hófst þrepaprófið með gangsetningu minni holudælunnar í borplaninu. Rennslið frá henni var mælt með hljóðbylgjumæli orkuversins og reyndist kringum 37 l/s. Fyrsta klukkutímann var háhitapþrýstimælis hafður kyrri á 700 m, en að þeim tíma liðnum var hann dreginn úr holunni og samþyggiðum hita- og þrýstimæli, sem sendi aflestra inn í mælingabil, komið niður á sama stað. Næsta rennslisþrep fólst einfaldlega í því að drepa á minni holudælunni og setja þá stærri í gang í staðinn. Við það jókst rennslið í 61-62 l/s. Í lokaprepinu voru svo báðar holudælurnar í gangi og niður fóru tæpir 100 l/s. Að því búnu var drepið á báðum dælunum og þrýstijöfnun mæld í 30 mínútur. Mynd 20 sýnir gögnin sem safnað var.

Ein merkasta niðurstaða fyrra þrepaprófsins í holu SJ-17 telst að holan örvaðist greinilega í lekt a.m.k. sex sinnum auk þess sem hægfara lækkun þrýstings einkennir síðari hluta allra þepanna. Þrepidælingin varð því holunni mjög til góðs í þeim skilningi að viðnám vatnsæðanna lækkaði verulega, fór úr 5 í u.p.b. 3,3 m<sup>3</sup>/l/s) þegar miðað er við kalt vatn. Þar með var svo komið að 130 l/s ádælingu þurfti til að fylla holuna í stað þeirra 90 l/s sem áætlaðir voru við borlok.



**Mynd 19.** Vatnsborð holu SJ-17 í þrepum, mældum í borlok. Prýstinelmi var á 1000 m dýpi. Prýstingur þar ( $P$ ) var reiknaður til vatnsborðs (vb) með jöfnunni:  $vb = 1000 - P \cdot 10,2$ .



**Mynd 20.** Vatnsborð holu SJ-17 í fyrra prepaprófi. Prýstinelmi var á 700 m dýpi og prýstingur þar ( $P$ ) var reiknaður til vatnsborðs (vb) með jöfnunni:  $vb = 700 - P \cdot 10,3$ . Staðir á prýstiferlinum þar sem holan er talin örvað skyndilega eru sýndir með litlum örвum.

Sérstök könnun var gerð á því hvort skyndiorvununum sex á mynd 20 fylgdu mælanlegir smáskjálftar í kerfi Veðurstofunnar (Kristín Vogfjörð, munlegar upplýsingar, 1998). Svo reyndist ekki vera, a.m.k. hafa þeir þá verið inni í því vanabundna suði sem er í jarðskorpanni á Reykjanesskaga.

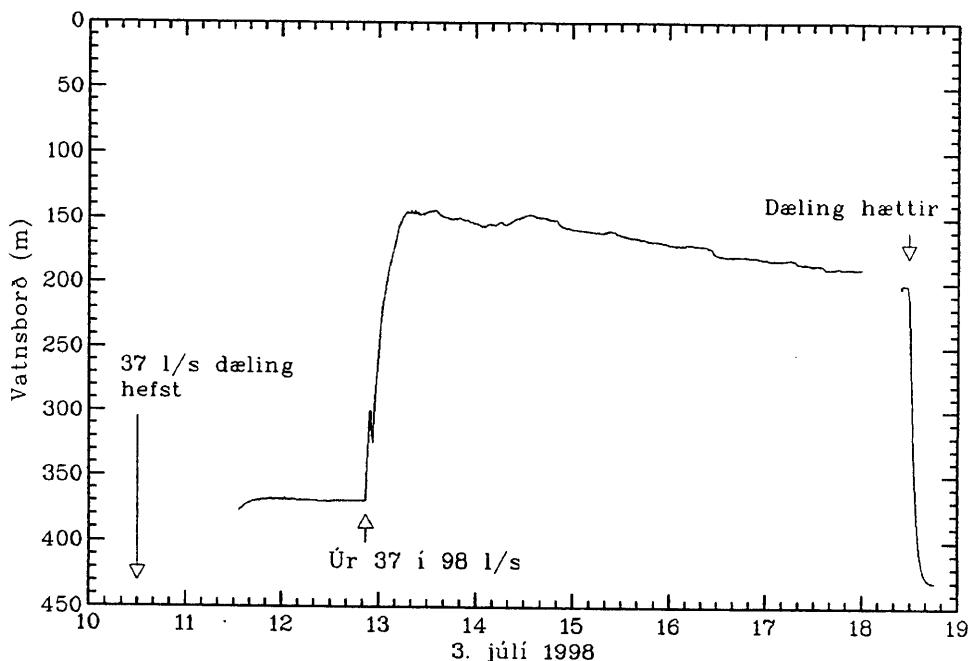
Engar sérstakar ráðstafanir voru gerðar til að þetta holutoppinn í ádælingunni utan að spjöld, tuskur, fægiskúffur og annað slíkt lauslegt var lagt að toppnum svo ádælingin frussaðist öll niður holuna. Fyrir vikið svalg holan talsvert loft með ádælingunni. Urðu menn strax varir við það að lokinni dælingu. Annars vegar ólgaði hressilega í vatnsborðinu og heyrðist það á toppi. Hins vegar hitnaði ádælingarloftið í skammri neðanjarðarvist sinni. Endurkoma þess sást svo greinilega sem toppar í hitamælingum eftir að dælingin var stöðvuð.

Á þessari stundu er erfitt að segja til um hvaða fyrribæri það eru sem juku svo lekt holu 17. Snöggu þrýstilækkanirnar má helst rekja til þess að svarffyllur hafi skotist úr þrengslum eða að þrýstiálagið og kælingin hafi hreinlega brotið upp nýjar sprungur. Svipað form sást í þrýstigögnum sem söfnuðust í holu SN-12 á Seltjarnarnesi, en þar 40-faldaðist holulektin í pökkunum. Lektaraukningin var helst rakin til endurnýjaðrar lektar í eldri sprungum (Guðni Axelsson o.fl., 1994). Hægfara þrýstidölun innan sjálfra þreppanna gæti hins vegar stafað af lóðréttir kælingu í sprungu þar sem þrýstijafnvægi er á mun meira dýpi en holubotninn, eða af gliðnun vatnsrása vegna kælingar og bergsamdráttar (Nakao og Ishido, 1998). Hver sem skýringin er, þá er ljóst að þrepaprófið bæði gerði holunni gott, og skilaði jarðhitavísindunum viðbótargögnum í það eilífðarverkefni sem er að skilja eðli lektar í jarðhitakerfum og hvernig auka má hana.

Góður árangur af þrepaprófun holu SJ-17 varð til þess að prófið var endurtekið þann 3. júlí 1998. Farið var að á svipaðan hátt, nema í þetta skiptið var aðaláherslan lögð á að endurtaka 100 l/s þepið, enda örvaðist holan einna helst við það rennsli í fyrra þrepaprófinu. Holuhitinn var töluvert hærri í þetta sinnið eða riflega  $240^{\circ}\text{C}$  neðan 1000 m. Mynd 21 sýnir gögnin sem söfnuðust. Ekki komu áberandi stökk í þrýstiferilinn en hægur sígandi í vatnsborði endurtók sig. Þá er ekki síður mikilvægt að nú lá vatnsborðið að jafnaði um 50 m lægra í sama rennsli en í fyrra prófinu. Viðnámsstuðull vatnsæða, metinn út frá þrýstifalli í lok ádælingar er  $2,3 \text{ m/(l/s)}$ , og hefur lekt holunnar þar með tvöfaldast frá því í lok borunar. Líklega getur hún gleypit allt að 180 l/s af köldu vatni.

Rétt er að minna á að lekt og gæfnistuðull holu 17 er því hærri sem holan er heitari þegar mælt er. Því mætti álykta að þrýstingur eigi eftir að byggjast upp við holuna í niðurdælingu, eingöngu vegna seigjuáhrifa. Of snemmt er að fullyrða um slíkt og bent á að vatnsborð seig líka að áliðnum þrepum í seinni prófuninni.

Sú athyglisverða rekstrarniðurstaða blasir við af þrepadælingum holu 17 að nú er í hendi vopn sem grípa má til fari svo illa að lekt holunnar versni í langtímarekstri. Einfaldlega verði hafin full niðurdæling kalds vatns úr holunum tveimur og, ef verkast vill, einnig eftir enn ókominni niðurdælingaræðinni. Það gæti skolað úr fyrirstöðum, a.m.k. næst holunni.



**Mynd 21.** Vatnsborð holu SJ-17 í síðara þrepaprófi. Þrýstinemi var á 700 m dýpi nema undir lokin að hann var færður niður í 1230 m dýpi. Holuprýstingur ( $P$ ) var reiknaður til vatnsborðs ( $vb$ ) með jöfnunni:  $vb = 700/(1230) \cdot P \cdot 10,3$ .

Likt og í fyrra prófinu var ekki hirt um að þetta holutoppinn og slokraðist því mikið loft með vatninu. Í þetta sinnið var ákveðið að slaka þrýstimælinum úr 700 m niður undir holubotn til að mælingin á þrýstifalli í lok ádælingar væri marktæk. Það leiddi til að mat fékkst á eðlisþyngd blöndunnar milli 700 og 1230 m, út frá tengingu vatnsborðssögunnar milli þessara tveggja dýpa á mynd 21. Í ljós kom að eðlisþyngd upp á  $990 \text{ kg/m}^3$  er sennileg, í stað rétt um  $1000 \text{ kg/m}^3$ , sem er eðlileg fyrir u.p.b.  $20^\circ\text{C}$  heita, loftfría vatnssúlu. Þar með má giska á að 1% af rúmmálínu sem fór niður hafi verið loft ( $1 \text{ l/s}$ ).

### 6.2.2 Úrvinnsla vatnsborðsgagna

Skoðun mynda 19 og 20 sýnir að saga vatnsborðs er óvenjuleg í holu SJ-17 og ekki einfalt að fella hefðbundin líkon grunnvatnsfræðinnar að þeim. Hér var reynt að nota þann hluta vatnsborðssögu hvers þreps sem var "eðlilegur", þ.e. meðan vatnsborð breyttist hratt og aðeins til annarar handarinnar. Yfirleitt var þetta tímabil 10-30 mínútur að lengd. Ekki var allt fengið þótt þessa skilgreining lægi fyrir, þar sem nú þurfti að umreikna rennslið frá holu út í berg, en það er alls ekki það sama og rennslið á toppi meðan vatnsborð breyttist hratt. Áhrif þessa eru veruleg a.m.k. fyrstu 15 mínútur hvers þreps. Að því búnu voru rennslis- og vatnsborðsgögnin túlkuð með líkani Theis, þ.e. með vatnskerfi sem er óendenlega stórt og lokað að ofan og neðan. Myndir 22-29 sýna samræmi mældra og reiknaðra ferla svo og eiginleika líkananna. Alls voru skoðuð átta tilvik rennslisbreytinga.

Inn á myndir 22-29 eru færðir eiginleikar líkananna sem herma mælda vatnsborðið. Í töflu 7 er búið að draga þá saman og þar má finna lýsingu á hverjum þeirra.

**Tafla 7.** Eiginleikar grunnvatnslíkana sem herma þrepaprófanir í holu SJ-17.

Prófun	Dæling áður (l/s)	Dæling í prófi (l/s)	Upphafsvatnsborð (m)	Vatns-Leiðni (m <sup>3</sup> /Pa/s)	Vatnsrýmd (m/Pa)	Meðalfrávik (%)	Tregðustuðull	Holurýmd
Myndskýring			h	T	S		S	CD
Borlok	59	40	150	3.9·10 <sup>-8</sup>	0.0003·10 <sup>-9</sup>	0.5		
Borlok	40	20	240	1.0·10 <sup>-8</sup>	1.0·10 <sup>-9</sup>	2.5		
Fyrri ádæling	37	61	315	0.8·10 <sup>-8</sup>	10000·10 <sup>-9</sup>	1.9		
Fyrri ádæling	61	98	211	0.6·10 <sup>-8</sup>	43000·10 <sup>-9</sup>	1.0		
Fyrri jöfnun	98	0	140	26·10 <sup>-8</sup>	0.00005·10 <sup>-9</sup>	3.5	34	560
Seinni ádæling	37	98	368	0.9·10 <sup>-8</sup>	9200·10 <sup>-9</sup>	2.0		
Seinni jöfnun	98	0	192	5.1·10 <sup>-8</sup>	0.2·10 <sup>-9</sup>	4.8		
Seinni jöfnun	98	0	219	20·10 <sup>-8</sup>	0.02·10 <sup>-9</sup>	3.0	17	1060

Skoðun töflu 7 sýnir að verulegar sveiflur eru í tveimur áhugaverðustu eiginleikum grunnvatnslíkananna, þ.e. vatnsleiðninni og vatnsrýmdinni. Þó má greina ákveðna tilhneigingu í hvernig þeir sveiflast. Þannig mælist vatnsleiðnin 1-2 stærðargráðum hærri þegar vatnsborð er að jafna sig eftir ádælingu, en í sjálfri ádælingunni. Að sama skapi er vatnsrýmdin mjög há þegar dælt er út í kerfið en lág í vatnsborðsjöfnuninni.

Vatnsleiðnina, T, má þátta í sundur sem  $T = k \cdot h / \mu$  þar sem k er eðlislekt jarðhitakerfisins (m<sup>2</sup>), h er þykkt þess (m) og  $\mu$  er kvíkseigja vökvans sem er að streyma í þrepaprófinu (kg/m/s). Miklar líkur eru til þess að breytingar í seigju skýri sveiflurnar sem eru í vatnsleiðninni. Þannig hnígur kalt og seigt ádælingarvatnið illa gegnum sprungur jarðhitakerfisins í ádælingu, en þrýstijöfnuninni er frekar stjórnæld af heitum og sleipum vökvanaum í ytri hlutum áhrifasvæðis ádælingarinnar. Þar með er talið að vatnsleiðnin sem mælist í þrýstijöfnununum ( $\approx 20 \cdot 10^{-8}$ ) endurspegli einna helst lektina í næsta nágrenni holu 17. Ef miðað er við 200°C hita fæst að seigjan  $\mu$  sé af stærðarþrepini 0,0001. Þar með fæst að margfeldi lektar og þykktar (kh) sé um 20 Darcy-metrar (Dm). Ef jarðhitakerfið er 1000 m þykkt fæst út eðlislektin 20 milli-Darcy (mD). Það er 1/5 þess sem mælist í Svartsengi út frá þrýstisamgangi milli tveggja holna.

Enn eru órædd skyndistökkin sem koma í vatnsborðssögurnar á myndum 19-21. Þau endurspeglar skyndilega aukningu í lekt (minnkaða tregðu) mjög nærrí holu 17. Tafla 7 sýnir að þegar tregðustuðullinn s var metinn, lækkaði hann umtalsvert milli fyrra og seinna þrepaprófsins. Samt telst hann ennþá ótrúverðuglega hár.

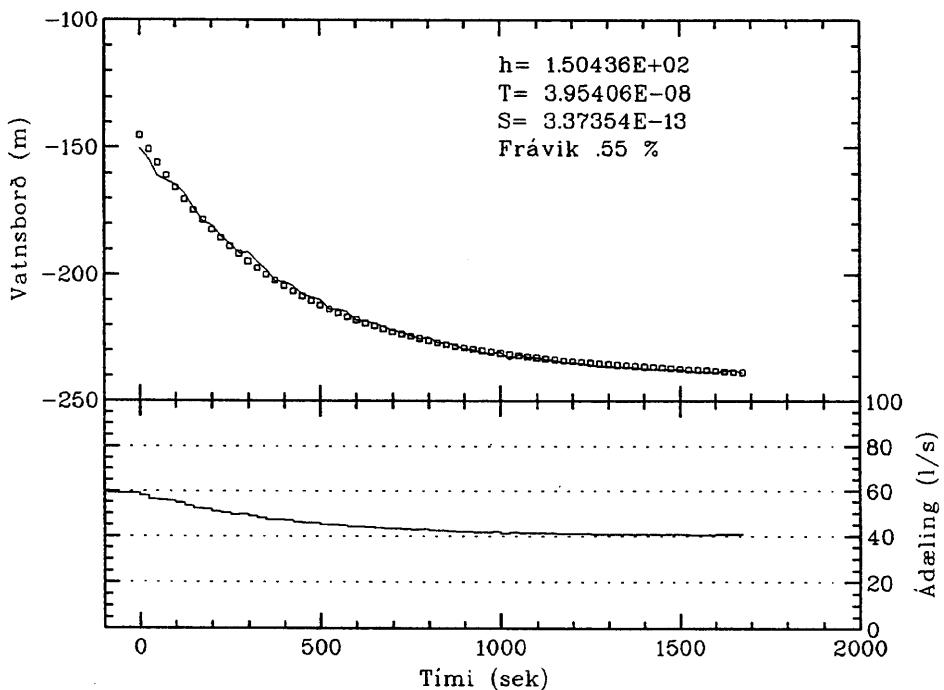
Hærri vatnsrýmd í ádælingu en í þrýstijöfnun gæti átt sér skýringu í samspili lektar í sprungum annars vegar, en í porum hins vegar. Þannig leitar kaldi og seigi vökvinn út í "báðar lektirnar". Það leiðir af sér háa rýmd þar sem porurúmmálið í berginu er umtalsvert. Eins kennir hér áhrifa kólnunarsamdráttar bergsins til hærri rýmdar. Í þrýstijöfnuninni er sprungulektin hins vegar ráðandi og rýmdin þar með metin lág.

Svo furðulegt sem það kann nú að virðast, verður að dæma þrepaprófin í holu SJ-17 misheppnuð sem verkfæri til að meta lekt jarðlaga vel út frá holunni. Þar valda hinar

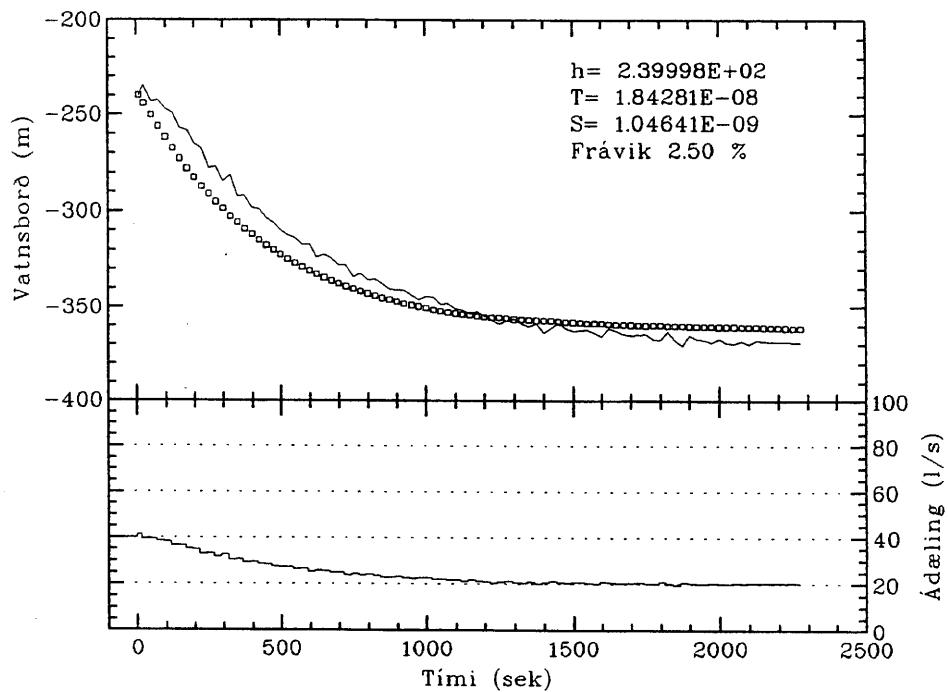
hröðu breytingar í tregðu o.fl. næst holunni, auk fallandi vatnsborðs þegar líður á þrepin.

Mynd 30 sýnir eininganiðurdrátt allra rennslisþrepanna sem nú hafa safnast í holu 17. Einunganiðurdrátturinn lýsir vatnsborðsbreytingu eins og hún yrði ef aðeins einum sekúndulítra yrði dælt á holuna. Þetta er í raun sama stærðin og viðnámsstuðull vatnsæða sem lýst var hér að ofan. Ef frá eru dregnar óreglur fyrstu mínútur eftir að dæling breytist, sést að milli 500 og 2000 sekúndna dælutíma kemur fram svipuð hallatala í flestum ferlum. Þetta er hallinn sem ákvarðar vatnsleiðnina T. Að þessum tíma liðnum tekur við skeið lækkandi holutregðu og jafns eða lækkandi eininganiðurdráttar.

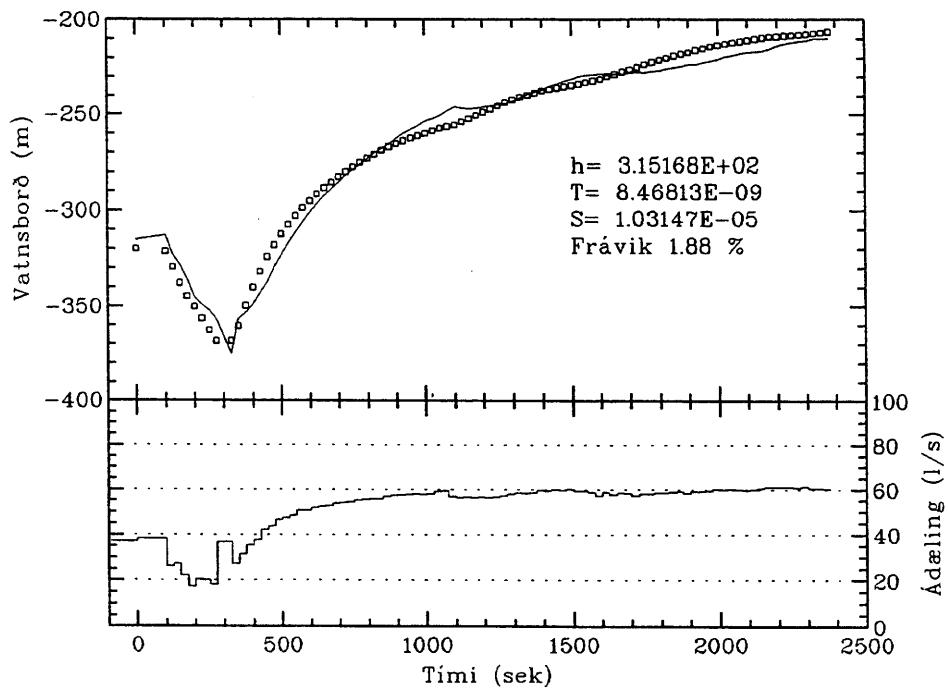
Allar hitamælingar sem gerðar hafa verið til þessa eru sýndar á mynd 31 og þrýstimælingar á mynd 32.



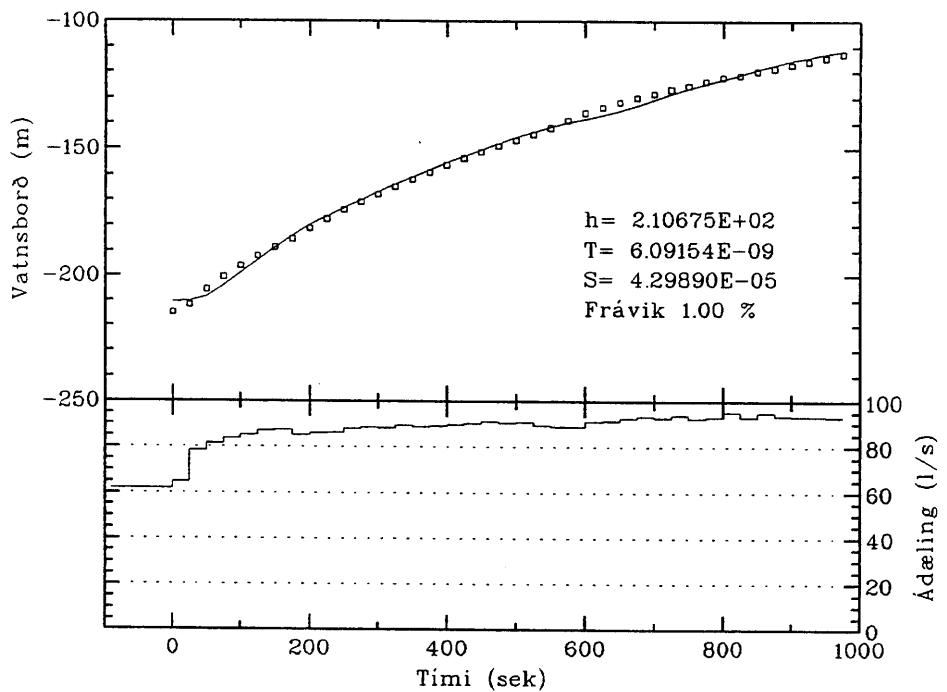
**Mynd 22.** Mælt ( ) og reiknað (lína) vatnsborð holu SJ-17 við lok borunar. Skoðað er annað þrep, þegar dæling var minnkuð úr 59 í 40 l/s (mynd 19).



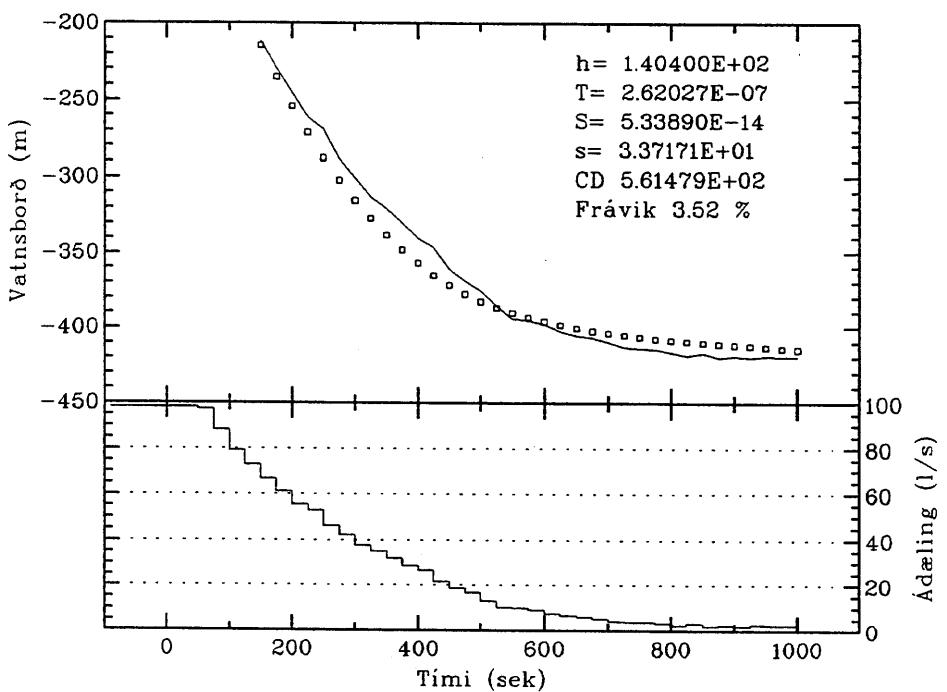
**Mynd 23.** Mælt (◻) og reiknað (lina) vatnsborð holu SJ-17 við lok borunar. Skoðað er þriðja þrep, þegar dæling var minnkuð úr 40 í 20 l/s (mynd 19).



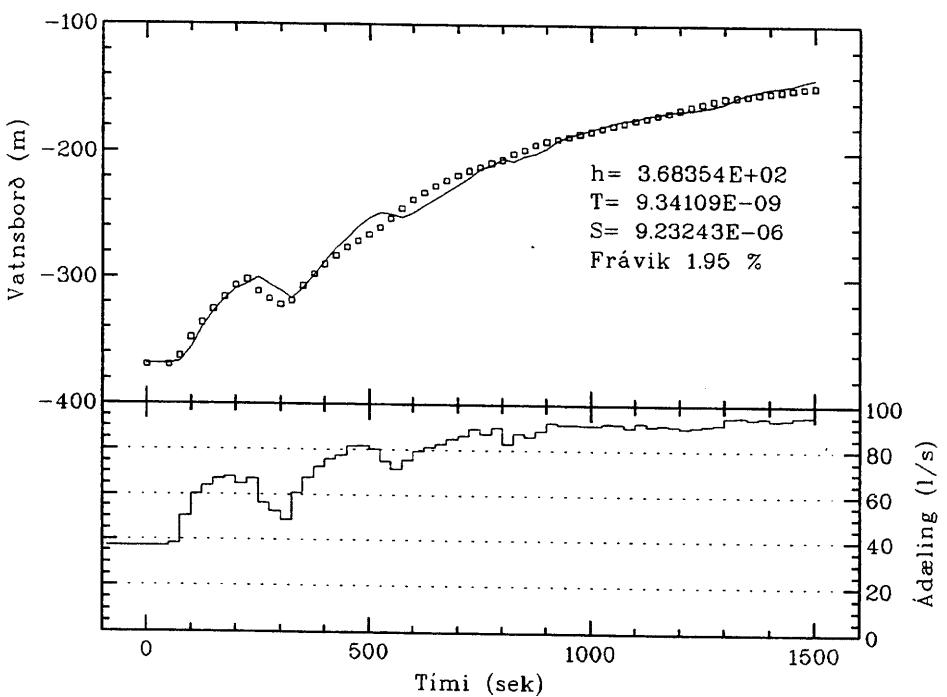
**Mynd 24.** Mælt (◻) og reiknað (lina) vatnsborð holu SJ-17 í fyrra þrepaprófi. Skoðað er annað þrep, þegar dæling var aukin úr 37 í 61 l/s (mynd 20).



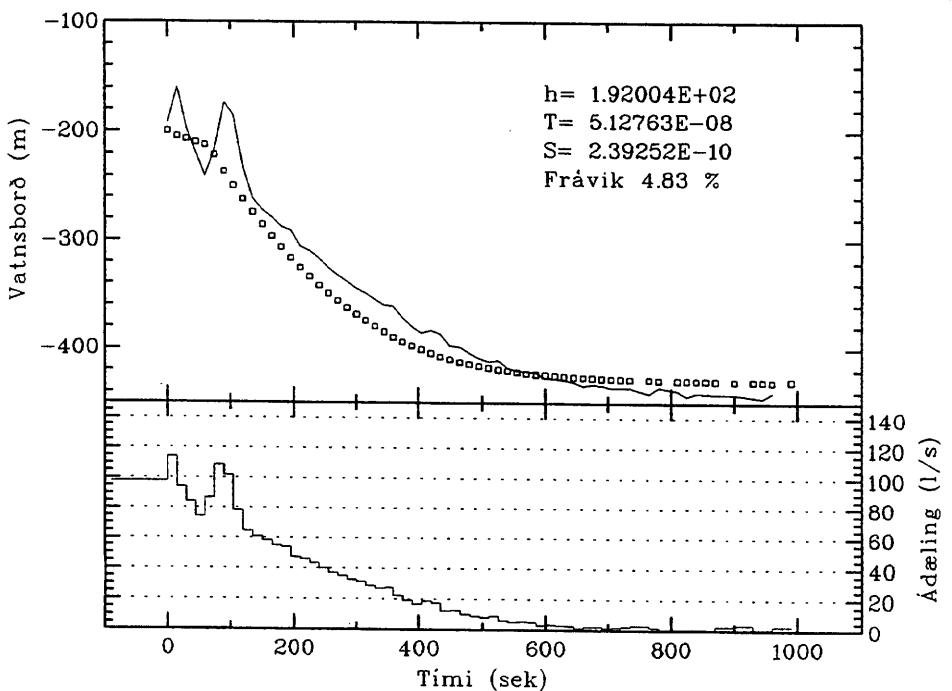
**Mynd 25.** Mælt (◻) og reiknað (lína) vatnsborð holu SJ-17 í fyrra prepaprófi. Skoðað er þriðja prep, þegar dæling var aukin úr 61 í 98 l/s (mynd 20).



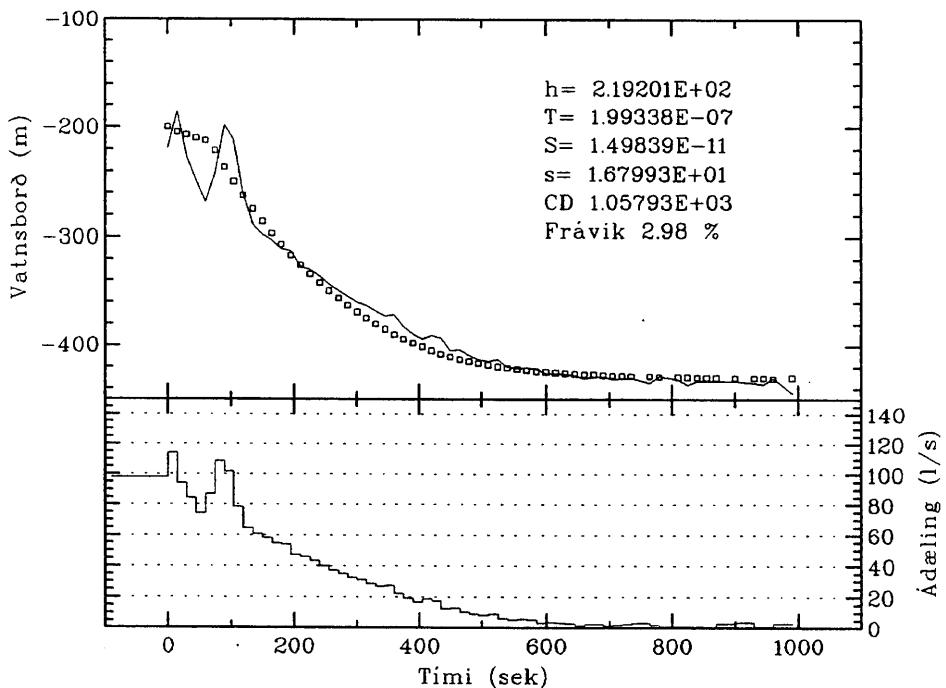
**Mynd 26.** Mælt (◻) og reiknað (lína) vatnsborð holu SJ-17 í fyrra prepaprófi. Skoðuð er þrýstijöfnun við að 98 l/s ádæling var stöðvuð (mynd 20).



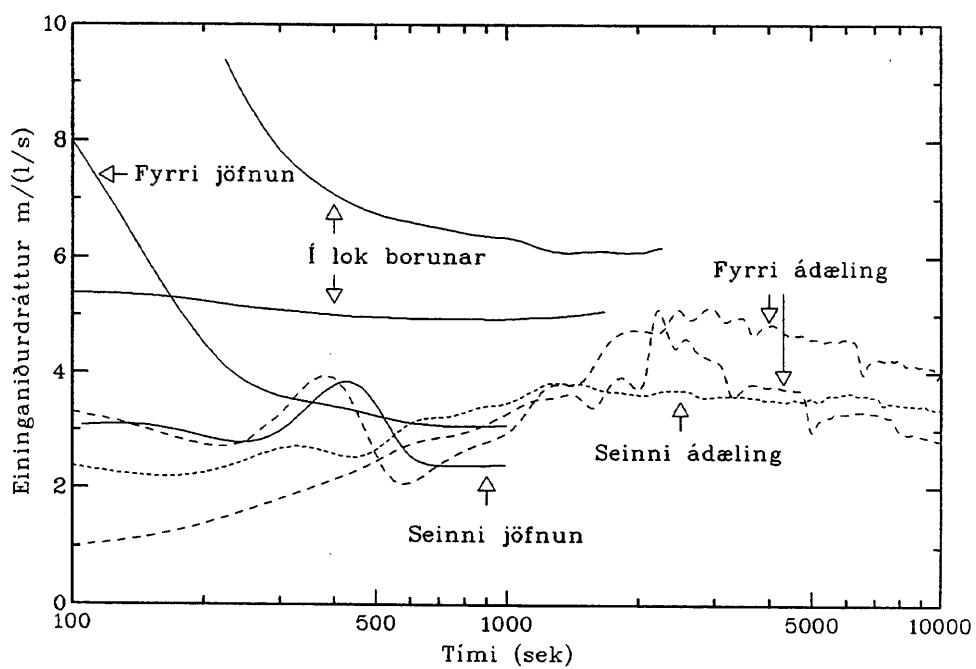
**Mynd 27.** Mælt (◻) og reiknað (lína) vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Skoðað er annað þrep, þegar dæling var aukin úr 37 í 98 l/s (mynd 21).



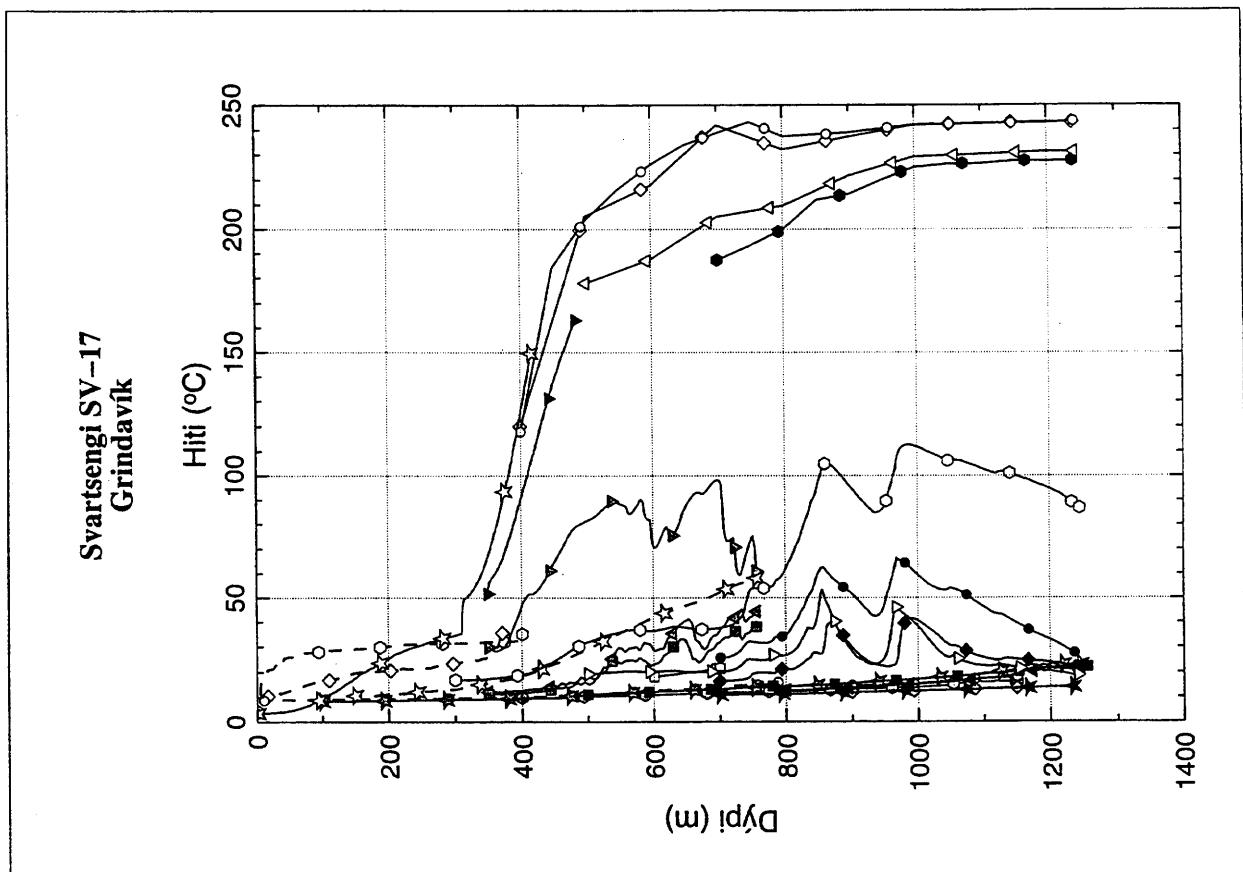
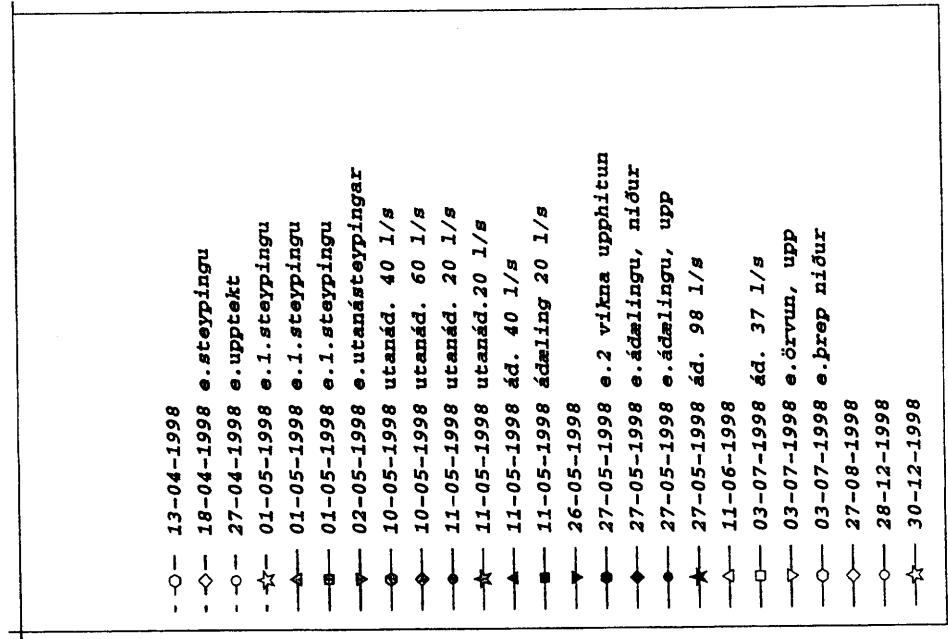
**Mynd 28.** Mælt (◻) og reiknað (lína) vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Skoðuð er þrýstijöfnun við að 98 l/s ádæling var stöðvuð (mynd 21).



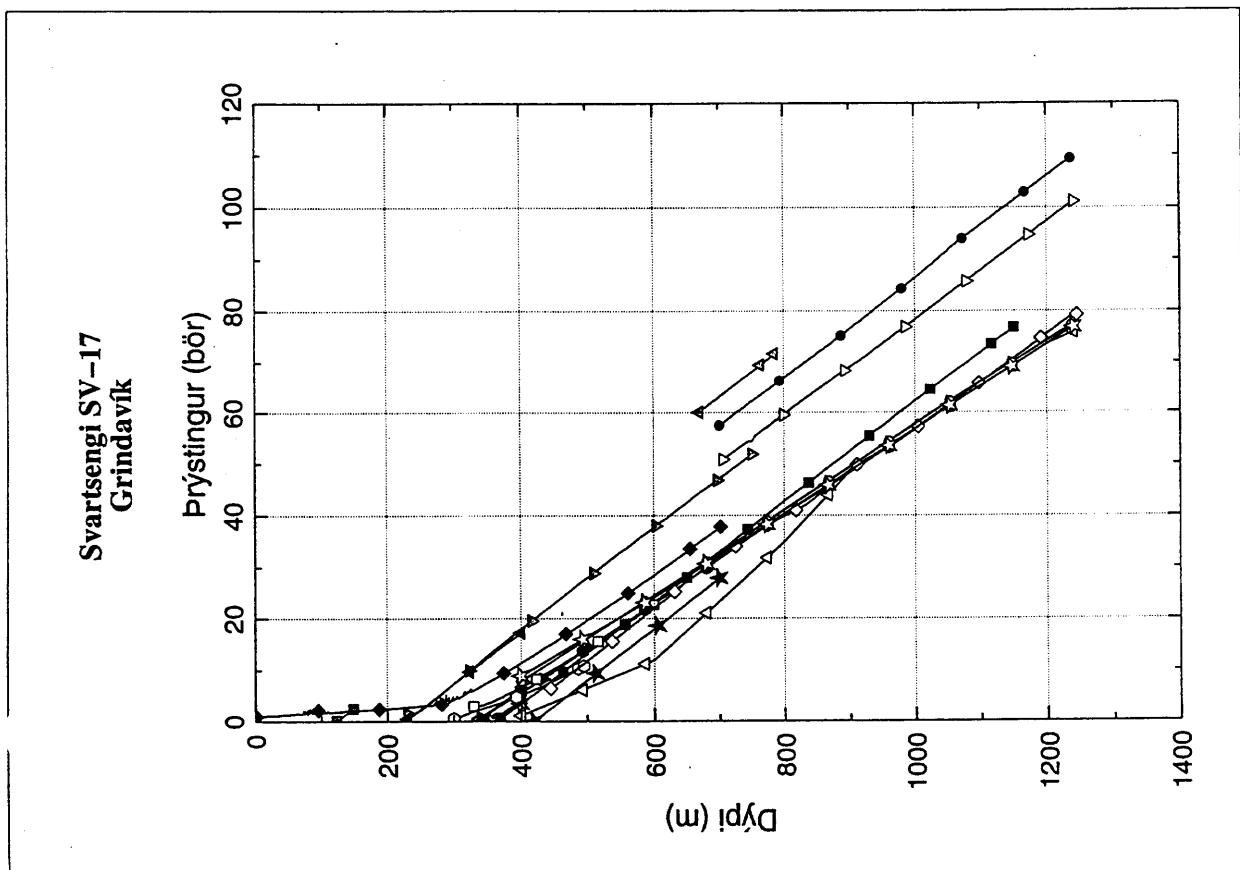
**Mynd 29.** Mælt (◻) og reiknað (lina) vatnsborð holu SJ-17 í seinna þrepaprófi. Skoðuð er þrýstijöfnun við að 98 l/s ádæling var stöðvuð (mynd 21). Einnig er tekið tillit til áhrifa tregðu (skin) við holu.



**Mynd 30.** Eininganiðurdráttur í þrepaprófunum holu SJ-17. Dælingin er leiðrétt fyrir holurýmd og ferlar síðan létsíðir með 75 sekúndna Gauss klukku.



**Mynd 31.** Allar hitamælingar í holu SJ-17.



**Mynd 32.** Allar prýstimælingar í holu SJ-17.

### 6.3 Berghiti og þrýstingur

Þær fjölmörgu hita- og þrýstimælingar (myndir 31 og 32), sem safnast hafa í borun holu 17, mynda ásamt öðrum upplýsingum prýðilegan grunn fyrir mat á núverandi hita og þrýstingi vatnskerfanna sem holan sker. Mynd 33 sýnir þetta í helstu dráttum, en í töflu 8 eru töluleg gildi berghita og þrýstings sýnd. Megineinkenni hita- og þrýstiferlanna er að hola 17 sker tvö vatnskerfi, annars vegar kalt grunnvatn frá yfirborði niður á u.p.b. 300 m dýpi, en hins vegar jarðhitakerfi sem nær a.m.k. upp í 450 m æð sem var í holunni. Milli 300 og 400 m dýpis rís hiti svo feykihratt en þrýstingur fellur með dýpi. Þarna gæti verið um þétt þakberg jarðhitakerfisins að ræða.

Ferlarnir á mynd 33 koma úr upphitunarmælingum sem voru gerðar í holu 17 eftir borun. Hitamælingarnar eru frá 28. desember 1998, en þrýstingurinn frá 27. ágúst. Ofan 300 m er á litlu að byggja utan tilfinningunni um að hiti er lágor allt frá yfirborði niður undir 300 m. Þó má nefna að vatnsborð í kaldavatnsholunum tveimur í borplani holu 17 var á 24 m dýpi. Þrýstiferillinn ofan 300 m er því miðaður við 24 m vatnsborðið og síðan eðlisþyngd hreins vatns eins og hún yrði samkvæmt ágiskaða berghitanum ofan 300 m.

**Tafla 8. Áætlaður berghiti og þrýstingur við holu SJ-17 haustið 1998.**

Dýpi (m)	Þrýst. (bör-y)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Þrýst. (bör-y)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Þrýst. (bör-y)	Hiti (°C)
25	.1	6.0	450	11.9	184.4	850	45.3	238.2
50	2.6	6.7	475	14.0	194.0	875	47.4	238.6
75	5.0	8.3	500	16.1	203.6	900	49.5	238.9
100	7.5	10.0	525	18.2	209.8	925	51.5	239.7
125	9.9	12.5	550	20.3	216.1	950	53.6	240.5
150	12.4	15.0	575	22.4	221.1	975	55.7	241.3
175	14.8	17.5	600	24.5	226.0	1000	57.7	242.1
200	17.3	20.0	625	26.5	230.0	1025	59.8	242.3
225	19.7	22.5	650	28.6	234.0	1050	61.8	242.4
250	22.2	25.0	675	30.6	236.4	1075	63.9	242.6
275	24.6	27.5	700	32.7	238.8	1100	66.0	242.7
300	27.1	30.0	725	34.8	241.1	1125	68.0	242.8
325	24.6	52.8	750	36.9	243.3	1150	70.1	242.8
350	22.0	67.5	775	39.0	240.4	1175	72.1	242.8
375	19.5	92.8	800	41.1	237.5	1200	74.2	242.9
400	17.0	125.0	825	43.2	237.8	1225	76.2	243.4
425	14.5	159.1						

Aðrar gagnalindir koma ekki mikil við sögu í mynd 33 utan að þrýstingur æðanna á 450 og 508 m var ígrundaður tölувert. Í hita- og þrýstimælingum eftir upptekt þann 27. apríl 1998 sást að vatnsborð í 25 l/s ádælingu var á u.p.b. 130 m dýpi og að vatn tapaðist út í þessar grunnu æðar sökum þess að hallabrot kemur í hitaferilinn. Á þessum tíma var holan tæplega 800 m djúp. Hallast er að því að þessar grunnu æðar séu nær 10 börum en 30 í þrýstingi. Ræður þar einkum að eftir 1. steypingu 13 3/8"

fóðringarinnar skolaði eftirdælingin allri steypu úr fóðringunni út í berg og opnaði þar með aftur æðar sem voru á 750 til 790 m dýpi. Ef þessar tvær grunnu æðar hefðu verið með hærri þrýsting er allt eins líklegt að steypan sem fór upp á milli fóðringa hefði einnig skolast niður og út. Svo varð þó ekki sem bendir til svipaðrar þrýstistöðu á þessu æðum og í sjálfu jarðhitakerfinu.

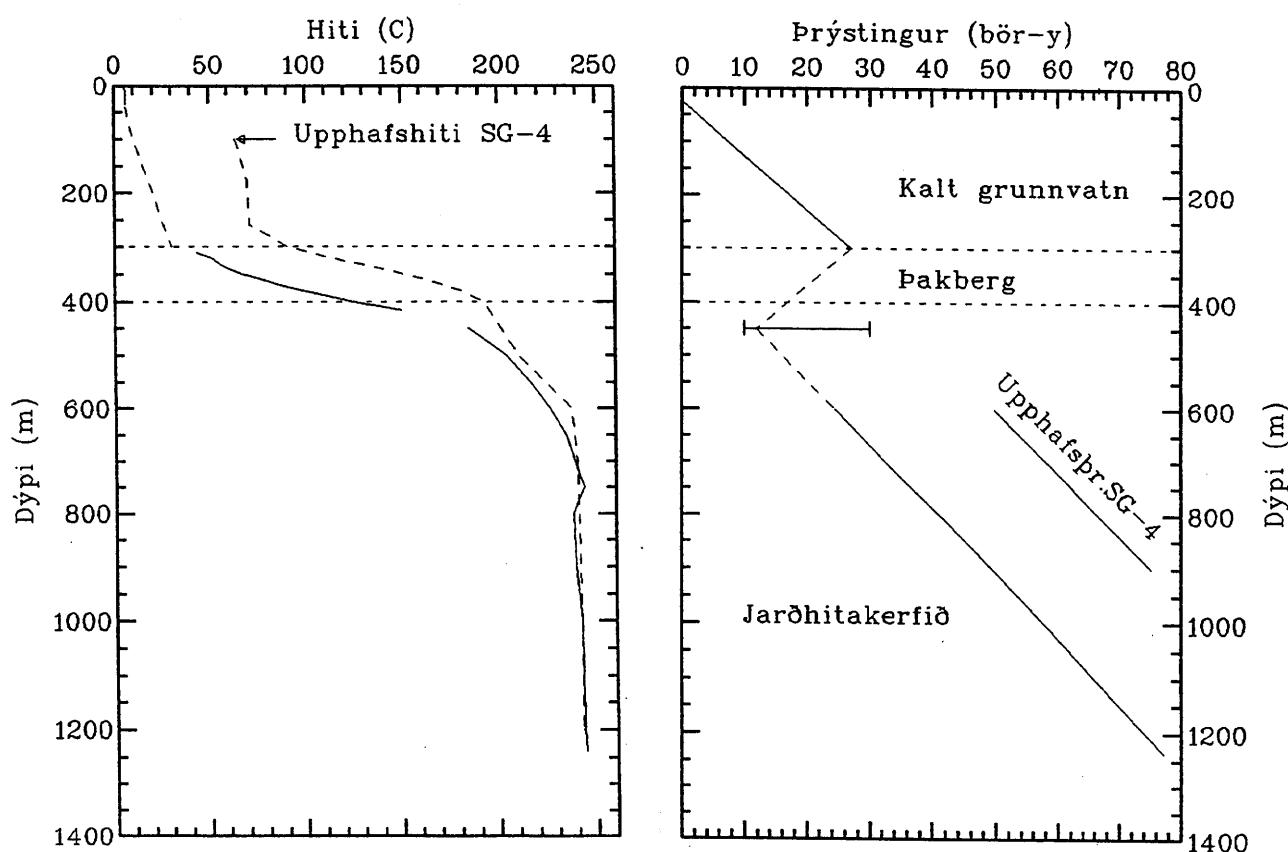
Áhugaverðar samanburðarathuganir má gera á holu 17 annars vegar og eldri holum í Svartsengi hins vegar. Þar ber fyrst að nefna að strax komu fram vísbendingar um að þrýstingur í holu 17 væri óvenju lágur og greið tengsl þar með við vinnslusvæðið í Svartsengi. Í mælingum þann 28. desember 1998 var þrýstingur því fyrst mældur í holu 17 og síðan í holu SG-7 blásandi með sama tólinu. Er fyrrnefnda holan í kringum 20 m hæð yfir sjó en síðarnefnda í kringum 25 m hæð. Ef litioð er að þrýsting á 1000 m dýpi sést að hann mældist einungis 0,2 börum hærri í holu 17 en í holu 7. Að teknu tilliti til hæðarmunar og þess að SG-7 var í blæstri, verður ekki annað séð en að þrýstingur holu 17 sé nákvæmlega sá sami eða eilítið lægri en nú mælist í holu 7. Lekt milli þessara tveggja holna er því óvanalega góð en jafnframt er ljóst að bergið, sem liggar að lektartengingu, er óvenju torlekt.

Þá eru inni á mynd 33 áætlaður berghiti og upphafsþrýstingur holu SG-4 í Svartsengi (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991). Þarna er sláandi hve form hitaferla holnanna tveggja er líkt. Einungis má sjá mun ofan 400 m, þar sem hola SG-4 er heitari. Muninn má fyrst og fremst rekja til gufustreymis upp úr Svartsengiskerfinu fyrir vinnslu og hitnunar sem hún olli á yfirliggjandi grunnvatnsstraumi. Að öðru leyti er dýpisskipting kalda grunnvatnsins og jarðhitakerfisins hin sama. Neðan 800 m er hiti nánast sá sami upp á gráðu. Athygli vekur að smávægilegur viðsnúningur er í hita holu 17 neðan 750 m dýpis.

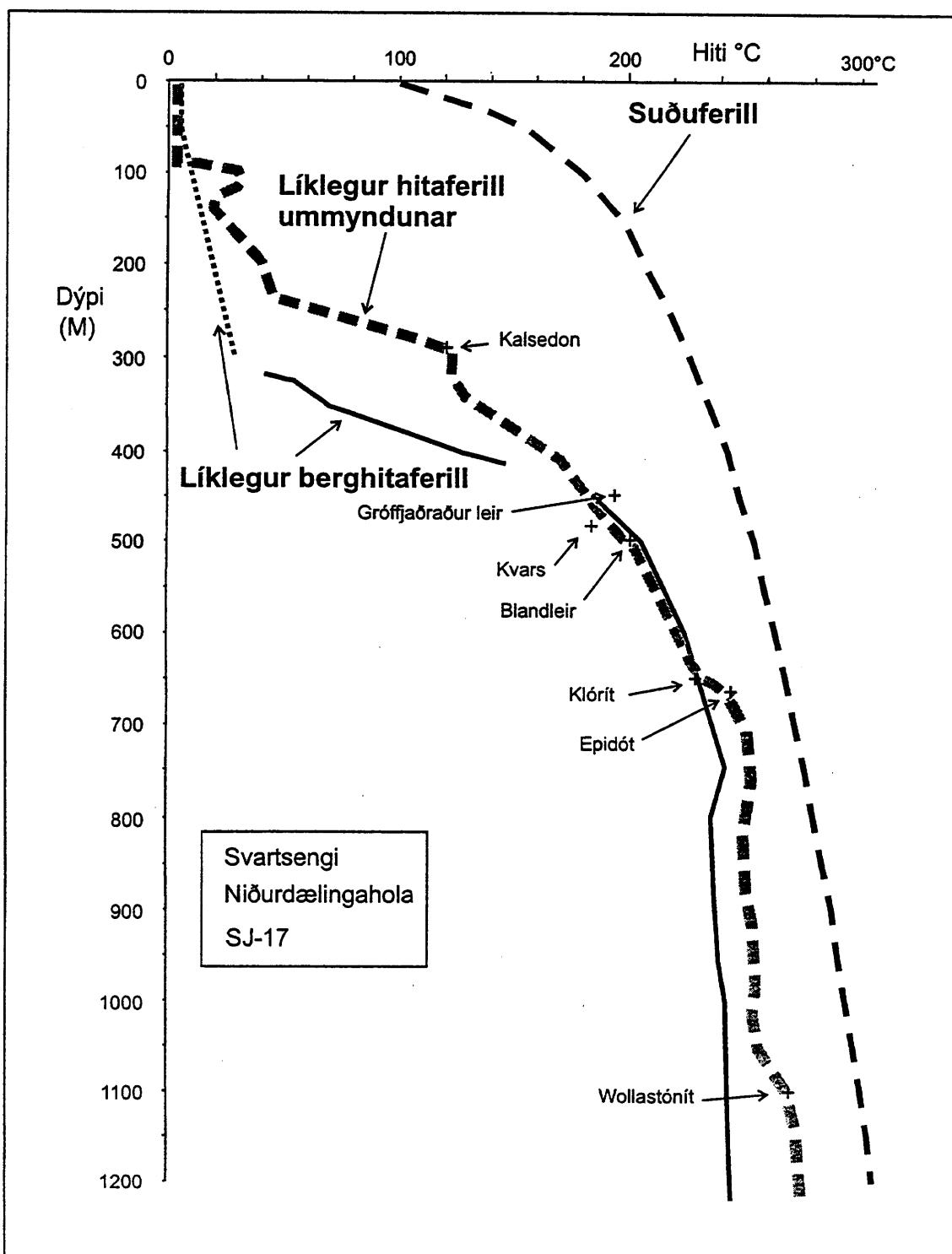
Á mynd 34 er sýndur líklegur berghitaferill ásamt þeim hitaferli sem ummyndun sýnir. Þessum tveimur ferlum ber allvel saman, nema að ummyndunin sýnir nokkru hærri hita milli 250-350 m sem ákvarðast aðallega af kalsedóni sem finnst fyrst á um 300 m dýpi. Einnig virðist berghiti vera eilítið lægri á 700-1100 m dýpi. Neðan þess eykst þessi munur þar sem wollastonít sem finnst oftast við  $>270^{\circ}\text{C}$  greindist neðan 1100 m dýpis. Afstaða hitaferlanna til suðufersins bendir til að jarðhitakerfið hafi ekki náð því að vera sjóðandi. Vísbendingar eru um að viðsnúningur sé í berghitaferlinum milli 700 og 800 m dýpis. Pótt ummyndunarhitinn gefi litlar upplýsingar í þá veru, er augljóst af mynd 12, sem sýnir fyllingu holrýmis og bergummyndun, að hún er takmörkuð á 800-900 m dýpi og 1000-1100 m dýpi, sem er sérlega athyglisvert þar sem jarðlögin eru þar mjög gropin og glerkennd. Á þann hátt er nokkuð samræmi við viðsnúning í berghitanum. Mjög fróðlegt væri að athuga í framtíðinni hita í vökvabólum útfellinga í jarðhitakerfinu til að staðfesta hita ummyndunarfersins og einnig til að athuga hvernig seltan í kerfinu hefur breyst í tímans rás.

Samanburður við gufutöflur sýnir að áætlaður berghiti og þrýstingur holu 17 fylgja suðumarksferli milli 500 og 675 m dýpis. Hugsanlega er hér um innri hræringu í holunni að ræða fremur en að sama gildi úti í bergi. Þó verður að krefjast þess að einhvers staðar innan þessa dýpisbils sé jarðhitakerfið í suðu. Hugsanlega er gufupúðinn í Svartsengi þarna á ferð. Gaman hefði verið að eiga meiri upplýsingar um æðarnar á 450-500 m dýpi í þessu samhengi. Það er freistandi að ímynda sér að gufupúðinn eigi sér nú umtalsverða útbreiðslu og að hægt verði að elta uppi vatnsríka

hluta hans viðar en eingöngu þar sem nú eru holar 10, 14 og 16. Með vatnsríkum er hér vísað til þess að í stöðugum djúpþrýstingi hættir rúmmál gufupúðans að vaxa, og fer vinnsla úr honum þá að ganga á innri vatnsforða bergsins. Talið er fyrirséð að númerandi gufuholur muni dala verulega af þessum sökum þegar tímar líða fram (Grímur Björnsson, 1998; Verkfraðistofan Vatnaskil, 1997). Sem mótleik má þá hugsanlega fára út gufupúðaholurnar og inn í rúmmál þar sem vatnsinnihald í porum er ennþá verulegt. Inn í slíkar vangaveltur verður nauðsynlegt að flétt frekari vitneskju um forðaeiginleika móbergs, en megnið af gufupúðanum liggur í slíku bergi.



**Mynd 33.** Berghiti og prýstingur í holu SJ-17. Á dýpisbilum þar sem gildi eru óbekkt er skálðað í eyðurnar með slitnum ferli. Prýstingur við æð á 450 m er sýndur með óvissibili. Þá eru ferlar sem sýna upphafshita og prýsting holu SG-4 í Svartsengi einnig sýndir.



Mynd 34. Samanburður ummyndunarhita og mælds hita.

## 8. AFLMÆLINGAR

Hola SJ-17 var aflmæld með sérútbúinni skilju dagana 3. til 8. júlí 1999. Ær þar um sama útbúnað að ræða og notaður var á eldri Svartsengisholur árin 1996 og 1997 (Grímur Björnsson o.fl., 1998). Þrjú atriði verða þó að teljast nýjung í aflmælingunum:

1. Nýtt, fjölrása söfnunartæki las af stafrænum skynjurum með allt að einnar sekúndu millibili.
2. Skiljunni var breytt til að hamla vatnsflæði upp um gufustromp við mikið rennsli.
3. Settur var 212,15 mm (8") krítiskur stútur beint ofan á holutoppinn og látið blása um hann til viðbótar því sem fór gegnum 162,04 mm krítískan stút inn á skilju. Var þannig hægt að fá fram gríðarmikið rennsli.

Segja má að með þessum viðbótum séu aflmælingarnar í Svartsengi komnar í prýðilegt horf eftir hætti og til fyrirmynadar. Má t.d. nefna að nú annaði skiljan u.p.b. 100 kg/s heildarstreymi í stað 50 kg/s áður.

Mynd 35 sýnir sögu þrýstings á toppi og á 1100 m dýpi auk reiknaðs heildarrennslis samkvæmt krítískum þrýstingi á stútunum tveimur. Ær þá stuðst við jöfnu Russell-James:

$$m_t = 1.835.000 A P_c^{0,96}/H^{1.102}$$

Þar sem  $m_t$  er heildarrennslið í kg/s,  $A$  er þverskurðarflatarmál krítiska stútsins í  $m^2$ ,  $P_c$  er krítíski þrýstingurinn í börum-a og  $H$  er vermið í kJ/kg. Hér er miðað við að vermið sé fasti, 1060 kJ/kg til samræmis við u.p.b. 245°C heitan vökvann í holunni.

Ljóst er af mynd 35 að hola 17 er ljómandi vinnsluhola og afkastar u.p.b. 160 kg/s við 8 bör á toppi svo dæmi sé tekið. Þá svarar djúþrýstingur holunnar hratt rennslisbreytingum. Það bendir til mikillar lektar og rýmdar jarðhitakerfisins við holuna. Gögnin eru mjög "óhrein" í þeim skilningi að slátturinn í holurennslinu gerir alla aflestra loðna. Útheimtir það nokkra úrvinnslu. Það bíður sérstakrar lokaskýrslu um aflmælingar áranna 1999 og 2000. Myndir 36 og 37 sýna svo hvernig heildarrennslið venslast við toppþrýstinginn annars vegar og þrýsting á 1100 m dýpi hins vegar. Annarrar gráðu margliður eru felldar að báðum gagnasöfnunum. Þá fæst gróflega á litið að:

1. Heildarrennslið  $m_t$  fylgir toppþrýstingi,  $P_0$ , samkvæmt jöfnunni:

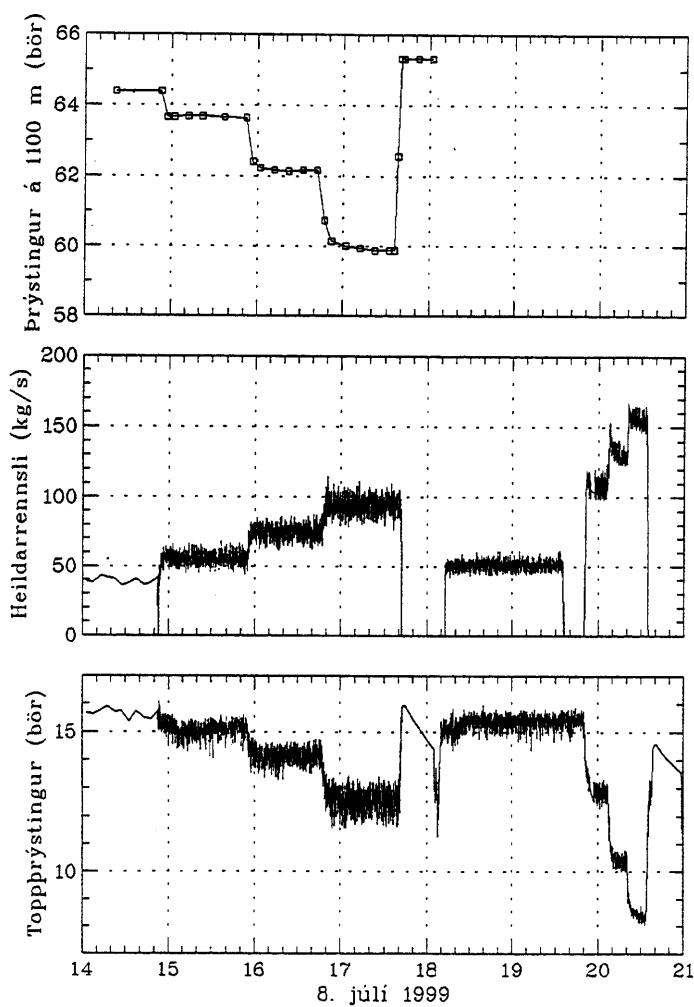
$$m_t = 183.9 + 3.705 \cdot P_0^2$$

Þessi jafna gildir neðan 15 bara holutoppsþrýstings. Ofan 15 bara fellur rennslið hratt að lokunarþrýstingi, sem er rétt rúm 16 bör-y.

2. Heildarrennsli fylgir þrýstingi á 1100 m,  $P_{1100m}$  eftir jöfnunni:

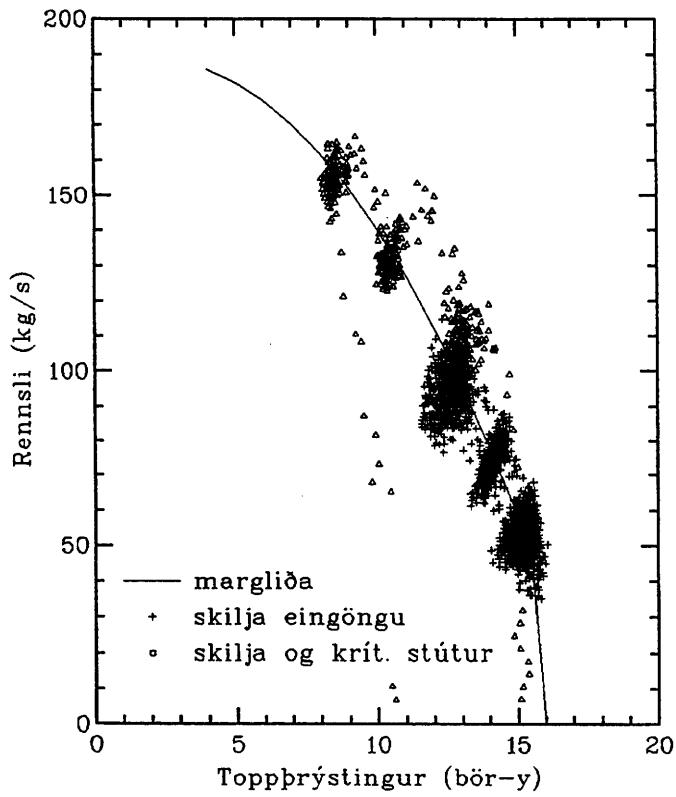
$$m_t = -8287 + 282 \cdot P_{1100m} - 2.37 \cdot P_{1100m}^2$$

Svipað samband má leiða út sé þrýstibreyting á 1100 m sýnd sem fall af heildarrennslinu. Fæst þá að iðustreymisstuðull holunnar er u.p.b.  $0,0005 \text{ bör}/(\text{kg/s})^2$ . Það þýðir t.d. að við 50 kg/s rennnsli er þrýstifall sökum iðustreymis um 1,25 bör og við 100 kg/s fer það í 5 bör. Þrýstifall vegna lagstreymis í sjálfu jarðhitakerfinu er mun minna eða rúm 0,4 bör við 50 kg/s og tæp 0,9 bör við 100 kg/s heildarstreymi.

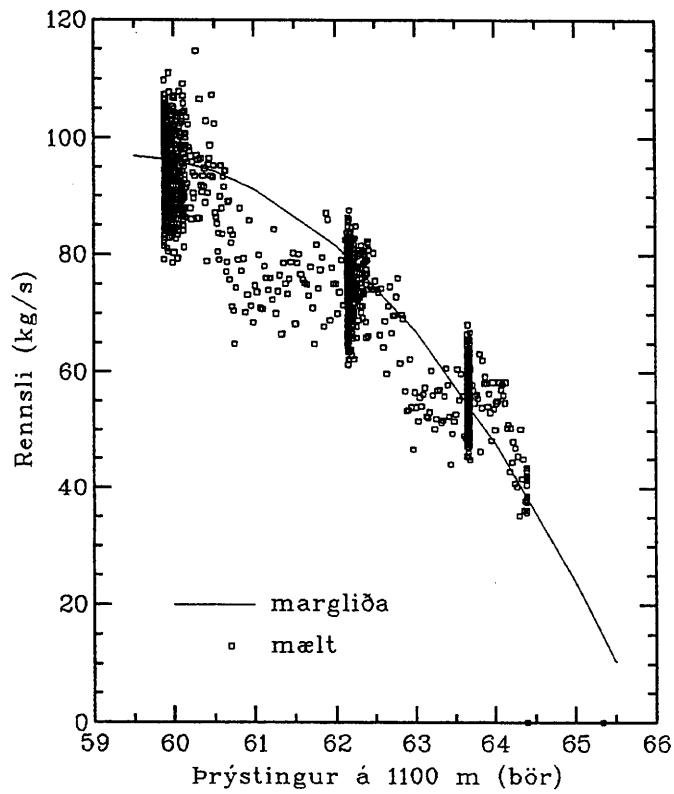


**Mynd 35:** Saga topp- og botnþrýstings og heildarrennslis úr holu SJ-17 í júlí 1999. Einungis er sýnt fimmta hvert mæligildi sem safnað var.

Sem áður segir á eftir að fullvinna gagnasafnið sem safnaðist í prófun holu 17 í júlí 1999 og er því enn gerður fyrirvari um að niðurstöður geti breyst þegar fullnaðarúrvinnsla aflmælinganna liggur fyrir. Strax er þó hægt að fullyrða að hafa má af prófinu nokkuð gagn í rekstri holunnar. Sem dæmi má nefna að iðustreymisstuðullinn er mjög viðkvæmur fyrir útfellingum úti í bergi. Hann má meta hvenær sem er með því einfaldlega að slaka þrýstimæli djúpt í holuna og mæla 3-4 þrep í niðurdælingunni. Þá má nefna að í vinnsluholum ætti þrýstifall milli þepa að haldast eins svo lengi sem æðar sjóða ekki. Þessa vitneskju má nota til að vensla heildarrennsli saman við bæði toppþrýsting í blæstri og stöðu á keiluloka við breytilegan þrýsting í jarðhitakerfinu.



**Mynd 36:** Samband rennslis og toppþrýstings holu SJ-17 í júlí 1999.  
Einungis er sýnt fimmta hvert mæligildi sem safnað var.



**Mynd 37:** Samband rennslis og þrýstings á 1100 m dýpi í holu SJ-17 í júlí 1999.  
Einungis er sýnt fimmta hvert mæligildi sem safnað var.

## 8 EFNASAMSETNING BORHOLUVÖKVA

### 8.1 Gas í gufu

Þegar hola 17 var afkastamæld þann 8. júlí 1999 voru sýni tekin af renni hennar til efnagreiningar. Styrkur gass í gufu var ákvarðaður í hverju þepri aflprófsins. Það var gert á þann hátt, að lítil gufuskilja var skrúfuð á holutoppinn og hún stillt svo, að annar hani hennar skilaði einungis þurri gufu. Öllu vatninu og hluta gufunnar var veitt út um hinn hanann. Gufan var leidd um barka ofan í loftærnda flösku, sem þó hafði að geyma u.p.b. 50 ml af rammri vítissódalausn, og látin þéttast þar. Styrkur koldíoxiðs og brennisteinsvetnis í gufunni var síðan fundinn með titrun lútgundursins

**Tafla 9.** *Styrkur koldíoxiðs ( $CO_2$ ) og brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ) í gufu.  
Eining er mg gass í hverju kg gufu við holutoppsþrýsting.*

Prep	Númer	$CO_2$	$H_2S$
1	1999-0182	5243	70,0
2	1999-0183	5040	71,8
3	1999-0184	4609	72,4
4	1999-0185	4215	66,7
5	1999-0186	3455	56,9
6	1999-0187	3179	50,8

Niðurstöður þessara mælinga er að finna í töflu 9. Styrkur gass í gufu reyndist mestur í fyrsta þepri aflprófsins, en minnkaði svo með hverju þepri eftir því sem rennslið úr holunni var aukið. Þessi hegðun bendir til þess að innstreymi í holuna sé að einhverju leyti tvífasa, þótt ekki sé þar með sagt að vermi rennisins þurfi endilega að vera mjög miklu hærra en vatnsvermi.

Styrkur gass í gufu er lítt háður rennsli úr holu ef innstreymi í hana er einfassa. Þegar renni í háhitaholu stígur í átt til yfirborðs minnkars farg súlunnar sem ofan á liggar og vökvinn sýður; vex þá hluti gufunnar með fallandi þrýstingi eftir því sem ofar dregur. Við suðuna hverfur langmestur hluti gassins úr upplausn og yfir í gufuna. Styrkur gass í gufu ræðst þannig í raun af tvennu, styrk uppleysts gass í innstreymingu svo og gufuhluta rennisins. Má raunar kalla svo að gasið sé að þynnast af völdum aukinnar gufu á leiðinni upp holuna. Á yfirborði er gufan skilin frá vatnsfasanum. Sé nú rennsli úr holunni aukið, breytir það því einu að við holutopp fellur til meiri gufa, sem nemur auknu rennsli. Styrkur gass í gufu og gufuhluti breytast ekki með rennsli, að því tilskildu að þrýstingur í holunni breytist ekki svo neinu nemi.

Sé innstreymi í holuna á hinn bóginn tvífasa gegrnir nokkuð öðru máli. Þegar jarðhitavökvi sýður úti í bergi hlýtur styrkur gass í gufu þeirri sem myndast utan holu að verða talsvert mikill. Ástæðan er sú, að aðeins mjög lítt hluti vökvans þar getur soðið í einu, því rými er lítið og eðlisrúmmál gufunnar miklu meira en vatnsins, en gasið leitar mjög í gufuna eins og fyrr segir. Þess má því vænta að styrkur gass í renni

verði, að öðru jöfnu, meiri í holum með tvífasa innstreymi en einfasa. En þar með er ekki öll sagan sögð. Við lítið rennsli úr slíkri holu er hlutur aðkomugufunnar yfirleitt tiltölulega mikill, en minnkar eftir því sem rennslið úr holunni er aukið. Þegar nú rennið er skilið á yfirborði verður styrkur gass í gufu mestur við lítið rennsli, en minnkar eftir því sem meira er unnið úr holunni. Þetta er einmitt það mynstur sem hola 17 sýndi við aflprófið í júlí 1999.

Niðurstöður hita- og þrýstingaelinga benda til þess að suðuborð í holunni hafi verið nálægt 770 m dýpi þegar afköst holunnar voru mæld. Er þá lítið til þess að eimþrýstingur koldíoxíðs í vökvum reiknast u.b.b. 1,4 bar við 245°C. Nú er holan fóðruð að 790 m dýpi, og virðist það mæla því í gegn að innstreymi geti verið tvífasa. Hér munar samt ekki ýkja miklu, og má t.d. benda á að einnar gráðu hitahækjun myndi lækka suðuborð um nær átta metra. En hvernig sem því kann að vera varið, þykir breyting gasstyrks í gufu með rennsli vera vísbending um tvífasa innstreymi, þótt hækjun frá vatnsvermi kunni að vera mjög lítil.

## 8.2 Efnasamsetning rennis

Í fyrsta þepi aflprófsins var ekki látið við það sitja að ákvarða einungis styrk gass í gufu, heldur var safnað svonefndu heilsýni. Rennið var þá skilið og sýni tekið af gufu svo sem fyrr er lýst. Að því fengnu var skiljan stillt á ný, en nú þannig að um annan hanann fékkst vatnsfasi eingöngu, óblandaður af gufu. Þetta vatn var kælt og sýni tekið af því. Styrkur allra helstu efna var ákvarðaður í sýnum.

**Tafla 10. Efnasamsetning vatns, gass og þéttivatns úr holu 17.**

Dagsetning 1999-07-08		Tími 14:30		Númer 1999-0182		Dýpi (m)	Sýni tók MÓ	
Hiti (°C)	Prýstingur á holutoppi (bar-g)	Prýstingur við söfnun (bar-g)	Vermi (kJ/kg)	Dagsetning vermismælingar		Rennsli (kg/s)		
205	15.8	15.8						
<b>Efnasamsetning vatns (mg/kg)</b>				<b>Gas (% rúmm)</b>		<b>Þéttivatn (mg/kg)</b>		
pH	6.42	Li	Al	.101	H <sub>2</sub>	0	pH	4.6
/Hiti	22.1	Na	Cr		CO <sub>2</sub>	94.89	/Hiti	22.8
CO <sub>2</sub>	14.7	K	Mn	.27	H <sub>2</sub> S	0	CO <sub>2</sub>	1550
H <sub>2</sub> S	.52	Mg	Fe	.058	O <sub>2</sub>	.28	H <sub>2</sub> S	36.8
NH <sub>3</sub>		Ca	Cu		N <sub>2</sub>	4.63	NH <sub>3</sub>	
B	8	Sr	Zn		CH <sub>4</sub>	.1	B	.18
Leiðni <sup>§</sup>		F	As		NH <sub>3</sub>		Na	5.88
/Hiti		Cl	Ag		Ar		Hg	
SiO <sub>2</sub>	517	Br	Cd		Rn <sup>†</sup>		Rn <sup>†</sup>	
Uppl. efni	27160	I	Sb				δD <sup>†</sup>	
O <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>	Hg				δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	
Rn <sup>†</sup>		NO <sub>3</sub>	Pb					
δD <sup>†</sup>		HPO <sub>4</sub>		Vægi (%):		<b>Gufa (mg/kg)</b>		
δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>		SO <sub>4</sub>	29.4	Jóna	lg/kgþv*	CO <sub>2</sub>	5243	
				Massa	/Hiti	H <sub>2</sub> S	70	
						Rn <sup>†</sup>		

§ µS/cm

† dpm/kg

‡‡ dpm/l

† ‰ SMOW

\* Lítrar gass með hverju kg þéttivatns

Tafla 10 sýnir niðurstöður efnagreininganna. Til skýringar er rétt að benda á nokkur atriði. Efnasamsetning vatnsfasa er skráð í fyrstu þrjá dálkana. Mælistærðir þar eru í mg/kg (ppm) nema sýrustigið, pH, sem að sjálfsögðu er einingarlaust. Skýringin *Uppl. efni* í töflunni táknað heildarstyrk uppleystra efna fundinn með þurreimingu sýnis. Samsetning óþéttanlegs gass er sýnd í fjórða dálki. Skráðir eru hundraðshlutar rúmmáls af hverri lofttegund. Efnasamsetning þéttivatns er sýnd ofantil í fimmta dálki. Í vatni og þéttivatni táknað CO<sub>2</sub> heildarkarbónat reiknað til koldíoxíðs og H<sub>2</sub>S heildarsúlfíð reiknað til brennisteinsvetnis. Heildarstyrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis í gufu, fundinn með titrun sýnis sem safnað var í lút, er skráður neðst í fimmta dálk töflunnar. Allar sýna þessar mælistærðir gildi efnastyrks í vatni og gufu við sýnatökuprýsing.

Til þess að finna samsetningu heildarrennis út frá niðurstöðum greininga einstakra fasa verður að "reikna saman vatn og gufu," eins og það er kallað en þá þarf hlutfall vatns og gufu að vera þekkt. Þetta hlutfall er háð vermi rennis og söfnunarþrýstingi, en hann er mældur þegar sýni er tekið. Sé innstreyymi í holuna einfasa, ræðst vermið aðeins af innstreymishita, og þá er samsetning djúpvatns og heildarrennis að sjálfsögðu hin sama. Sé innstreyymi í holu tvífasa er hins vegar nauðsynlegt að mæla vermið sérstaklega. Til þess að reikna samsetningu djúpvatns í því tilviki þarf hvort tveggja að vera þekkt, vermið og hitinn. Þó skiptir hitinn miklu meira máli; sé hann þekktur er reiknaður styrkur steinefna í djúpvatni lítt háður vermi.

Við mælingu í blæstri þann 8. júlí 1999 reyndist djúphiti holunnar 245°C, eins og fram kom í kafla 7. Vermi rennisins mældist ekki merkjanlega hærra en vermi vatns við þennan hita, og virðist þetta benda til einfasa innstreymis í holuna. Eins og áður segir, er minnkandi styrkur gass í gufu með vaxandi rennsli hins vegar vísbending um tvífasa innstreymi, þótt vermi rennisins þurfi ekki að vera nema lítið eitt hærra en vatnsvermi. Til reikninga á efnasamsetningu heildarrennis verður sá kostur valinn hér að miða við hitann 245°C og samsvarandi vatnsvermi, 1062 kJ/kg. Tafla 11 sýnir niðurstöður, þ.e. reiknaðan styrk helstu efnabátta í djúpvatni í holu 17.

**Tafla 11. Styrkur efna (mg/kg) í djúpvatni holu 17 í Svartsengi. Sýni nr. 1999-0182.**

Bór (B)	7,2	Natríum (Na)	6457	Klóríð (Cl)	12757
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	465	Kalíum (K)	984	Súlfat (SO <sub>4</sub> )	26,5
Flúoríð (F)	0,144	Magnesíum (Mg)	0,522	Koldíoxíð (CO <sub>2</sub> )	537
Uppleyst	24450	Kalsíum (Ca)	1091	Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	7,5

Efnasamsetning djúpvökvars í holu 17 er harla lík samsetningu vökva í öðrum holum jarðhitasvæðisins í Svartsengi, enda þótt þrír kilómetrar skilji á milli. Eins og fram kom í skýrslu Orkustofnunar fyrir fáum árum (Jón Örn Bjarnason, 1996) er merkjanlegur munur á klóríðstyrk milli holna í Svartsengi þótt líttill sé, og er styrkur klóríðs mestur í holu 9. Efnasamsetning djúpvatnsins í holu 17 líkist einmitt mest efnasamsetningu vökvans í holu 9. Má raunar kalla að efnasamsetning þeirra sé hin sama, nema kíslstyrkur, sem er ögn meiri í holu 17 en holu 9, enda er hola 17 heitari.

## **9 UMRÆÐA**

Hola SJ-17 er fyrsta holan sem boruð er í þá viðnámslægð sem tengir saman Eldvörp og Svartsengi. Í þessum kafla verður reynt að draga saman helstu upplýsingar um innri gerð jarðhitakerfisins sem holan sker, og reynt að spá í eftir föngum hvernig best sé að tengja upplýsingar úr holunni við nærliggjandi svæði.

### **9.1 Einkenni jarðlagastaflans**

Í borholunni var jarðlögunum skipt upp í einingar á grundvelli berggerðar og uppruna. Reynt var að tengja goseiningar SJ-17 við samsvarandi einingar sem greindar hafa verið í Svartsengi, Eldvörpum og borholum við Stað og er sá samanburður sýndur á mynd 38. Eins og þar sést samanstendur jarðlagastaflinn af hraunlaga- og móbergsmyndunum, þar sem þær fyrnefndu eru taldar tengjast upphleðslu á hlýskeiðum en þær síðar nefndu upphleðslu á jökulskeiðum ísaldar. Hlutfall móbergs og hraunlaga er nokkuð líkt því sem finnst á öðrum stöðum í gosbeltinu innar í landinu, sem bendir til að upphleðslan hafi að mestu átt sér stað ofan sjávarmáls. Athyglisvert er að þrátt fyrir að talið sé að tímabergi hvers jökulskeiðs sé um 90 þúsund ár og hlýskeiðs um 10-15 þúsund ár, þá er þykkt hraunlagamyndananna mun meiri en móbergsins. Þetta er í samræmi við kenningar sem settar hafa verið fram um að upphleðsla gosefna sé miklu meiri á hlýskeiðum en jökulskeiðum.

Reynt hefur verið að tengja saman jökulskeiðin (móbergsmyndanirnar) á milli holanna. Móberg það sem mest ber á er á ca. 300-600 m dýpi og er auðvelt að tengja þar á milli allra hola. Neðan þess eru móbergslögin nokkuð breytileg. Nokkuð samræmi virðist þó vera á milli þykkra móbergsmyndana í borholum við Stað og holu SJ-17 neðan um 800 m dýpis.

Misþykkt móbergslag virðist liggja á 100-200 m dýpi í flestum holanna, og er líklegt að þar sé komið móbergslag frá síðasta jökulskeiði (ca.12.000-115.000 ár). Ef við lítum á núverandi landslag á yfirborði Reykjaness, sjáum við stök móbergsfjöll sem stinga kollum upp úr hraunaflatneskjunni. Sé þetta landslag yfirfært á þversniði, er eðlilegt að búast við að móbergsmyndanir séu mjög misþykkar frá einum stað til annars. Jarðlagastaflinn frá 750 niður á um 1100 m dýpi er nokkuð frábrugðinn á milli hola. Svo virðist sem Staðarholurnar og SJ-17 eigi það sameiginlegt að móberg ræður þar ríkjum, en Eldvörp og Svartsengi hafa ráðandi hraunlög á þessu dýptarbili. Þó getur verið að móbergið milli 1000 og 1100 m dýpis sé samtíma í SJ-17 og Svartsengi.

### **9.2 Ummyndun**

Ummyndun í holu SJ-17 hefur verið skipt upp í belti eins og áður hefur verið fjallað um. Á mynd 39 er ummyndun borin saman á milli SJ-17, SG-12 í Svartsengi, EG-2 í Eldvörpum og tveggja hola við Stað. Eins og sést á myndinni er töluverður munur á ummyndun milli SJ-17 og annarra hola í Svartsengi ofan 700 m dýpis, þar sem ummyndunarbeltin liggja mun neðar í SJ-17. Munar um 250 m hvað blandlagsbeltið liggur neðar í SJ-17, og klórítbeltið liggur um 160 m neðar en í SG-12. Aðeins munar

þó um 80 m í dýpi á epidóti. Samanburður við Eldvarpaholuna er erfiðari þar sem ummyndun hennar tekur mjög sterkt mið af þróngum lóðréttum jarðhitastrompi sem holan er boruð inn í. Efra borð klórít-epidót beltisins liggur þó um 40 m ofar í Eldvörpum en í SJ-17. Ummyndun borholanna við Stað, sem sýnd er vinstra megin á myndinni, sýnir að líklegur botn á smektít-zeólítabletinu liggur rúmlega 550 m neðar en í holu SJ-17.

Flestur holar á háhitasvæðum eru boraðar sem næst meginuppstreymisstöðum jarðhitakerfanna. Hola SJ-17 er að því leyti frábrugðin að hún er líklega staðsett á útjaðri háhitakerfis. Hún gefur því tækifæri á að spá svolítið í hvernig jaðar slíks kerfis lítur út. Eru þéttu skilin á milli grunnvatnskerfis og háhitakerfis útfellingasóna eins og oft hefur verið rætt um eða eru þau með öðrum hætti? Kerfisbundin athugun á fyllingu holrýmis var fyrst gerð í holu SG-12 í Svartsengi (Hjalti Franzson 1983), og samanburður á poruhluta við borholurnar á Stað í samantektarskýrslu (Hjalti Franzson 1990). Þar kom í ljós að mikill munur er á milli þessara svæða hvað varðar fyllingu holrýmis, þar sem upprunalegt holrými bergs utan háhitasvæðisins er aðeins að takmörkuðu leyti fyllt, en í Svartsengi reyndist holrými nær algerlega fyllt. Bergið í holu SJ-17 sýnir holrýmisfyllingu einhvers staðar þar á milli (sbr. mynd 12). Þetta gefur mjög ákveðnar vísbendingar um hvað skilur að háhitakerfið og lághitakerfið fyrir utan. Þar sem lekt er mest áberandi innan háhitakerfis eru útfellingar algengastar, við jaðra minnka útfellingar almennt, og í lághitakerfinu utan háhitakerfisins minnka útfellingarnar og útfellingategundirnar verða zeólitar að mestu. Þessi hegðun bendir til, að lekt inn í háhitakerfið stjórnist ekki af virkum prímerum poruhluta í bergen.

### 9.3 Hlutfall sprungna í opnu holrými jarðhitageymisins

Eins og fram kemur í kafla 4.3, ber poruhluta, sem reiknaður er út frá viðnámi með jöfnu Archie, þokkalega vel saman við mældan poruhluta, þegar notuð eru bestu meðalgildi fyrir viðnám jarðhitavökvars og Archie-stuðulinn úr vinnsluhluta holu SJ-17. Frávikin milli ferlanna eru þó umtalsverð, rms-frávikið er t.d. um 5 prósentueiningar í poruhluta. Því vaknar spurningin hvernig megi skýra þau. Eins og sést á mynd 11, eru frávikin að mestu bundin við ákveðin dýptarbil og þau einkennast af snöggum staðbundnum breytingum. Það er því ólíklegt að orsakarinnar sé að leita í breytingum á viðnámi poruvökvars,  $R_w$ , því það ræðst af hitastigi og seltu vökvans, sem sennilega breytast hægt með dýpi.

Líklegustu skýringarnar á frávikunum eru tvær. Breytingar með dýpi á hlutfalli opinna sprungna í heildaporuhluta bergsins gætu valdið verulegum frávikum milli reiknaðs og mælds poruhluta. Archie-stuðullinn m er háður þessu hlutfalli, en þegar poruhlutinn er reiknaður út frá viðnámi er einungis notað meðalgildi stuðulsins í öllum vinnsluhlutanum. Hin skýringin gæti verið sú að forsendan um að yfirborðsleiðni sé hverfandi í klórít-epídótbeltinu sé ekki fullkomlega rétt og að leiðandi leirsteindir séu til staðar á ákveðnum dýptarbilum í vinnsluhlutanum í nægjanlegu magni til að bjaga niðurstöður fengnar með jöfnu Archie.

Ef horft er framhjá hugsanlegri yfirborðsleiðni, bendir gildið  $m=1,245$  fyrir Archie-stuðulinn eindregið til þess að opnar sprungur vegi þungt í heildaporuhluta kerfisins. Hægt er að leggja gróft mat á sprunguporuhlutann með einföldu líkani Valgarðs Stefánssonar o. fl. (1982b). Gert er ráð fyrir að sprungunetið skipti jarðhitakerfinu upp

í teninga og borholan sé samsíða einni hlið þeirra. Þá fæst að um 70% poruhlutans liggi í sprungum. Þetta er þó einungis meðaltal fyrir allan vinnsluhlutann og hafa verður í huga að líkanið einfaldar sprungunetið sennilega um of. Af jöfnu (2) í kafla 4.3 má þó ráða að á dýptarbilum þar sem reiknaður poruhluti er hærri en mældur, sé sprunguporuhlutinn lægri en meðalsprunguporuhluti alls vinnsluhlutans. Þessu er hins vegar öfugt farið þar sem reiknaður poruhluti er lægri en mældur. Mismunaferillinn á mynd 11 ætti því að gefa til kynna hvernig sprunguporuhlutinn sveiflast um meðaltalsgildi sitt. Af ferlinum sést að sprunguporuhlutinn ætti að vera lægstur á dýptarbilinu 1050-1120 m, en að hann vaxi hratt neðan 1200 m dýpis og nái hámarki neðst í holunni.

Rétt er að bera þessar niðurstöður saman við vísbendingar um sprungur og lekt sem fengust við athuganir á svarfi í vinnsluhlutanum.

Efri kaflinn samanstendur af túffi, breksíu og bólstrabergi sem hugsanlega er hluti móbergsstapa. Engar æðar eru á þessum kafla, en bæði ofan og neðan við hann eru góðar æðar og vísbendingar í svarfi um góða lekt (þýrít, adúlaría). Bergið sker sig hins vegar úr öðru bergi í vinnsluhlutanum að því leyti að magn ummyndunar (plagíóklasi, magnetít/ilmenít) er í lágmarki. Þetta fer saman við að um 10% holrýmis bergsins er enn ófyllt af útfellingum. Vegna þess að berghiti er svipaður í öllum vinnsluhlutanum og berggerðin er ekki síður næm fyrir ummyndun en annað berg í þessum hluta holunnar, gefur þetta sterka vísbendingu um að streymi jarðhitavökva um bergið á þessu dýptarbili hafi verið minna en á bilunum fyrir ofan og neðan. Þessu má koma heim og saman við þá niðurstöðu jarðlagamælinganna að sprunguporuhlutinn sé í lágmarki á þessu bili með eftirfarandi skýringu: Staðinn jarðhiti er í berginu á þessu dýptarbili. Lítið er um sprungur og skortur á sprungulekt veldur því að jarðhitavökvin nær ekki að streyma nægilega vel um bergið til að ummynda það eins mikið og grannbergið og fylla holrýmin af útfellingum. Opna holrýmið er leif af upprunalegum glufum og blöðrum móbergsins. Það er illa tengt og gefur þess vegna litla lekt.

Í neðsta hluta holunnar er þessu þveröfugt farið. Magn ummyndunar er mikið og margvíslegar vísbendingar eru um sprungulekt. Neðan um 1170-1180 m verður í vaxandi mæli vart við þýrít og útfellingar í sprungum (anhýdrít og kalsít), t.d. fannst mikill fjöldi kalsítæða í þunnsneið af 1222 m dýpi. Vaxandi skoltap varð á dýptarbilinu 1220-1240 m og skápar eru áberandi í víddarmælingu á dýptarbilinu 1218-1253 m. Þetta bendir eindregið til þess að bergið sé sprungið á þessu bili og kemur það vel heim og saman við mismunaferil mælds og reiknaðs poruhluta (mynd 11) sem bendir til þess að hlutfall opinna sprungna í heildaporuhlutanum sé yfir meðallagi neðan 1200 m og fari vaxandi niður á botn.

Þessar niðurstöður vekja upp vonir um að kortleggja megi sprungubelti í háhitakerfum með mælingum á viðnámi og poruhluta í borholum.

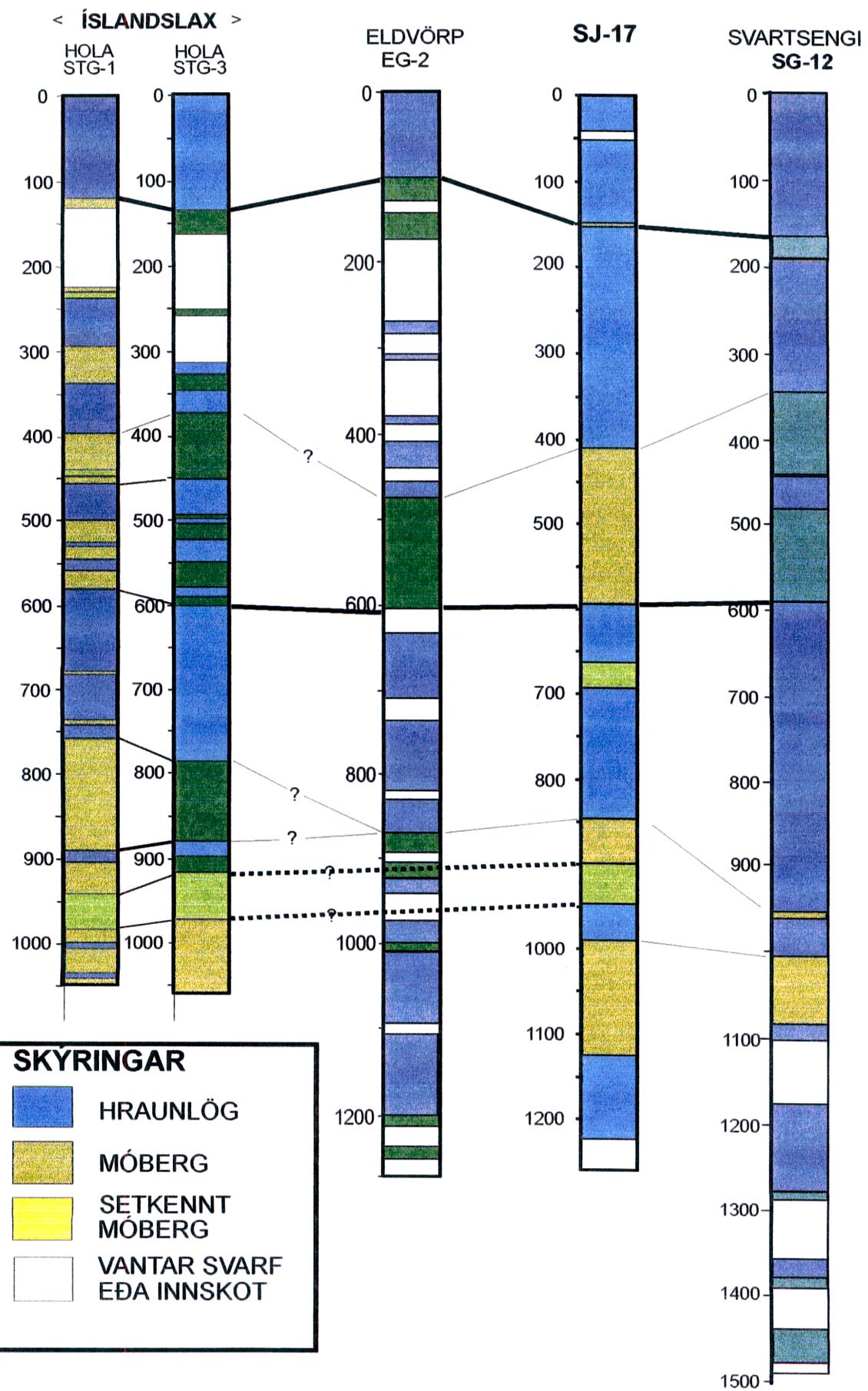
Það helsta sem gæti varpað rýrð á þessar niðurstöður er að forsendan um hverfandi yfirborðsleiðni sé röng. Þó að vinnsluhluti holu SJ-17 liggi allur í klórít-epídót ummyndunarbeltinu, eru vísbendingar um að blandlagsleir sé til staðar (mynd 13), en hann er talinn valda yfirborðsleiðni. Ástæðurnar fyrir þessum leir gætu verið ýmsar. Núverandi berghitastig í vinnsluhlutanum ( $240^{\circ}\text{C}$ ) er nálægt efri stöðugleikamörkum

blandlagsleirs og neðri stöðugleikamörkum klóríts. Ummyndunin bendir hins vegar til að hitastig hafi verið hærra og gæti því blandlagsleir hafa byrjað að myndast vegna kólnunar í jarðhitakerfinu. Annar möguleiki er sá að jarðhitavökvinn hafi verið ferskur í upphafi, og að vaxandi selta hafi með tímanum aukið stöðuleika blandlagsleirs á kostnað klóríts. Vísbendingar eru um að slíkt eigi sér stað í jarðhitakerfum á hafslotni (Hrefna Kristmannsdóttir, munnlegar upplýsingar, 1999).

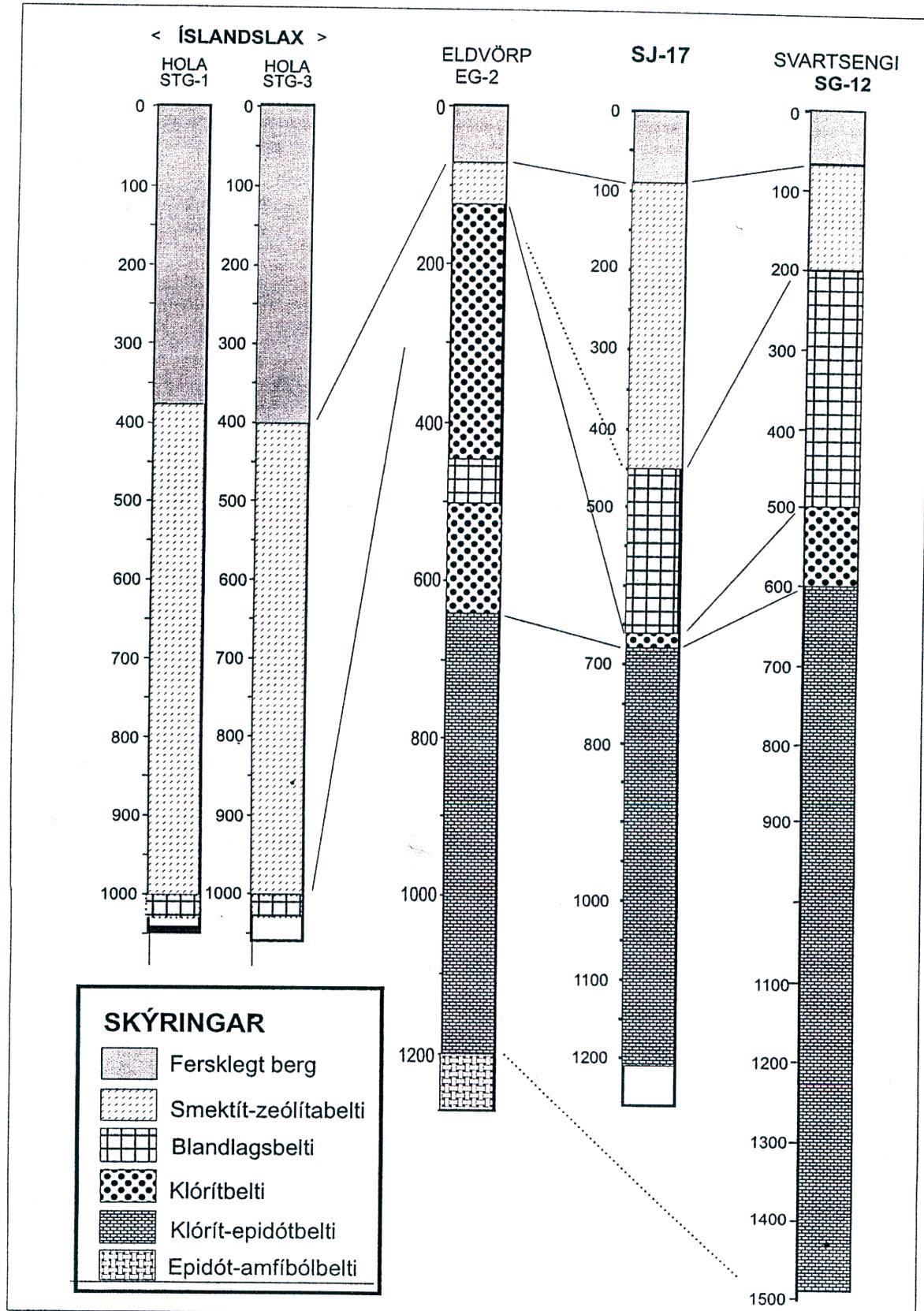
Hvað sem því líður, er víst að ef leiðandi leir er til staðar í berGINU í nægu magni, getur hann ónýtt allar tilraunir til að meta sprunguporuhluta jarðhitageymisins á grundvelli jöfnu Archie. Leirinn myndi valda hækjun á poruhluta reiknuðum samkvæmt jöfnu Archie og vanmati á hlutfalli opinna sprungna í heildaporuhlutanum. Ef skýra ætti meginfrávikin tvö á mismunaferli mælds og reiknaðs poruhluta (mynd 11) með áhrifum leiðandi leirsteinda, ætti að vera mest um leirinn á dýptarbilinu 1050-1120 m, en minnst í botni holunnar. Ekki er hægt að svara því hvort svo sé á grundvelli tiltækra gagna. Mynd 13 sýnir að blandlagsleir er til staðar á a.m.k. tveimur stöðum á fyrrnefnda bilinu, dýpst fundarstaðurinn er í 1200 m, en hann hefur einnig fundist á annars staðar í vinnsluhlutanum.

#### **9.4 Jarðfræðileg tengsl vatnsæða**

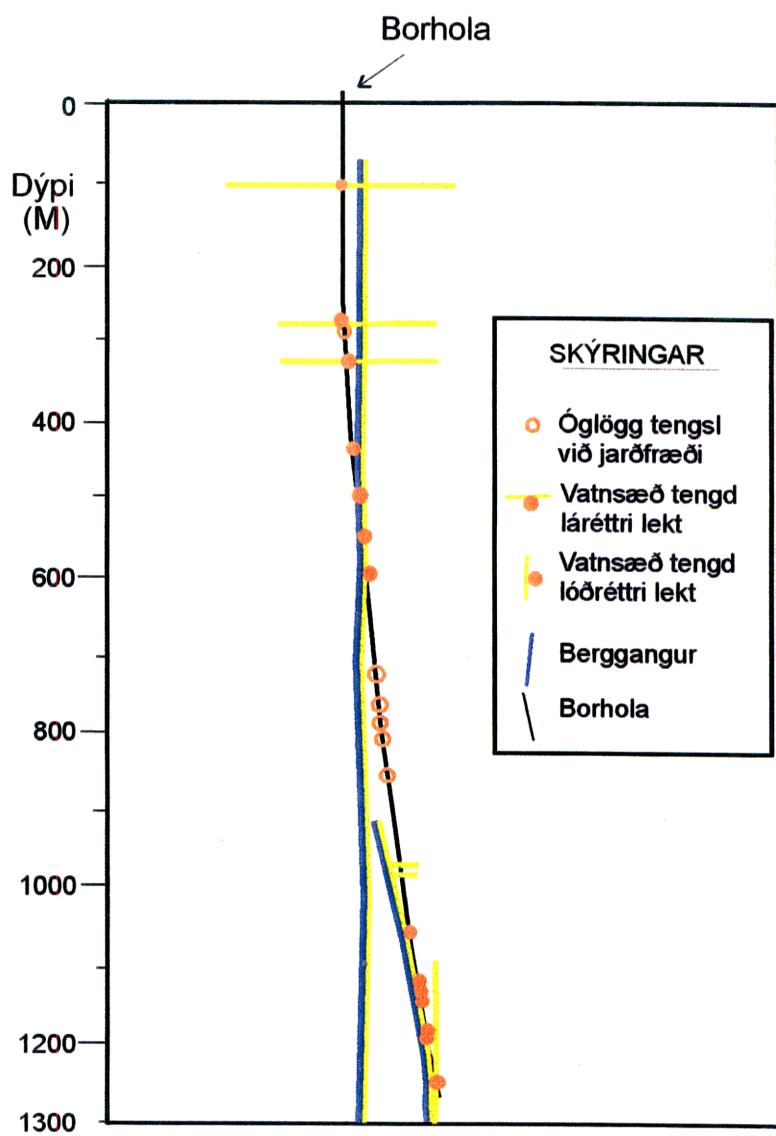
Lýst er forsendum og líklegum jarðfræðilegum tengslum hverrar vatnsæðar í kafla 6.1. Á mynd 40 er á skematískan hátt sýnt hvernig vatnsæðarnar tengjast ákveðnum strúktúrum í berggrunninum. Þar sést að æðar í efstu 400 m tengjast gjarnan láréttum lagskilum milli goseininga, sem líklegast tengjast lóðréttu jarðhitauppstreymi fjær holunni. Á milli 400 og rúmlega 600 m dýpis tengjast æðar líklegast mest jöðrum berggangs, og svo er einnig á 1050 til 1190 m dýpi. Botnæðin tengist líklegast lóðrétttri jarðhitasprungu.



**Mynd 38.** Samanburður jarðlaga SJ-17 við Eldvörp, Svartsengi og Stað .



**Mynd 39.** Samanburður ummyndunar í holu SJ-17 við Eldvörp, Svartsengi og Stað.



**Mynd 40.** Möguleg tenging vatnsæða við jarðfræði holunnar.

## 10 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður eru eftirfarandi.

- Hola SJ-17 var boruð um 2,4 km frá Svartsengi og náði 1260 m dýpi. Hún var boruð á 58 dögum og vinnslufóðring nær í 797 m dýpi.
- Hiti í vinnsluhluta holunnar er 240-243°C.
- Unnt er að dæla 130 l/s af köldu vatni á holuna og hækkar vatnsborð um 2 m/(l/s). Prepaprófanir á holunni sýndu stöðugt betri lekt, og er sýnt að þær hafi örvað mjög lekt hennar.
- Holuna má nota hvort sem er til vinnslu á gufu eða niðurdælingar á affallsvatni.
- Jarðög eru samblund af hraunlögum (56%), móbergi (30%) og innskotum (4%). Unnt er að tengja saman samtíma myndanir á milli SJ-17 annars vegar og Svartsengis, Eldvarpa og holanna við Stað hins vegar.
- Ummynndun sýnir að berg er nær ferskt niður á um 90 m dýpi þar sem smekti-zeólítbeltið tekur við og nær niður á 500 m dýpi. Blandlagsbeltið sem við tekur nær niður á 650 m dýpi, klórítbeltið á 675 m dýpi og klórít-epidótbeltið neðan þess niður á botn holunnar. Samanburður á milli ummynndunar- og berghita sýnir góða samsvörun, þótt ummynndunarhitinn sé ívið hærri en sá mældi. Tímaröðun útfellinga í holrými sýnir "hægfara" þróun jarðhita á þessu svæði frá lághita til háhita. Ekki sést merki nema um einn háhitafasa, sem samsvarar þeim sem nú ríkir. Samanburður á ummynndun milli SJ-17 og Svartsengis bendir til að jarðhitinn liggi um 100-200 m dýpra í SJ-17.
- Berghiti og þrýstingur eru mjög sambærilegir þeim sem ráða ríkjum í Svartsengi. Það bendir til tengsla við Svartsengiskerfið.
- Samanburður milli ummynndunar SJ-17 og túlkunar viðnámsmælinga sýnir þokkalega samsvörun og eru líkur á að hola SJ-17 sé staðsett í "norðurhlíðum" viðnámslægðarinnar, enda ber ummynndun þess merki að vera samblund af lághita- og háhitakerfi.
- Nokkur fylgni er milli jarðlagamælinganna í vinnsluhluta holu SJ-17 (poruhluta, 64" viðnáms og náttúrulegrar gammageislunar) og berggerðarinnar eins og hún endurspeglast í bergflokkum ákvörðuðum á grundvelli svarfgreiningar. Sambandið er þó fremur veikt og varla tölfraðilega marktækt.
- Í vinnsluhluta holu SJ-17 gildir í aðalatriðum jafna Archie um samband viðnáms og poruhluta. Þegar jafnan er felld að gögnunum fæst að viðnám jarðhitavökvan sé 0,36 Ohmm og að Archie-stuðullinn m sé 1,245.
- Reynt var að meta hlutfall opinna sprungna í heildaporuhluta jarðhitakerfisins. Gildið  $m=1,245$  bendir eindregið til þess að opnar sprungur vegi þungt í heildaporuhlutum. Á grundvelli einfaldaðs líkans má áætla að sprunguporuhlutinn sé um 70% að meðaltali. Niðurstaðan byggist á þeiri forsendu að yfirborðsleiðni sé hverfandi. Sprunguporuhlutinn reiknast lægstur á 1050-1120 m dýpi en hæstur í neðsta hluta holunnar. Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við niðurstöður jarðfræðirannsóknanna, sem benda til lítils streymis jarðhitavökva um berglögin í efri kaflanum, en góðrar sprungulektar í þeim neðri. Þessar niðurstöður vekja vonir um að kortleggja megi sprungubelti í jarðhitageymum háhitasvæða með mælingum á viðnámi og poruhluta í borholum.

- Styrkur gass í gufu í sýnum sem tekin voru er holan var afkastamæld þykir benda til að rennslið inn í holuna sé að einhverju leyti tvífasa. Efnasamsetning djúpvökvans í holu 17 er mjög svipuð og í söltustu holunni í Svartsengi, holu 9.
- Aflmælingar sem gerðar voru sýna að holan gefur um 160 kg/s við 8 bara þrysting á holutoppi. Einnig svarar djúþrystingur holunnar hratt rennslisbreytingum, sem bendir til mikillar lektar og rýmdar jarðhitakerfisins við holuna. Sýnt þykir því að holan er hin ágætasta vinnsluhola.

## HEIMILDIR

Benedikt Steingrímsson, Helga Tulinius, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Einar Gunnlaugsson og Gestur Gíslason, 1997. Ölkelduháls, hola ÖJ-1. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-97019. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur, 190 s.

Grímur Björnsson, 1998. Tvífasa reiknilíkan og spár þess um afköst suðusvæðisins í Svartsengi. Orkustofnun, OS-98012, 40 s.

Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991. Hiti og þrystingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi. Upphafsástand og breytingar vegna vinnslu. Orkustofnun, OS-91016/JHD-04, 69 s.

Guðni Axelsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Jens Tómasson, Jósef Hólmjárn og Sæþór L. Jónsson, 1994. Afkastaprófun holu SN-12 á Seltjarnarnesi. Frumniðurstöður. Orkustofnun, OS-94046/JHD-26 B, 13 s.

Hjalti Franzson, 1983. Svartsengi, hola SG-12. Borun, jarðlög, ummyndun og vatnsæðar. Orkustofnun, OS-83003/JHD-02, 54 s.

Hjalti Franzson, 1990. Svartsengi. Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess. Orkustofnun, OS-90050/JHD-08, 41 s.

Hjalti Franzson, 1994. Nesjavellir. Þættir af ummyndun í jarðhitakerfi. Samvinnuverk Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun, OS-94021/JHD-06, 52 s.

Hjalti Franzson, 1996. Eldvörp, hola EG-2. Jarðfræðirannsóknir. Orkustofnun, OS-96030/JHD-05, 63 s.

Jón Örn Bjarnason, 1996. Svartsengi. Efnavöktun 1998-1995. Orkustofnun, OS-96082/JHD-10, 125 s.

Knútur Árnason og Ólafur G. Flóvenz, 1992. Evaluation of physical methods in geothermal exploration of rifted volcanic crust. Geothermal Resources Council Transactions, 16, s. 207-214.

Nakao, S. og Ishido, T., 1998. Pressure-transient behavior during cold water injection into geothermal wells. Geothermics, 27, 401-413.

Ólafur G. Flóvenz, Lúdvík S. Georgsson og Knútur Árnason, 1985: Resistivity structure of the upper crust in Iceland. *Journal of Geophysical Research*, 90, 10136-10150.

Ragna Karlsdóttir, 1998. TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi. Orkustofnun, OS-98025. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja, 43 s.

Sigurður Gíslason og Stefán Arnórsson, 1990. Saturation state of natural waters in Iceland relative to primary and secondary minerals in basalts. *Fluid-Mineral Interactions: A tribute to H.H.Eugster*. The Geochemical Society Special Publication No. 2, s. 373-393.

Stefansson, V., Gudmundsson, A. og Emmerman, R., 1982a. Gamma ray logging in Icelandic rocks. *The Log Analyst*, November-December 1982, bls. 11-16.

Stefansson, V., Axelsson, G. og Sigurdsson, O., 1982b. Resistivity logging of fractured basalt. Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, December, s. 14-16.

Sveinn Jakobsson, 1996. Eiga gerlar þátt í ummyndun basaltgjóskunnar í Surtsey? *Icel. Agr. Sci.* 10, bls. 273-289.

Sverrir Þórhallsson, 1997. Svartsengi-Reykjanes. Verklýsing háhitaborunar. Orkustofnun, OS-97032, 20 s.

Verkfræðistofan Vatnaskil sf, 1997. Svartsengi. Líkanreikningar af jarðhitakerfi vegna framtíðarvinnslu. Orkustofnun, OS-97010, 20 s.



## **Viðauki 1**

Dagsskýrslur (Bortíðindi)



## ORKUSTOFNUN

Rannsóknadeild



**BORVAKT**  
1. apríl 1998  
Höla SJ-17

### Heistu áriði

Borvakt OS höfist að morgni 31. mars í Svartsengi á 15. verðdegi. Bonun steypu og blöndun bortefju var lokio um klukkan 10 f. h. og höfist þá borun í berg. Á miðnætti var dýpi í holunnar orðið 90 m og klukkan 7. (morgun 1. apríl) var borkrónan komin á 95 m dýpi. Jardlögg holunnar hafa verið gleind niður á 95 m dýpi og eru hráunlögg einar. Engar útteilingar né um myndunum af völdum jardlöta hafa sést enn sem komið er. Ferskleiki og þéttileiki hráunanna og stærð borkrónu skyra lágan borthrada.

### Frakkvænd borunar

Frá miðnætti 31. apríl fram til klukkan 9 var boruð steypu í höggboruholunni frá 69 m dýpi niður á 78 m dýpi (miðað við driftordóð Jötuns) með 21° borkrónu, ásamt því að öryggislokar holunnar voru pröfaðir. Borad var í bergi með vænti niður á 83 m dýpi, en þá stoppab og ledja blönduðu. Borad var áfram og var dýpi orðið 90 m um miðnætti. Í morgun klukkan 7 var dýpi holunnar orðið 95 m. Álag akrónu hefur verið verið breytillegur allt frá nokkrum þúsundum upp í um 27 þús. Pund. Snúningshrádi krónu nefur einnig verið breytillegur eða 30-60 snúningar á minnáttu. Ástæða breytillegs álags og snúnings er meðal annars hinsingur borstrengs í holуни. Eftir að lejðu var hrauninn nefur dælning verið haldið í um 20 l/s. Skottapsmæling er gerð á um 4 klukkustunda fresti í borun og er skotap hverfandi.

### Jardvísindabáttur

SJ-17 er bondu rúma 2 km í vestur frá Svartsengi. Á meðfylgjandi mynd er sýnd jardlagagreining úr SJ-17 á 95 m dýpi sem borðað harði verið á klukkan um 7 að morgni 1. apríl. Jardlögin eru hráunlögg. Engar visbendingar hafa fundist um jardlöta (ummyndun, útteilingar) berglögnum. Til hildar vid jardlagagreiningu á SJ-17 hefur verið sett fram "jardlagaspa", sem tekur mið af berglagastaffa Svartsengis og Eldvárpa. Ennfremur hefur verið sett fram spá um mögulega hika-breytingar með dýpi í eftir 250m, en bær hitatíbur eru fyrirsílega tükkaðar út frá viðtámsmælingum sem nýverð voru gerðar á þessu svæði.

Hjalti Franzson

### Heistu atríði

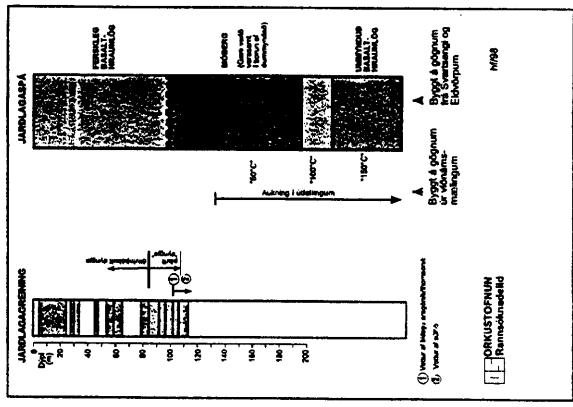
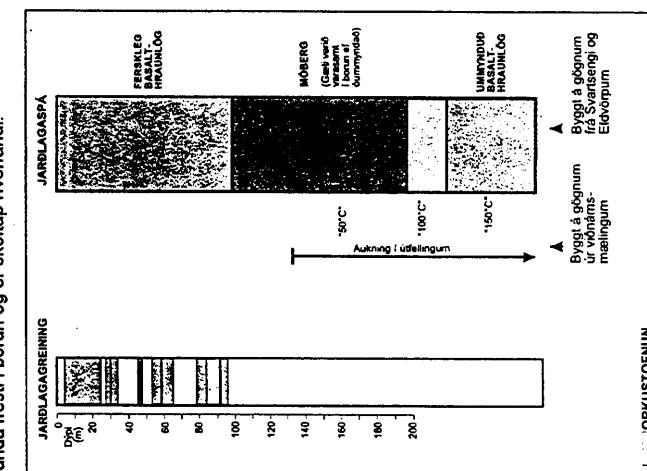
Í morgun klukkan 7 var dýpi holu orðið 114 m, og hafa borast samtals 20 m síðasta síðahnning. Nær enginn leki er í holunni. Eins og áður ræðst lágor bohrði af hörkú bergsins, vidd holunnar og takmörkuðu álagi á krónu. Ein er borð að basalthraunilögg, sem eru mjög einsleit og eru líklegar til dyngju. Í 94 m sér vottu fyrir fyrstu jarðhitasutteilingum og á 110 m dýpi verður vart við suffit útteilingar sem eru fyrstu visbandingar um að jardhitakerti sé í námsi.

### Frakkvænd borunar

Að síðustu 24 klukkustundum hafa borast tæplega 20 m, en það samsvarar læpum 1 m á list. Borhraci er eitt hvæð breytingar sem orsakast af því að þegar farð er í gegnum hráunlagasíklíð. Það er henni hært en lægi þegar farð er í gegnum þettsta hluta hráunins. Álag hefur verið mjög breytilleg (5-15 tonn), og er því breytt til að minnka hopp og hökt krónunnar í glimunnini við hær bergríð. Snúningshráða krónunnar er einnig að sömu ástæðu breytillegur, og er 30-60 snúningar á minnáttu. Hringdæling leđunnar er um 20 l/s, og virðist nægileg til að heimsina svart úr holunni. Meeling er gerð á skottapi á 4 klistresti og herur enn sem komið er ekkert skottap meist.

### Jardvísindabáttur

Ein er borð að i norðum basalt-lögum. Að meðfylgjandi mynd, sem sýnig var birt í fyrsta tölublaði, hefur verið bætt við jardlagasýsinguna skipingu á hráunlagastaflanum. Í 84 m dýpi borast í gegnum hráundýngju sem líkugast en Sandfellshæðardýrgja, sem hefur gosmíðju vestan Eldvárpa. Neðan þess dýpis kemur í aðra dýngju, sem marka má að hveð hráunlögin eru einstílt. Þinasamsetning þessara hráuna er óháð (liklegasti pikrit) en í dýngjuminni fyrir ofan (ólivínböleti). Hraunlögin í neðri dýngjuminni eru einnig frábrugðin í því að þau eru "massívir" og því hárðari undir hraunlönum. Síðan er uppi að þessar pikridýngjur hafi yfirleitt hlaðist upp í gosum tett eftir að isolð lauk, sem er kannske ekki frásögur færandi á þessum vettvangi neðra fyrir það, að þá má vænta þess, að þegar komið er niður úr þessan dyngju, komi í límara bergr (móberg). Fyrstu merki um útteilingar sjást á 94 m en það eru



hringlagða hnúðar (íklegast aragonit eða geistasteinn) í staka þorum í bergen. Það sýti bent til að við séum að komast í neori hluta kaldra grunnvatns-lagins, og að við taki hitastigul með ólitarandi útfellingum, í 110 m síðst fyrstu merki um sulfið (glopagull), sem bendir til að séum farin að nágaði jardhitakerfi.



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

## BORVAKTÍ SVARTSENGI

3. apríl 1998, verkdagur 18

Hola SJ-17

Hjalti Franzson

**Heilstu atríði**  
I morgun klukkan 7 var dýpi holunar 134 m og hnúður borat um 20 m síðustu 24 klukkustundum, sem er aðeins minna en 1 m/kisí að meðaltali, prátí línur 10-12 tonna álag á borkronu. Skolopí eru engin. Enn eru jardlögin hráunin og Fyrstu merki um útfellingar komu í rúnum 100 m og neðan 112 m verður mikil aukning í útfellingum sem bendir til að hiti þar sé eða hafi verið >30°C.

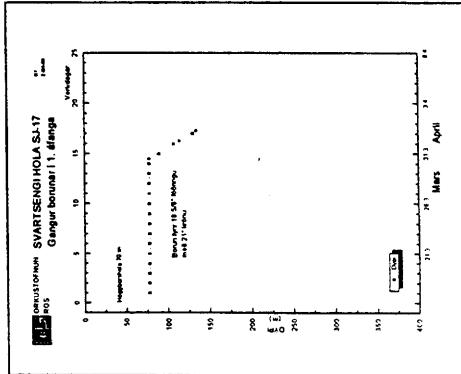
### Framkvæmd horunar

Boradur voru um 20 m síðasta sólarhringinn og var dýpi holunar klukkan 7 í morgunn 134 m. Deildingu hefur verið haldd í rúnum 22 l/s, og ekki hefur orloð verið neinna skolopá. Álag á kronu er um 10-12 tonn, snuningur 25-60, og deildryslingur 50-100 psi. Á mynd 1 er gangur bonnar sýndur. Hægur gangur bonnar er eins og áður hefur verið sýtt vegna hörkú basathraunlaganna, og viðarar borkfönu.

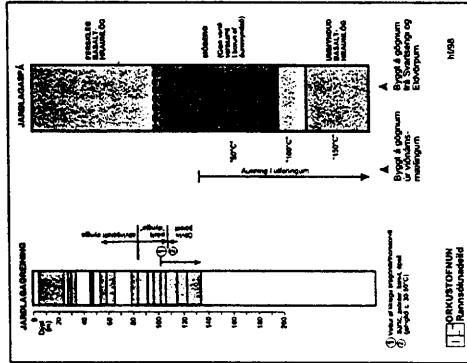
### Jardvisindi

Á mynd 2 eru sýnd einkenni jarddagastafla holu SJ-17. Ólivin bóleit basalt hráunin og ríðum og vottar enn ekki fyrir neinum níburgörfnum móberg "þorbim" í jarddagastalnum. Útfellingar, eins og áður var gefið, birtast fyrst á rúnum 100 m dýpi og neðan 114 m verður töluvernd aukning í útfellingum með háttasíkennum, sem bendir til námsar silks kerfis, eins og viðnámsmæli gamrar reyndar voru búnar að spá fyrir um. Samkvæmt þessu nær káda grunnvatnskennti níbur á um 100 m dýpi, en við tekur sharpur ritastigurinn þar nedan við. Nú er þara að síð hvað hann verður brattur. Útfellingar benda til náverandi éda týmrverandi hita um c. 30-50°C. Sílti verður var í hráuninu nokkuð meirum vestan við Svartsengi, og virðist gutfur sem stíga upp úr hráuninu sé ekki óvanlig. Fróðlegt væri að hafa við hendinga GPS-staðsettningatekni næst þegar svipabær aðstæður koma og staðsettja þessi gutfuuppstreymi.

Mynd 1. Gangur bonnar



Mynd 2. Borholujátræði



**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið

4. tööblad

**BORVAKT I SVARTSENGI**  
4. april 1998. verftsdagur 19

Hola S1-17

**Heilstuatriði**

**Helsuatrið** Í morgun klukkan 7 var dýpi holunarr 149 m. Einn er borð i hraunjöglumáli, en lítt er af þeim, þéttu hraunlaginu sem nú er borð í. Holan var hallameid í geir.

Frankvæmd borunar

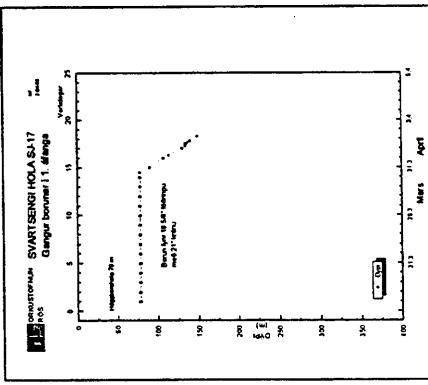
Jarðvíśindi

Engar viðbætur við nistilinn í ogar.

Wand 1: Concur Konzern

Mund 2 Botholuijardse

## Mund 2: Bartholomäus und seine Öl-



## Mynd 2. Bonhólujjardfræði

SCHWARTZ

COMMUNIST AUSTRALIA 1209

Från kvämd bördar

Borðið voru 15 m síðasta sölahringin og var dípi holumar klukktan 7 í morgun 149 m. Aleg 12-15 tonn, 30-40 smm, dæluþryslungar 80-100 psi. Skotlað með 15 (5/s) síðegis í gær og í nætt. Í fyrirnotti voru 25 kg af glimmer flögum sett niður til óf. Þetta smáteika, og virðist allt dæla nokkurna lítill. Í næstu tapti fóliðum óf. Á timabili gær gekk svo hægt að meinn fóru að velta fyrir sér að taka upp og athuga borkrónuna. Fyrst var hallamælt og síðan bætt í álegsugur og reyni að bora áfram. Þá fór alli í einu ab ganga vest og eftir óf. Í næstu síðustuðu var boraður var niður í rauðlitið Gljálfallegur milli hrauna. Síðan nægði á astur er komið var niður í nýtt hafi hraunlag sem en er borad í.

**Helsuatrið** | morgun klukkun 7 var dýpi holunum 149 m. Einn er borð í hraunlög. Síðum útfellingar sjást, en tillo er af þeim í þettu hraunlaginu sem nú er borð í. Holan var hallasmáld í gær.

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
4. apríl 1998, verkdagur 19  
Höla SJ-17

4. tölvublað





## ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

### 8. tölublað

## BORVAKT Í SVARTSENGI

7. apríl 1998, verkdagur 22

Hola SJ-17

### Helstu atriði

I morgun klukkan 7 var dýpi holurnar 253 m, og er dýpkun því 33 m frá því í gær. Bohrði meðalborðið því svipaður og síðustu dagana. Hiti á gelí up er 23,5-24,7°C sem fyrir. Skoltap er ekkert.

### Framkvænd borunar

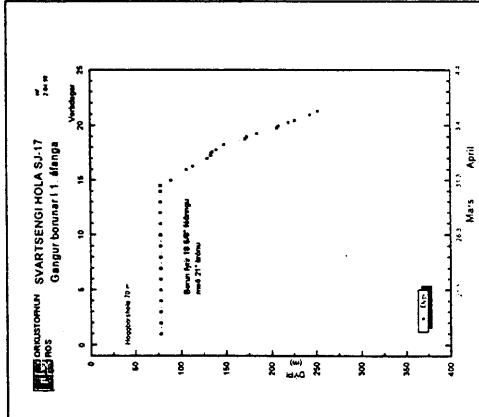
Holan dýpkar hægти og bitandi. Álag og sunningur á krónu svipaður og fyrr og tonkið nær 200 amp. Ekkert skoltap mælist. Bonunin gengur því ágætlega. Hallamæling í 200 m dýpi sýndi 1,2° halla.

### Jarðarpistill

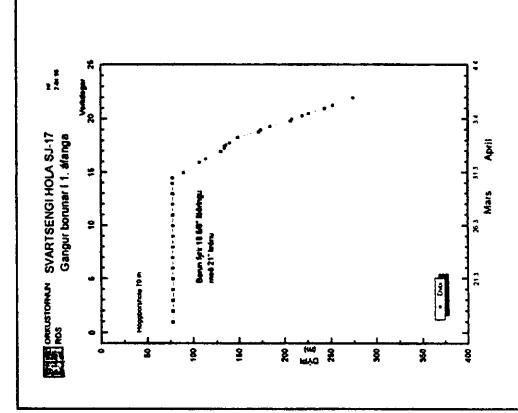
Einn er borað í ólín bóleit hraunið. Ummyndun þeirra svipul og fyrri. Olivindilar eru ad mestu umþreyttir í iddingisit, sem er ydilit leirútfelling. Blöðður eru stundum með fallagar ydilitan limonitíkúlur ( $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{OH})_2$ ), og græna smekkitlerskán yfir. Ryðitunnin einkennir bergrí viða og ber vott um lágen hita. Sumstaðar sjást smára kristallar úr kelsli eða zeólítum silija á leirsíðum eða ryðni, en holymni í hraunnum er meira og minna opib, og ásýndin til gropin. Reikna má með að bergrí sé míglekt og því er synilegt að gelíð þéttir holuveggina jafnháðan. Því er sjálfsagt best að halda gelíu sem þykstu.

Seila í skolvaninu við SJ-17 hefur verið rökkuð til umræðu að undanfömu. Mæling var gerð á sunnudaginn, en orkalið tvímáls, og svo aftur í gæmormorgun og svo í gærkvöldi. Nú er einsynt að seila er rúmlega 4000  $\mu\text{S}$ , eða sem svartar til 15-20% af sjávarseitli. Neysluvauði i stöðinni er um 324  $\mu\text{S}$  á sama kvarda. Einar Bragi kom með sjó úr Grindavíkurbóti í morgun og mælist sjórinn 18180  $\mu\text{S}$ . Athuga þarf hvort þetta settumagn hefur áhrif á væntanlega steypingu töngingarnar.

### Mynd 1. Gangur borunar



### Mynd 1. Gangur borunar





**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
8. apríl 1998, verkdagur 23  
Hola SJ-17

**Heilstu atríði**

I morgun klukkan 7 var dýpi holunnar 279 m, og er djúpum því 26 m frá því í gær. Borhraði síðasta sólárning var svipadur og fyrir, og 29 m boradur. Hittí ógeli óþreyttur, 22-23°C, og ekert skoltap. Álag var 10-12 ln, snúningur króna 40-50 sn/min og dæslupýrslurnar sem hefur verið noluð í 200 kist. Skolad var i klukkumáli milli 7 og 8 og er nú byrjað að taka upp. Taflar til þessum síkum munu verða fram eftir degi.

**Framkvæmd borunar**

I fyrra dag voru 25 kg a meira flögum sett í holuna og 25 kg af cosic soda. I gær voru svo ónnur 2 kg af micatíogum sett náður eftir að lítilsháttar skoltap hafi mælist. Glimmerflögumark sákkar séð að húta í svartfósínum. Holan týpir nægt nána í hörðu hráunlagi. Álag 8-10 ln og torkið minna, því annars hísist allt og skektst. Ekert skoltap mælist.

**Jardbærlistill**

Harða lagið sem nú er boradó í er óvinnileit, og ekki ósvíjad hraunum ofar. Ummyndun er þó adeins farin að aukast. Breysting varð nærm 260 m dýpi þar sem magn hvítra útfelliningar eykst og bergið lýstist heldur, þó ryðtluninn ríki enn. Hittí steindar um 50°C. Til síðó að þrófa vínstolumar vegna settumálsins í gær og væntanlegra steyppings. Ekert varð bó af því en mállo verður skoða í dag. 18 5/g° rönn streyma nú í bilihössum inn á svæðið.



**9. tölublað**

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
9. apríl 1998, verkdagur 24  
Hola SJ-17

**Heilstu atríði**

I morgun klukkan 7 var dýpi holunnar 308 m, og er djúpum því 29 m frá því í gær. Hristingur borstrængins var hins vegar óædillega mikill í notti og var því ákvædot að kikja á borkronuna, sem hefur verið noluð í 200 kist. Skolad var i klukkumáli milli 7 og 8 og er nú byrjað að taka upp. Taflar til þessum síkum munu verða fram eftir degi.

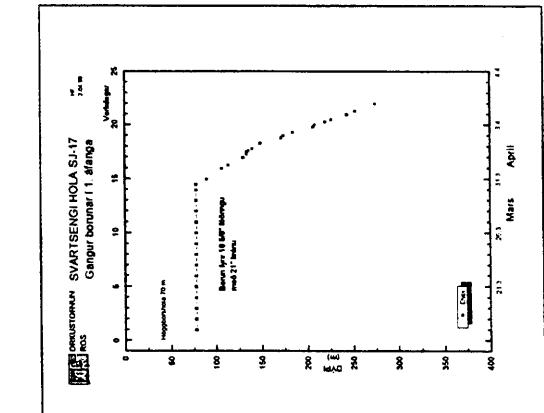
**Framkvæmd borunar**

Borhraði síðasta sólárning var svipadur og fyrir, og 29 m boradur. Hittí ógeli óþreyttur, 22-23°C, og ekert skoltap. Álag var 10-12 ln, snúningur króna 40-50 sn/min og dæslupýrslurnar 90-120 psi. Undir móngun var svo ákvædot að kikja á borkronuna, vegna óædillega mikils hristings og óláta.

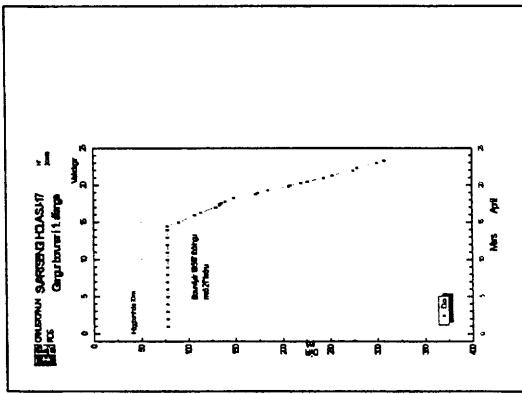
**Jardbærlistill**

Ein er boradó í hráun svipadó og áður og líttu við fyrni pistla að bæta. Bergið er enn gropið og líttu ummyndarð og kait.

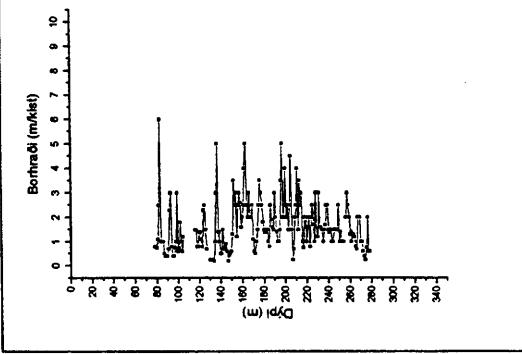
Mynd 1. Gangur bonunar



Mynd 1. Gangur bonunar



Mynd 2. Borhraði



Mynd 3. Borvakt



## ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

## BORVAKT Í SVARTSENGI

10. apríl 1998, verkdagur 25

Hola SJ-17

### Helstu atríði

### Framkvæmd horunar

I morgun klukkun 7 var dýpi holunnar 318 m, og er dýpkun því 10 m frá því í gær. Skipti þurfti um borkrönnu og var bynað abora átta milli kl 17 og 18 í gaðdag. Hirslingur og skak heist áfram þrátt fyrir krónuskiplin og boradist hefti í nöt. Heldur skárra nú í morgun.

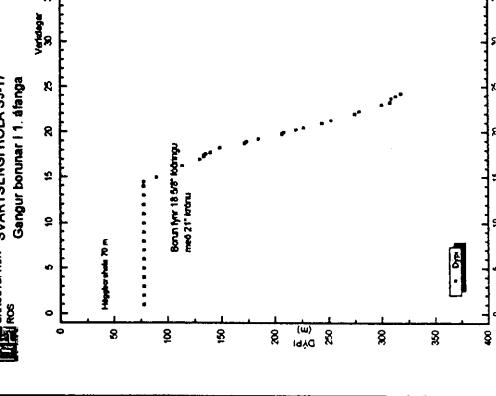
### Jardarplisti

Hraunfingin sem borað var í fyrir krónuskipli voru svipuð og ofar, en þó er holufylling aðeins farið áðu auðkast á köflum, en ferskilegur blær er enn í hrauninni á milli. Ryðiluninn á iddingatíð er aðeins farin ad dofn. Kaiseður, thomsont og kalsit ásamt smekkt eru helstu steindimur. Ummyndunarhlífi svipabur og fyrir, en magn úttefingar er farið áðu auðkast.

Meðan borstrengur var tekin upp var slíkt á deildingu í kaldavatnsholumni, HSK-14. Slíkt var á deilunni kl 11:45 og var vatnsbordi bá 23.98 m miðöð við viðmiðunarpunkt (12 cm yfir flangs). Vatnsbordi rauk upp í 23.86 m á sínum minnituduni. 11:50 var það í 23.865 m, sama 11:55. Síðan var farið í mat og mælti aftur kl 12:55 og vatnsbordi þá nákvæmlega þáð sama. Deilan var sett í gang og vatnsbordi þá níður í 23.98 á augrabragði. Heildanumhöndrattur er því 11.5 cm. Seitumælt var í gæmormorgun kl 7:30 (4.13 mS) og aftur kl. 13. 1-2 min eftir ad kveikt var á deilu, og mældist bá 4.81 mS. Seltan nefur mælist heldur lægri á morgona undanfama daga.

### Mund 1. Gangur bonunar

#### ORKUSTOFNUN SVARTSENGI HOLA SJ-17



## 10. tölublað

## BORVAKT Í SVARTSENGI

11. apríl 1998, verkdagur 26

Hola SJ-17

### Helstu atríði

I morgun klukkun 7 var dýpi holunnar 351 m, og er dýpkun því 33 m frá því í gær og gegur þurfti um borkrönnu og var bynað abora átta milli kl 17 og 18 í gaðdag. Hirslingur og skak heist áfram þrátt fyrir krónuskiplin og boradist hefti í nöt. Heldur skárra nú í morgun.

### Framkvæmd horunar

Bonun gekk nægt og örugglega í gær. Skark var heldur minna en leioð á daginn 99 boradist ágætlega í nöt. Skoltap var meilt regulega og reynist ekker. Hili bordöldu svipabur og fyrir sést fyrst aftur í 322 m dýpi í háftönum þorum, og ten zeoli yfir því sunnadar (myndadur síðan). Hili er enn lágar og ummyndunarkaupan utan um lárðihátefni undir er varfa örðin nögu bæti. Bordeja hitnar ekker heldur. Því er trulega skyndilegt að halda áfram einhverja tug metra í vildbot og hlífia hvort ummyndunarkaupan þáttist ekki aðeins belur aður en stoppað verður og fóðra. Málhús vendur þó meitoð nánar í dag ljósí svartans frá því að hæra uppi í ósúnum með ½ tima millibili og meta störfunum. Matið er groft en leitþessandi:

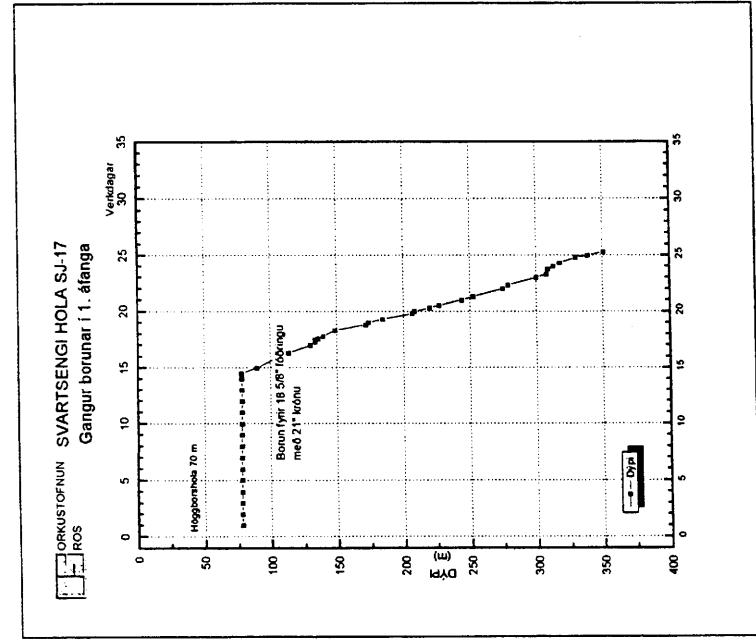
### Jardarplisti

I gær var reit um að þorufilling hefti auktist. Viða er þó holulymling hafþyllit empð, en mismikil mihi sýna. Í sumum sýnum eru þær með svæðum en svartum sýnum, sem eru 2-5 mm. Kaiseður og kalsit eru heistu útfellingar og svo leir. Pyrit sést fyrst aftur í 322 m dýpi í háftönum þorum, og ten zeoli yfir því sunnadar (myndadur síðan). Hili er enn lágar og ummyndunarkaupan utan um lárðihátefni undir er varfa örðin nögu bæti. Bordeja hitnar ekker heldur. Því er trulega skyndilegt að halda áfram einhverja tug metra í vildbot og hlífia hvort ummyndunarkaupan þáttist ekki aðeins belur aður en stoppað verður og fóðra. Málhús vendur þó meitoð nánar í dag ljósí svartans frá því að hæra uppi í ósúnum með ½ tima millibili og meta störfunum. Matið er groft en leitþessandi:

Steypa	(1)	(2)	(3)
Upphaf	Venjuleg	Mýkrin	Síðrunn greinileg
Eftir ½ tima	Eins	Merkianleg	Síðrunn greinileg
Eftir 1 tma	Greinileg	Umtalsverð	Meira en 2.
Eftir 1 ½ tma	Greinileg	Umtalsverð	Meist - lekur varfa
Eftir 2 tma	Svipul 98	1 til 1 t	Hrerist - dropar
Eftir 2 ½ tma	Hreist - lekur		Hrerist - dropar
Eftir 3 tma	Svipul í öllum sýnum	Svipul í öllum sýnum	Lekur ekki
Eftir 4 tma	Lekur ekki	Hræranleg	Hræranleg
Eftir 5 ½ tma	Lekur ekki	Hræranleg	Höfðnuð
Eftir 7 ½ tma	Hræranleg	Hræranleg	Höfðnuð
Eftir 20 tma	Lín emppa		

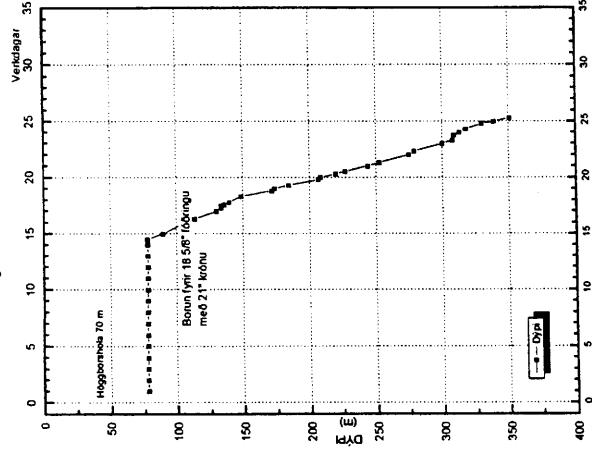
Aukin hili fylir fyrir háröndun steypu, en hefur varfa áhrif í steypingu 18.5/8° fóðringarinnar bar sembergi en fremur kaitt utan við SJ-17. Venjuleg steyping fóðringar teknar um ½ - 1 tímamálið, en þó bæti hveneri steypan kemur upp. Æskileg steypupyngr er um 1.7 g/cm³ eða svipuð og í illrauninni, og algengt er að steypan sé um 1.5 g/cm³. Niðurstöða tilraunanaðar bendir til að nota megi vatnið um HSK-14 við steypingu fóðringannar, en steypusérfræðingur mun leggja endanlegi mal á það.

**Mynd 1. Gangur borunar**



ORKUSTOFNUN SVARTSENGI HOLASJ-17

Gangur borunar í 1. áfanga



**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið

**12. tölublað**

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
12. apríl 1998, vorkdagar 27  
Hola SJ-17

**Hæstu striði**  
Í morgun, Páskadag, klukkan 7 var dýpi holumnar 384 m, og er dýpkun því 33 m frá því í gær og gengur borun vel. Ekkert skollap eru og er hili á skolvanini svipaður. Hallmælt verður í 350 m nú fyrir hædegi.

**Framkvæmd borunar**

Borð var níður úr dýnglusyrpu í 345 m, en þessi dýngla nær upp í 200 m dýpi. Næðan dýngljunar er blöðbrott pöleiliðbasalt, og er holufylling í því litlum. Nýju hraunin eru með hárda klama en eru ekki mjög pykk.

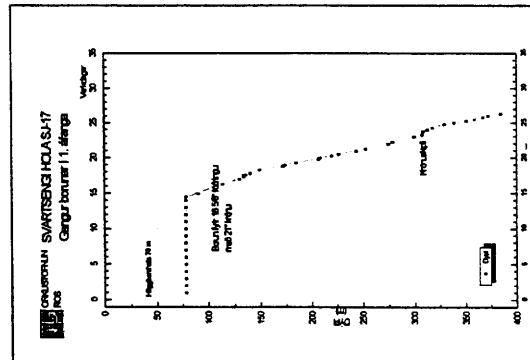
Höfum við einungis hálfvyllt enniþé, en galli eða kargi milli þóleithraunanna er fáin að fá á síg afgarandi grænan smekktilit. Ummyndunarsmekktilit er ennumálagt. Yfinit yfir jarðög holunar og ummyndun er sýnt á mynd 3.

**Jardárpistill**

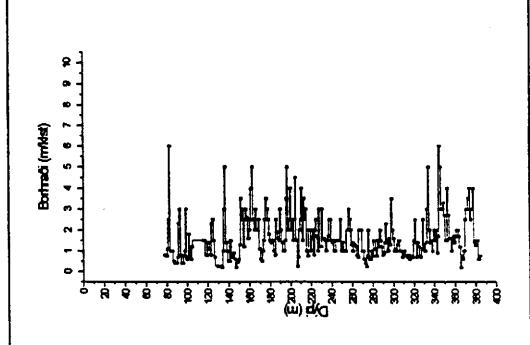
Borð var níður úr dýnglusyrpu í 345 m, en þessi dýngla nær upp í 200 m dýpi. Næðan dýngljunar er blöðbrott pöleiliðbasalt, og er holufylling í því litlum. Nýju hraunin eru með hárda klama en eru ekki mjög pykk.

Höfum við einungis hálfvyllt enniþé, en galli eða kargi milli þóleithraunanna er fáin að fá á síg afgarandi grænan smekktilit. Ummyndunarsmekktilit er ennumálagt. Yfinit yfir jarðög holunar og ummyndun er sýnt á mynd 3.

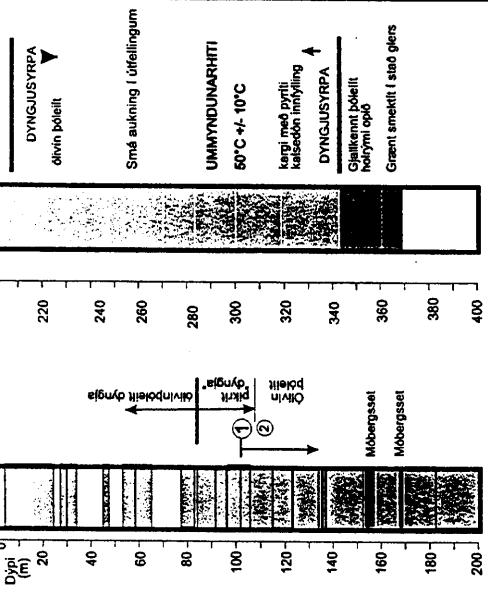
Mynd 1. Gangur borunar



Mynd 2. Borðmáli



JÄRELLAGREINING HULU SJ-1/-SVARISENGI



**Mynd 3.** Yfirlit yfir jarðög og ummyndun holu SJ-17.

### Helstu atrioi

I morgun klukkun 7 var dípi holunnar 398,5 m, og er dípkun því um 15 m frá því í gær og gengur borin hægt. Ekkert skotlapp malist í nái til skotvala hefur heldur haekktarð og er nú um 30°C. Hallmáti var í 350 m og er hallið par 2,5°, svo holan réttir sig að. Fréttabréfari ekki út fyrir en ákvörðun lá fyrir um að hæsta borun fyrir 18 5/8" föringu. Henni var hætt í 401 m dípi um 14:00. Þá léstu var um 30,5°C og ekket skotlap. Föðrun gesti hafst um miðnæti, eftir skotlun, upplækt og yddamaelingu.

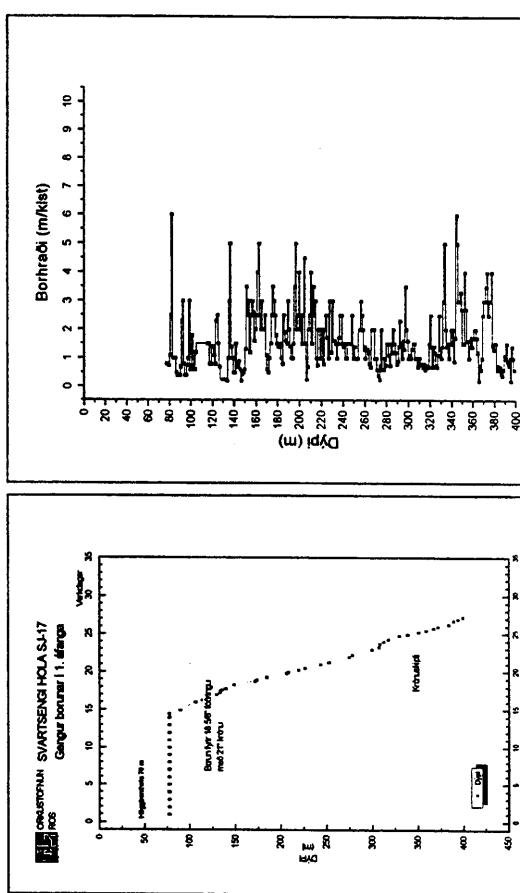
Franky and portnar

Borun Gekk sétega hegt í gær, en heildur hradað í nót. Ástæðan var mikill hristingur og skark af lagi var á og burfið hvíl að bora með litlu áslagi. 10-12 fn. 30-50 sn og torki milli 100-200 amp. Bergið var hins vegar límt móbergsettsgil, með harðan basaltsteinum í. Í nöttr var hins vegar borðað í basaltsteinum. Ekkert skoltap meidist en hiti ledju upp ur holi er nú um 30°C, og hefur hvíl hinnað um ca. 5°C síðustu 50 m.

I geir varði binnit mörbergsetsg, en í því eru basaltistinar sem kunnar að skýra hvers vegna svö illa gekk að komast í gegnum sellagj. I rótt var hins vegar borað í got hráunlag sem er framur þett og blöðrunað. Hölmum bergi er ekki fylt nekar en orar í holnum, en móbergsinn er vel þættar af ummyndum, móbergi eru auð bess áberandi kalsisprungur.

Hraunlagð sem nú er borða í er áægitt til að geyma fótingarendan og verður bonum fyrir 18-28 fótbólspilum höggst niður í dag. Yfirlit yfir landlög og umhverfi mynd 3, en

104/1998-GDF



Mynd 1. Grandir honumrar

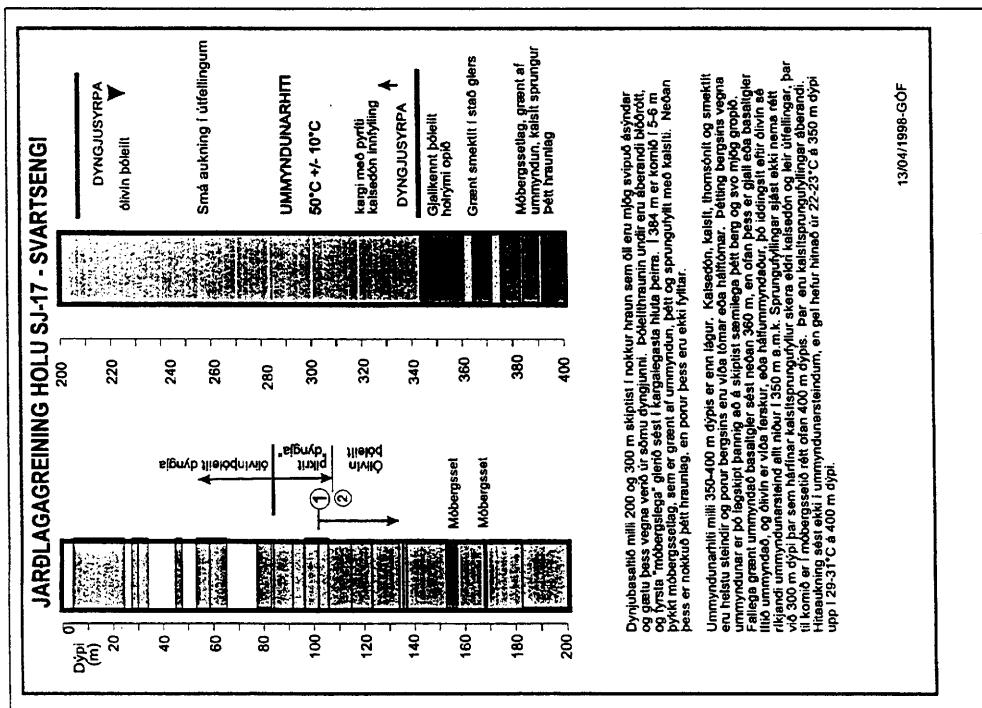
## Münd 2. Bothradi

Borhrādi (m/kist)

### Borhrādi (*m/kst*)

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
20. apríl 1998, verkdagur 34  
Hola SJ-17

Mynd 3. Yfirlit um jardlög og ummyndun í SJ-17



**Heilstu atríði**  
Borun í berg á 401 m hófst um klukkan 17 í gaer sunnudaginn 19. apríl, um miðnætti var dýpi holu orðið 409 m, og í morgun klukkan 7 var dýpi komið í 428 m. Ekki hefur meist neitt skollap.

**Framkvæmd borunar**

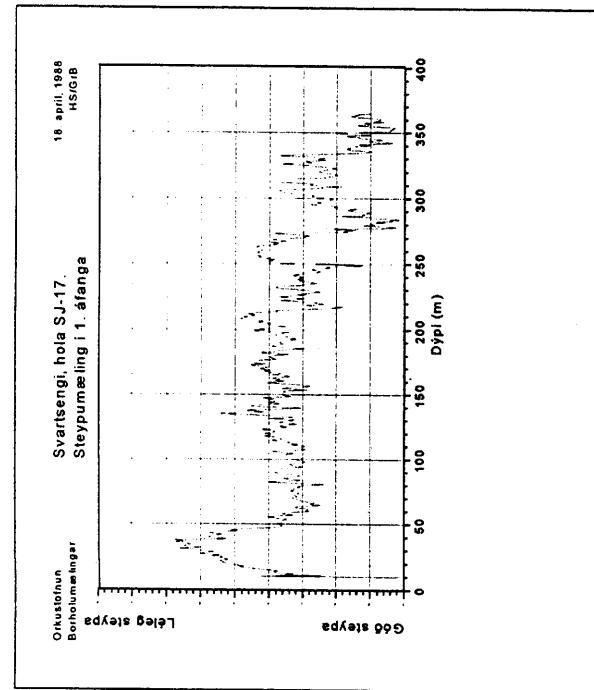
Eins og gefið var um í 13. tölublaði frá mánuðegi 13. apríl síðastliðins var borun stöðvöld í 401 m dýpi og ákvörðun teknin um föðrun. Ekki var hitamælt stöngum fyrir upptekt þar sem jardagegrain var síðan hitt. Eftir upptekt var síðan hita- og viddarmælt og síðan tók við föðrun með 18.5/8° föðrunum. Var föðring komin á boron holumnar auð kvíði 30. verkadags (miðvikudegi 15. apríl). Sættur var niður stengur til að tengja við stungusykkjó ekki töksst að tengja saman og var strengurinn tekin upp á ný. Einungi reynið og emmingur að koma á hringdælingu í gegnum stungusykkjó. Var ástæðan talin að fördögjan lægi það þeit niður á botninnum að það hindrði hringdælinguna. Smíðað var "head" ofan á föðringuna með 2° stut til að dæla steypu í gegnum föðrunni. Einungi var föðringunni lyft adeins frá botni og komst þá á hringdæling. Er hér var komið sögu var líðið fram á miðjan 31. verkdag. Holan var hreinsuð af gelli, blandað um 100 kg ár söda og honum dælt í holuna, holan var síðan rækilega skoluð og klædd um nötina. Keyrt var ferskván i karibú um morguninn til að blanda við steypuna. Steypi var klukkan 14, gekk steyping vel og kom hin upp til yfirbords handan föðringar, en seig niður aftur á um 78 m dýpi. Steypi var í annað simi í það skipið utan með. Að lokinni steypingu tók við vinna við holiopp. Hitamælt var og síðan steypumælt og kom í ljós að steypurborð utan föðringar var á um 30 m dýpi og steypurborð í holunni á um 368 m dýpi. Steypi var utan með föðringu það sem á vanadi.

I gaer, sunnudag, var ráðað saman borstreng með 17 ½° krónu og settur í holu, og hófst borun steypu frá um 368 m dýpi niður á 401 m dýpi. Borða var með vatni, þar til komið var í berg (klukkan 17) en það var blandad gelí i skolvökvan. Á miðnætti var dýpi holumnar orðið 409 m. og í morgun klukkan 7 var holudýpt 427 m. Hiti skolvatns niður í holu er um 7.6°C en er orðið 19.8°C er upp kemur. Dæling er um 25 l/s og dæðþrístingur 130-170 psi. Síntingshátríði krónu er um 30 sr/min og álag 8-12 tonn.

**Borholumælingar**

Tvað ferdir voru farnar til borholumælinga í fyrsta áfangen holu 17. Báðar voru famar í tengslum við föðrun holumnar eftir að borun í 401 m lauk. Í fyrri ferdinni var hita 99 vidarmælt eftir upptekt, en í þeiri síðari var hita- og CBL mælt eftir steypingu. Talið 1 gefur yfirlit um mælingarnar.

Dags	Mæling	Frá	Til	Vinsbord	Skrámafni	Mælingarmenn
13. apríl	Hili	0	398	toppi	H0413213	HSGuH
13. apríl	Hili	398	0	toppi	H0413215	HSGuH
13. apríl	X-vidd	398	0	toppi	X0413222	HSGuH
13. apríl	Y-vidd	398	0	toppi	Y0413222	HSGuH

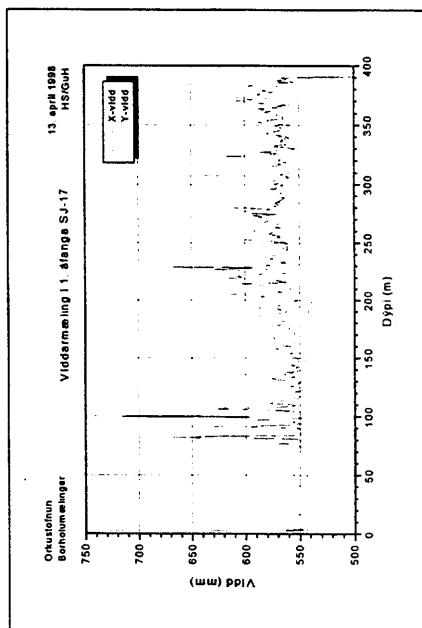
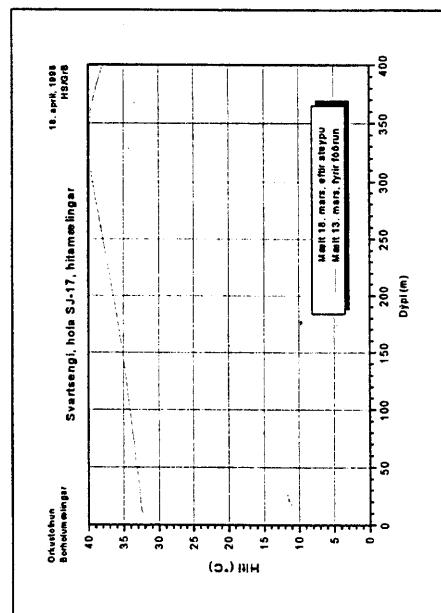


18. apríl	Hili	0	366	í toppi	H0418102	HS/GrB
18. apríl	CBL	0	365	í toppi	H048110	HS/GrB
18. apríl	CBL	365	0	í toppi	H048113	HS/GrB

Myndir af hitamælingum vidd og steypingu eru sýndar hér fyrir neðan. Allt gekk þetta vandræðalaust og ekkert sérstakt ad segja um mælingarnar. T.d. virðist steypan vera góð, en hér var í fyrsta skipti CBL mælt í 18.5/6° fóðningu í Íslandsögunni. Heilst virðist vanta upp á steypugæðin í ca. 30 m dypi og verður steypa hækð á eftir til að fylla efstu metrana.

#### Jardarpisill

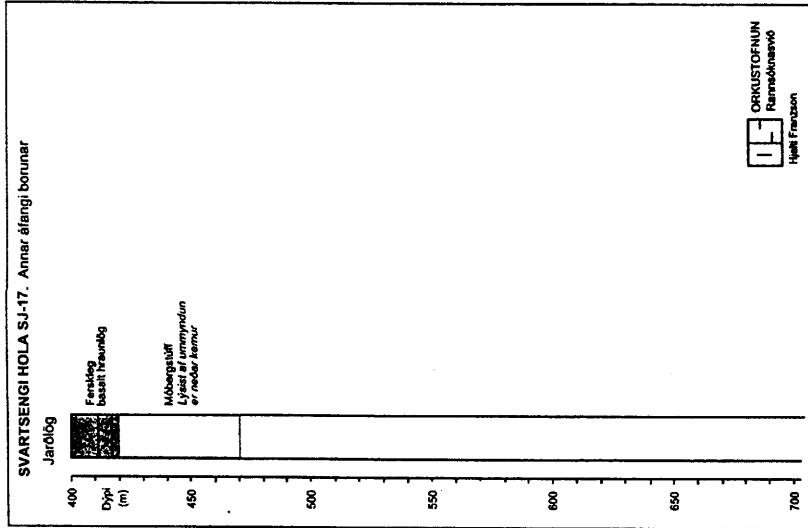
Ekkí hafa verið greind nein jarðög frá borun næturinnar. Ljóst hótti af ummyndun næmi fóbringadýpi í 400 m að hit væri enn lítil eða c. 50°C +/- 10°C, og svo einnig viðbendingar um að jarðög væru síthvað teknir að þéttast síthvað af tilfellingum.



## BORVAKT í SVARTSENGI

21. apríl 1998, verkdagur 35  
Höla SJ-17

### 15. tölublað



**Hæstu atríði**  
Í norgun klukkun 07 var dýpi holu orðið 500 m og hafa borast 72 m frá sama tíma í gaemorganum. Frá um 420 m dýpi hefur verið borað í móbergstufu. Höll hölunnar í 450 m er 2.4°.

#### Frankvæmd borunar

A síðasta sólarining (frá kl. 07-07) hafa borast 72 m og var dýpi holunnar klukkun 7 í morgun 500 m. Mölborbhræði eru rúmir 3 m/kst. Heildur hefur dreigil úr borhraða síðustu 2 klukkustundum vegna aukinna hötku bengsins. Alag á krónu nefur rokkad frá 10-15 tonn og snuningshártá krónu 40-50 á minnitu. Amparmælið sýnir 120-180. Deilt er um 25-26 l/s, sem virðist nægilegt til að skila gelihlöðuðu svartfí til yfirborda. Hölli skolovins hefur hækkað riokkuð eða frá um 20°C upp í rúmar 40°C. Hölnun gelsins staðar að hluta til af hækkaði hita í holu og svo einnig að aðeins hluti karsins er notaður til að kæla gelid áður en það fer aftur í holu. Munar litlu á hita gelsins sem fer hlur og þess sem upp kemur (um 1°C). Hallamælt var í 450 m dýpi og reyndist hallinn vera 2.4° frá löðréttu, sem er vel ásættanlegt.

#### Jardöluspistill

Jardölug hafa verið greind niður á 472 m dýpi. Frá fóðurörsenda niður á 420 m dýpi eru því fremur ferskleg hranaðg, en þaðan og a.m.k. niður á 472 m er móbergstufi. Ummyndun eykst fremur hægt og er sérkennileg ad því leyti hvað hún hefur "tolindislegt yfirbragð". Ófarneige i tuffinu ber nokkuð á analísmi sem er lághitazeðilti og ber merki um <100°C, en er neðar kemur í tuffið fer það heildur að lýsast og fer að bera á gróffjadrá leir, svo veittir má að ummyndumárhiti se líklega kominn yfir 100°C, bött erift sé að meta hamn nákvæmlega. Sá regimrunur er á bessari ummyndun og t.d. óran jardhlakefisins í Svartsengi, að kalsit og sulfið steindir eru fatdar og spunguflingar eru næri engar í tuffinu. Slikt umhverfi verði mögulega að finna nærrí jaðri jardhlakerfisins, en játa verður að hér er undirhláður faninn að hugsa upphátt.

Nú hefur Nafni hafið á ný forborun í Svartsengi. Það var í svartsýni úr svörlí holunni sem hann hefur lokið við (H-18) og hún jardölugagneind, og einnig hafa jardölug venð greind niður á 28 m dýpi í síðari holunni sem hann er nú að bora (H-19). Verður greint frá þeim riðursíðum í næsta tölublaði Bortiðinda.

**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið  
Höll Fræðslon

**BORVAKT I SVARTSENGI**  
22. april 1998, verkdaur 37

Hola SJ-17

Helstu atrioi

Bordþópi í morgun klukkan 7 var 580 m dýpi og hafa 60 m verið borðið frá sama tíma í gær. Jardlög hafa verið greind niður á 524 m dýpi sýna áframhaldandi móberg. Ummyndun bendir til > 120 °C hita.

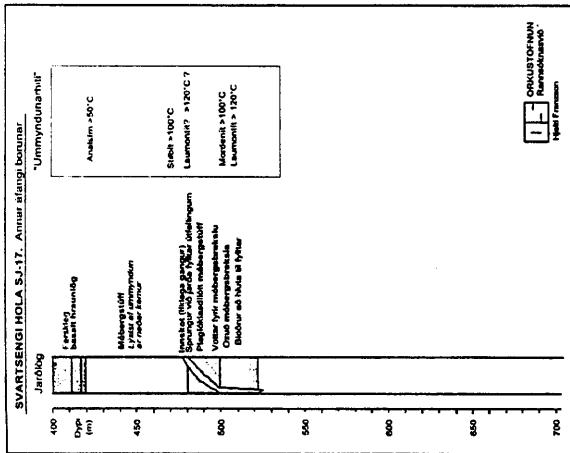
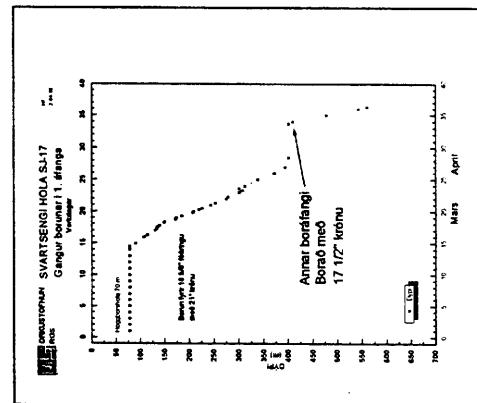
Frankvæmd horunar

Dipi holu í morgun klukkun 7 var 560 m og hafa verið boraðir 60 m frá sama tíma í gær. Alag er haft um 8-10 tonn og snuningur krunu 35-45 min. Skolun er svipuð og hefur meist rétt um háfina litra á sekúlum, saman jafnar vild abvera í stekkjumínum. Hitt skolovatns upp úr holu myndist um 47°C. Á hinn myndinni sem fylgir tilhöndunum er syndur gangur borunar.

Järöämistil

Eins og sest á meðfylgjandi mynd verði svartgreinir níður á 526 m dýpi. Ðilóttá móbergjó vék á um 500 m dýpi fyrir annarri móbergsmyndun, í það sinn stakdilóttá. Einkinnin beitrafir brekku er mikil oxin og raudleittillur, sem eru skyrd með oxunum frá nærriggjandi ímskoti. Annað einkinnin er óæð er þó nokkuð porð og eru spær ekki nema hafþylltar. Í næsta sýnini borast aftur í þetta sérsæða stördilóttá basalt (píkrit) ímskot, bannig að sviroðist sem holan fylgi eftir þessum gangi sem

Hægra megin á jardlagtarnindinum hafa bæst í vœr zeolitategundinum líklegt mordenitum og laumontit, en það síðameind að bendir til að hitt sé eða hafi verið a.m.k. 1220°C. Svo enn er fremur lægð hitnum með dýpi í jardlagastaflanum.



## BORVAKT Í SVARTSENGI

22. apríl 1998, verkdagur 37

Hola SJ-17

### Hlestu atríði

Bordyp i morgun klukkan 7 var 560 m og hafa 60 m verið boradír 60 m frá sama tíma í gær. Alag er haft um 8-10 tonn og snuningur krónu 35-45/min. Skolun er svipuló og áverur eða um 25 l/s. Tap hefur meistertétt um hálfan lítrá á sekundú, sem jástrar við að vera á skekkjumörkum. Hitt skolvalsins upp fyrir holu meaist um 47°C. Á tým myndinni sem fylgir tilindunum er sýndur gangur borunar.

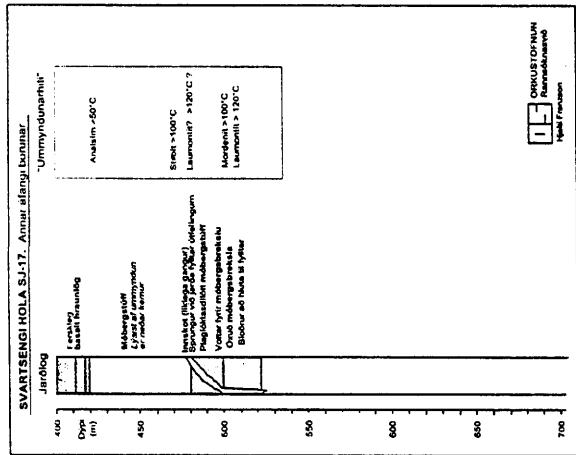
### Framkvæmd borunar

Dípi holu í morgun klukkan 7 var 560 m og hafa 60 m verið boradír 60 m frá sama tíma í gær. Alag er haft um 8-10 tonn og snuningur krónu 35-45/min. Skolun er svipuló og áverur eða um 25 l/s. Tap hefur meistertétt um hálfan lítrá á sekundú, sem jástrar við að vera á skekkjumörkum. Hitt skolvalsins upp fyrir holu meaist um 47°C. Á tým myndinni sem fylgir tilindunum er sýndur gangur borunar.

### Jarðarpistill

Eins og sést á nöfylgið mynd verið svartgrein hitbur á 526 m dýpi. Dilitta mörbergi vék á um 500 m dýpi fyrir annarrar mörbergsmyrndum, í það sinn stakdilít breksia. Einkenmi þeirrar breksiusi er mikil oxun og raudleitur litur, sem er skyr ó með oxun frá nærliggjandi inniskotti. Annað einkenmi er að það er þó nokkuð porðit og eru þær ekki nema hafifylltar. Í neðsta svínini borasi aitur í þetta sérstæða stördlött basalt (þíkilti) í miskoi, þannig að svo virðist sem holan fylgi eftir þessum gangi, sem fyrst var skorinn í um 480 m dýpi.

Hegra megin á jarðlagamynndinni hafa bætzt við tvær zeðlategundir, líklegt mordenit og laumontit, en þao síðan meða bendir til að hili se eða hafi verið a.m.k. 120°C. Svo enni er fremur hægt hitnum með dýpi í jarðgastastánnum.



**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
23. apríl 1998, verkdagur 38  
U. 1. 21. 17

Helstu atrioi

Bordýpi í morgun, á sumardagin fyrsta, klukkan 7 var dýpi holu 623 m, og nefur jöldan dýpkar um 63 m crá sama tíma í gær. Jardög hafði verið greind níður á 592 m sýna séð með ómóbergs tveimur syna og sérkennilegum berggangi. Ummyndun bendir til c. 180 °C hita, bar sem bergerkristall (kvarts) er óin aleging útelling. Merki um eiginleg háhitakari með óteigandi útellingum eru enn af skotnum skammti.

Frankværd borunar

Morgogn klukkan 7 var sypi holunnar 623 m og hafa borast 63 m frá sama tíma í nærmorgunum. Hittí geisins mælist nú um 57°C úr holu en er tæpi 1°C lægri begar það eru á ný í holuna, þannig að kæling þess er nær engin á yfirborði. Dæling er um 26°C, dældur með spjungi 170-190 psi. Alag krónu er halddi í 5-8 tonnum og skúningur órinna 30-40 á minni.

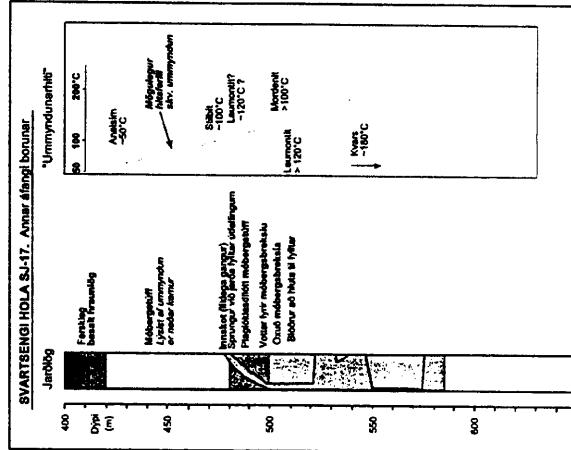
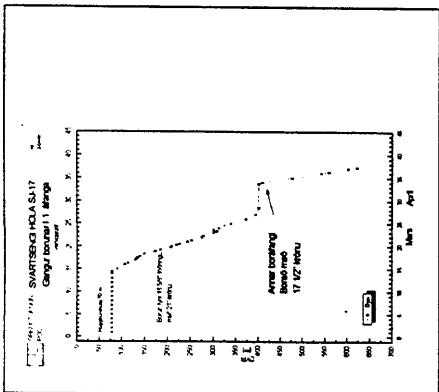
- vö mál væri eftir vill æskilegilt að minnast hér á:

Annað þeirra er hvort eða hvenær eigi að skipta yfir í vefsíðunum. Eins og lýst er í jardarpristilnum, sési ekki enn mikil meiri um náhákerfi, svo að minnun mati væri freistivandi að halda eittiháð áfram með geflinu, kanniske má fara að þynna það eitthvíðu smá saman.

Hitt málid er hvort ekki sé haegt að slökka á dælingu úr ferskvánsþóldunni í smá tímum (meðan ekki eru skoltap og hrungrássankari borsins lokad). Þá væri unnt að kanna hvort leikkaði tilmarkaði þegar dælingi hæft á ný. Ef svo yrði myndi hafa minnsta áskur ferskvánsins í starfi eftir að annarrar (non starf) stærðunum kærni

**arðapistill** Íns og sást á jardlagamyrndinni er enn borað í móberg. Emfremur heldur unningsskapur krónunnar og berggangsins sérsæða áfram, því hann birtist ót a svartsýnum, með sinum stræktu úti, og þegar ekki sést til hans er hán um er í nægrentínu, af því að han hefur valdud rauði oxunarsíku i móbergrind.

Myndunum bendir til eitthvaða haekkandi hita bvi að í 542 m tilka að sjást vel skapðir meigkristillar (kværslur), og sjást þeir nokkuð stöðugt niður á 582 m dýpi þangab sem var greint nefur venjó. Þeð þer kristillar og svo líklegt anhydryt kalsedon og má vegs til fáttini fáa aðalgrein í spungurlyngingum sem vísigtu jaðri gangains. Þeð er óvinnandi spungurlyngingur við löðréttu bergganginn benda til amk. fornari lektar. Þá er óvinnandi spungurlyngingur við löðréttu bergganginn benda til amk. fornari lektar. Þá er óvinnandi spungurlyngingur við löðréttu bergganginn benda til amk. fornari lektar.



**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
24. apríl 1998, verkdagur 39  
Höla SJ-17

**Heilstu atröði**

Í morgun, klukkun 7 var dýpi holi 684 m, og hefur holan dýptkað um 61 m frá sama tíma í gær. Jardlög hafa verið greind niður á 684 m dýpi. Þau eru ráðandi hráunlög part til komið er niður í 668 m dýpi þar sem sekkemt túfflag tekur við. Við það eykst ummyndun og glittir í episodi sem bendir til að ummyndunarnar sé kominn upp í 240-250°C. Vonandi fer hagur Strymþ að vænkast.

**Framkvæmd borunar**

Síðasta sólarbringin hefur borat 61 m og var dýpi holunnar 684 m í morgun klukkun 7. Dæeling hefur verið um 26 l/s, dæluluprustingur um 190 psi. Hlið skolvatns er um 64,6°C upp en fer niður 62,5°C. Ampermælis synir um 110. Krónan snyst með 30-40 snuninugrinn á minútu, álag um 5-8 tonn. Halli var meildur á 650 m og reyndist tæpar 3 gráður frá löðréttu, svipað og mælt var í 550 m. Lekí er enn í lágmártki eða allt að 0,5 l/s. Bormenn hafa við og við sett glimmer i holuna til að hanna gegn leikanum.

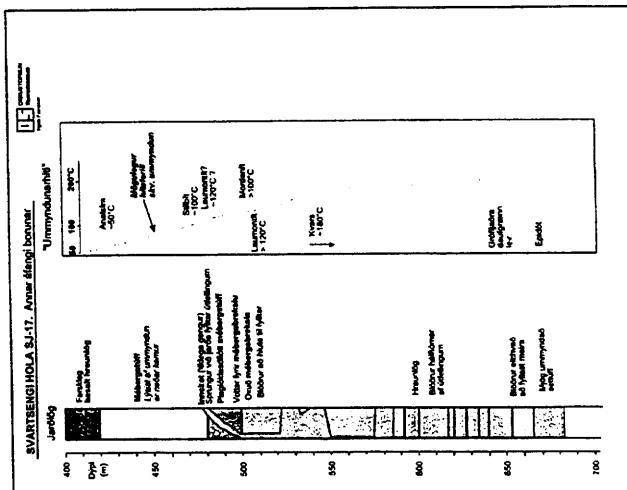
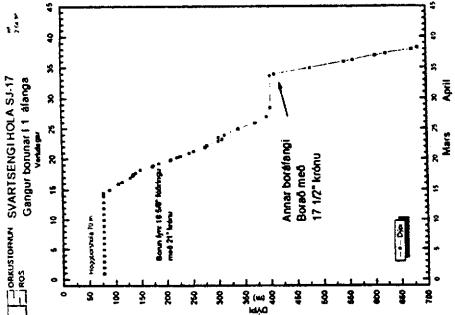
**Jardlöpistill**

Jardlög hafa verið greind niður á 682 m eða á það dýpi sem komið var á í morgun. Hraunlögin hafa haldið áfram allt niður á 668 m dýpi þar sem kemur í sekkert túfflag, og er liklegt að í það sé enmá verið að bora þegar þetta er ritð.

Ummyndun í hráunlögunum hefur verið fremur takmörkuð, ljós skán á blöðnum með litum tærum kvars kristóllum, staka sprungfyllingum at anhydritri, kalsedon, kvarsi. Á um 650 m dýpi var fanð að síast í dæufigænan freamur finkristallaðan leir í blöðnum og í túfflagi á 668 m dýpi í ok að sjást til episodis og virðist það vera í nánast öllum synum niður á 668 m. Sulfidsteindir eru þó einn af skónum skammti. Þessi snögga breyting bendir til að túfflagið sem liggar nær lárétt í jarðlagastilanum leidið eða hafi leitti jarðhitavokva úr háhitakerfi. Spennandi verður að síð hvort ummyndun minnkar aftur þegar komið verður í gegnum þetta túfflag.

Þessi snögga aukning í ummyndun gæti bent til að draumur hálfvitans sé enn lifvæntegur. Æskilegt heild að fara að milda gelnotkun og fara í átt að vatnsskolun, og mætti hafa við hendina sag eða annað álikla lífreætt efni til að halda skoltópum timabundið í skefjum.

Kveðja  
Hjalti





RKUSTOFTNUN  
munsóknasyið

19. tölubla

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
26. apríl 1998 verðaðarur 10

Hole SF-17

Helstu atrioi

I miorgun, Klukkan 7 var dýpi holu 737 m, og hefur holan dýptkuð um 53 m frá sama tíma í Óær. Jarðög hafa verið greind niður á 737 m dýpi. Bau eru rábandi hráunlögg. Ummyndun hefur minnkad aftur í magni eftir að komið var á ný í hráunlagsfjallann neðan tuffinsins sem minnast var á síðustu Bortlöndum.

Eramkyam'd hanıma

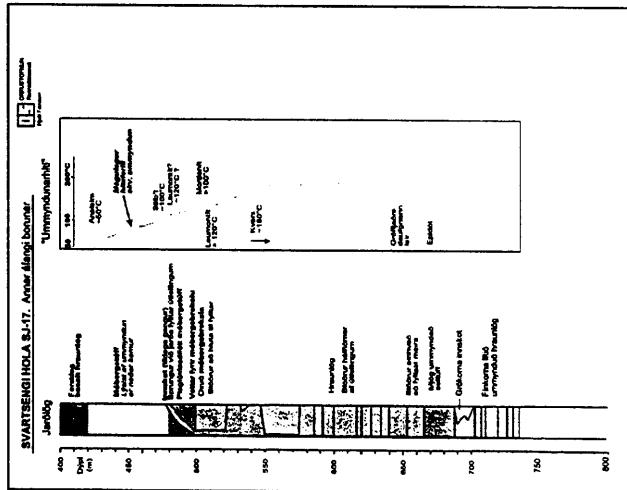
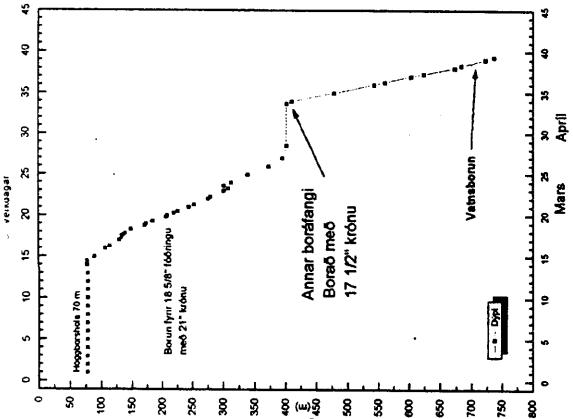
Síðasta solármáning voru borðir 53 m og var dípi holu í morgun klukkun 07. 737 m. Þegar dípi var komið í 700 m var ákvæðið að breytla yfir í vatnsskólinum til að spenna við sífjánum vatnsskólu, en þær skyldi birtast á leið að krunnum náður á 800 m, en það er dælenduð dípi sem stefnt er að í líli. Við skipti yfir í vatnsskólinum var dælning aukin um 100 m/l í sú upp í um 55 l/s, til að nauð yftingar vökva sér svartini. Svartöf skilar sér vel til uppu eru tærpar 22°C en náður fer það teplega 18°C. Ampemállir eru í um 120 og sminkinnar krónu 28/min

-larðamálistir

Útfellingar eru fremur takmörkðar, eittkvæð kalsit finnst, kalsedon og kvars æðar  
finnast á stangi og milligreinum fremur gróffadrá leir hefur kristallast í þróum.  
Sjárbýlir eru epidóbyggðum, og rétt hefur farið að votta fyrir neðan 730 m  
dýpis, þannig að vísindingar um lífegjardráfi eru enn sem komið er af  
skónum skammti.

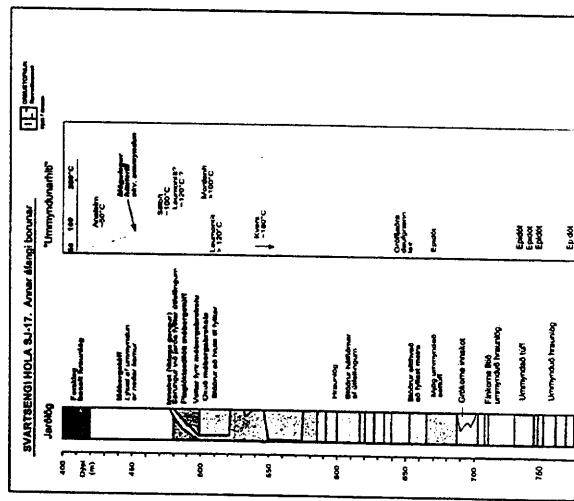
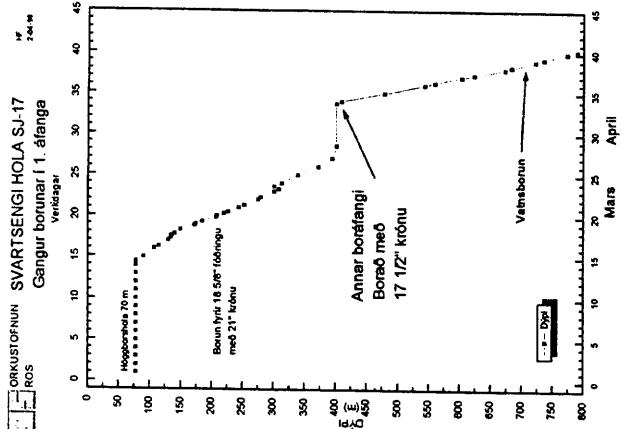
Xvedja

三



**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
**26. apríl 1998, verkdagur 41**

**Helsfjallarriði** Í morinn, klukkjan 7 var dýpi holu 786 m, og hefur holan dýptka um 50 m frá sama tíðinum. Klukkjan 8.00 er að meðaltali um 2.44 m/klst. Jarðög hafa verið greind niður á 786 m dýpi, og skipist þar á ummyndu hraunlögg og þunn móbergslög.



Frankværdboenar

Síðasta sólarmáning yvou borðir 50 m og var dýpi holu í morgun klukkan 07. 790 m. Nú hefur verið bætt við þróju vantsælum til að halda upp í neigilegri vetrarsíkolun (um 73-75 lisek) til að komma fram með sínar upp til yfirborðs. Í 759 m dýpi var það mikilボトナルi að gróðu svartar að skipti náðist að bæta í stórg. Var svartir mudi grónar og tökst að koma því úr holu. Á svipudóu dýpi jöklar skoltap í tæpa 10 l/s og varð einnig vart við að skolvan snarminnkaði í 1-2 min þar til það jöklar að ny. Í slangaribaetingum verða bormen var í að skoltap eyktur um leið og svart minnkari holu og eykt upp í rúma 20 l/s. Í slangaribaetingu meðað bormen um 4 m botnali í holunni.

Dæluprystingur við þetta mikla dælingu hefur verið um 950 psi. Álag krónu er 5-8 tonn og snúningur krónu 30-40/min. Ampemærl synir um 110. Skolvanishliði er í kníkingum 20 l/s. Í svartsýnsum á rúnum 700 m og svo sýnum frá c. 760-770 verður varmt svart-oxa töfl, sem talið er komu úr holuveggjum a litkegast c. 470-550 m dypi. Þetta "hrun" í holuveggjunum tengist miðög tilklega sprungnu og hitabökjuðu túffi við lairda innksólkins sem helan sker á þessu skyldibarli, en þáð er algengt að síði rofi en vænta má einhverra skápmáyndunar á þessu svæði.

Í morgun var farið út á bor til að leita að hentugum stað til að setja fóðurriðarsendann við, en æskilegast er að hann sé í tilslulega hörfðu bergi. Það dýrar því sem valio verir a milli 792-797 m dýpis, en það síðameinndas var valio sem lokadýpi bess álanda.

Innan tíðar munu Borholumælingamenn birtast á svæðinu og Hita-þrýst- og jardlagamæla holuna.

### Jardlagsþrýstill

Jardlagamyndin getur heistu einkenni jardlagasatans. Á um 750-760 m dýpi koma jardlagar sem ófyrirvaraða fólk eru til að fá sambærilegum myndum. Þessar myndir eru ófyrirvaraðar og ófyrirvaraðar meðal annarri fólk. Í neðsta Epíðótu er enn þá fremur stríði og virðist ósíða einskorðast við tuffitögum. Í neðsta laginu sem borð var í virdast hofyllingar minnka.

Jarðarpistill

Jardbagamyndin gefur hefurst einkeni jardbagastaflans. Á um 750-760 m dýpi koma Jardbagamyr fram binn túffig og nemur beljar viðist ummynd einnig aukast í hráunlögunum. EPídotur er enn þá fremur strjalt, og virðist að meastu einskorðast við túffingi. Í neosta Jardbagamyndin sem borðar var í virðasti hólurýllingar minnka.

Kveðja  
Hjalti

**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
05. maí 1998, verkdagur 50  
Höla SJ-17

Istuttu málí ...

Bordþý i morgun klukkan 07:00 var 832 metrar og hafa borast 35 metrar frá því um klukkan 19:30 í gegkvöldi eða rétt næst 3 metrar á klukkustund. Þegar borun 2. áftanga lauk var dýpi í holunum 797 metrar. Borad hefur verið með 5-10 tonna á lagi, snúningur á borkrónu verið á billinu 35-50 rpm og dæslur verið að lafnæfi með vini. Litio sem ekker tap er í holunni.

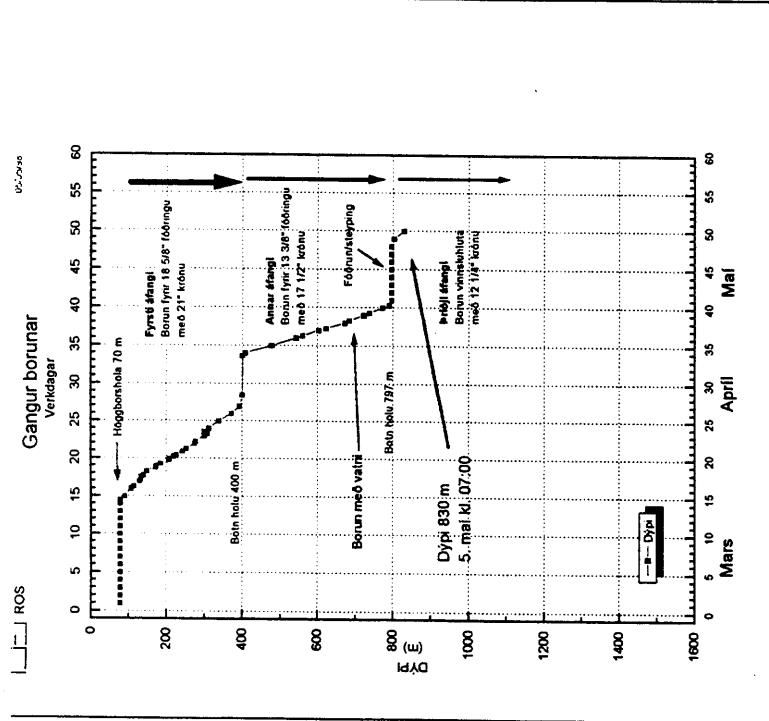
**Gangur borunar**

Um klukkan tvo afðaranótt mánudags var buið að sejla borstengri niður og byrjað að bora út svokallað stungustykki eða "loat collar" sem er tenging borsstengs við neðasta hluta fóðringanir. Síkkið petta er tvíumur fóðumórum eða um 25 metrum ofan við neðri enda fóðringar, eða um 40 metnum frá borni. Hörf og sérstaklega styrkt steypa er í stungustykkinu og tök borun þess nærm 12 tíma. Þegar komið var í gegn var krónunni slakað nær botni að bothsök eða endastykki með einstreymistöka neðst á fóðuringunni og látið snúað niður að skónum en engin steypa reyndisti vera í fóðurrötunum tvíumur þar á milli – rétt eins og við var að búast. Borinn tök að snúast á bothsöknum um tvóleitir og tök borun hans því og hálfan tíma. Skóinn er lafnframt ur seriega handh steypu. Borad er með vinni og verður ófáli hitnum á skolvánni, það er um 8-5°C þegar það fer niður og hitnar um þrjár til fjarðar gráður á leiðinni upp. Brystingur á skolvánni var um 150 psi þegar dælt var um 23 litrum á sekundu. Þvíjun borunar en jökkst þegar dæling var aukin. Borun í berg höfist um klukkan 19:15 þegar borkrónan haldið hvæst í gegnum 12-13 metra bofnfall í holunni og var líti fyrirstaða í því sem bentil til að þar væri ekki mikil steypa á ferðinni. Þætt var í stóng rétt eftir að komið var niður úr skónum og var dæling jafnframt aukin í um 50 l/s. Þróstingur á skoli jökt í 500-600 psi við aukna dælingu og van og skolast svarf vel upp. Borun um nótina gekk jafnt og vel. Tap var mælt á tveggja stundas fresti og hær ekker eða um 1-3 lítrar á sekundu. Tap virnist aukast önnutíð þegar borður höfðu verið 5-10 metrar en minnkædi í fyrra horf. Notuð er 12 ½% krona af gerðinni EHP53ALK frá Reed.

**Jarðlög**

Svarð hefur verið greint niður í 830 metra og eru áhrif botnfallsins horfin. Venð er að bora í nokkuð ummynduð finkoma basaltbraunlög með hafifyllum blöðrum og lösgraenum tilbúilega vei kristóluðum leir – kaislit, kvarsi og stöku komi af þyrti – niður undir 820 metra. Þar neðan við vex ummyndun í hrauðgumum og blöðnur eru fylltar.

Kveðja  
Sigurður Sveinsson



## HOLA SV-17 Í SVARTSENGI

3. MAI 1998

### Yfirlit síðustu daga

Föðrun holu SV-17 með viðinsluðöringu (13 3/8") í 785 m lauk að kvöldi 29. apríl og var föðringin steypd næsta morgun. Dælt var niður 77 tonnum af steypu. Vatn kom upp um tímum, en undir lok steypingarinnar opnaðist holan, snarfellí prýsingur og kom sog í holuna. Steypingunni lauk skómmu fyrir hádegi. Mælingarnar OS voru mættar á stæðinn um kvöldið. Fyrsta verk var að fylla föðringuna með vatni. Dælt var 20 l/s í um 40 minútur án þess að rörið fyltist. Daelingunni var bá heitt enda jöst að holan væri ekki þétt og vatnið rynnir niður úr föðringunni í vatnsæð vid holubothn. Þetta var staffest með prýstimalingum (mæling á vatnsbordi) og hitamælingu. Eftir édaelinguna var vatnsbord Fallandi. Mædist það á 130 m dýpi um 30 mínúturnum efti að daelingu var haett en var fallið í 333 m dýpi 3 timum eftir daelinguna. Pessar mælingar segja ekki að boinadrillen væri opin eftir steypinguna, en einnig að prýsingur á aðolini er svipadrillur og kerfisþrótingur í Svartsengi. Það með var ljóst að vatnsæðin í 780 m dýpi í SV-17 er í þrystisambandi við jarðhitakerfi í Svartsengi. Steypumæling sem gerð var í holunni sýndi að líti sem engin steypa heldi föðringunni aðmik neðan 300 m en ekki var nagið að mæla eftir part försins þar sem steypumælinn virkar ekki í lofti.

Þegar lá ljóst fyrir að tonnin 77 af steypu hefði nánast horfið út í berglöggin var ákvæðið að kanna hvort holan væri þétt utan föðringar og hófst síðu áðaðeling um klukkan 8 um morgunin. Holan reyndist einnig leka utan föðringar og tók hún sléttfulli við 13 l/s. Hitamælingar sýndi óvraðt að áðaðelingin næði allá leið til botnaðarinnar, enda þott einhver hluti daelingarinnar tapaðist út í bergið á leiðinni. Einkum á um 500 m dýpi. Vatnsbordi í föðringunni var á 363 m dýpi og hafði fallið um 30 metra frá því um klukkan 3 um nóttina.

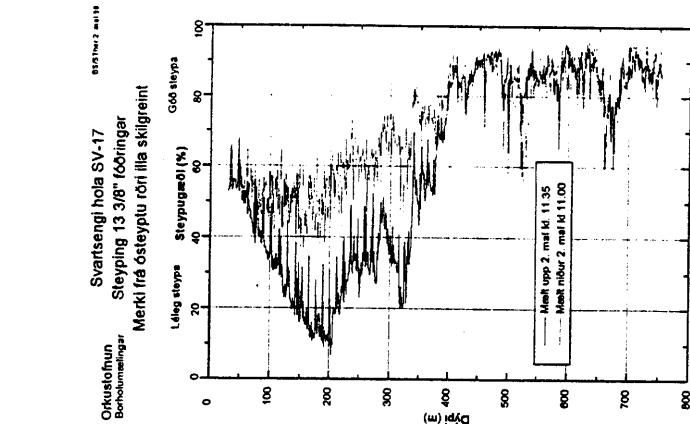
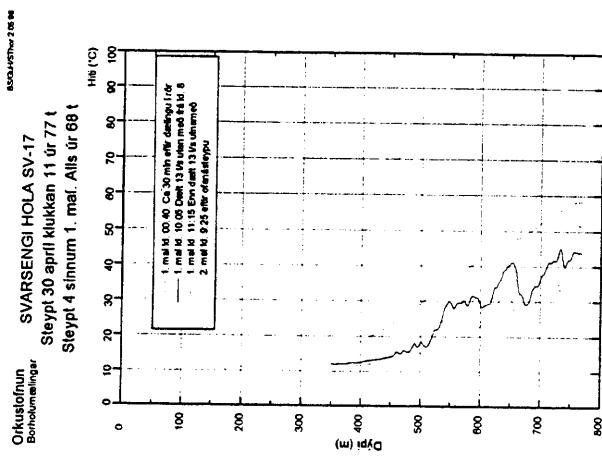
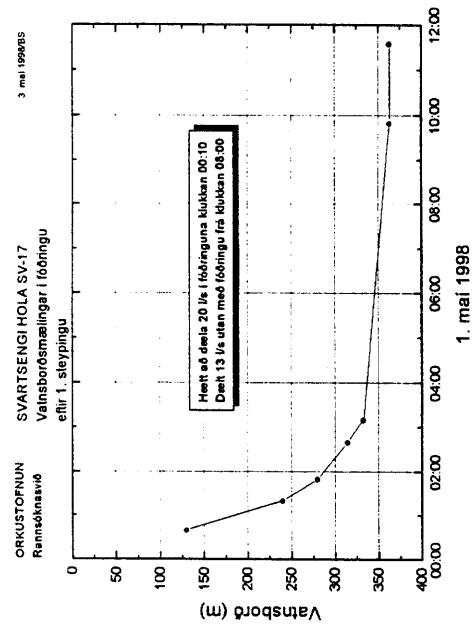
Þegar pessar upplýsingar légu fyrir var tekin ákvörðun um að steypa föðringuna með daelingu utan með föðringunni. Var ákvæðið að steypa fyrst úr 30 tonnum af steypu, gera þá hlé en hæda síðan áfram á um 3 tíma fresti með 10 tonna steypingum í hvert síðum uns holan gæfist upp og föðringin steypist upp í topp. Fyrsta steypingin var um klukkan 13:30 1. maí efta um svipað leyfi og kröfugöngur verkalýsins höfust. Þá var steypt úr 10 tonnum klukkan 17 og 20:30 en í steypingunni klukkan 23, fyltist upp milli föðringa þegar um 8 tonn voru kominn í þeiri steypingu. Hélst steypan uppi og seig ekki.

Að morgni 2. maí mættu mælingarnar OS enn á stæðinn til að kanna steypugæðin. Vatnsbordi í föðringunni var þá á 354 m dýpi, en hiti var mestur

um 100°C á 700 m dýpi. Þá var dælt vatni í föðringuna og fyltist rörið fljótlæga og héist fullt. Það með val ljósist að lekinn niður úr föðringunni hefði þéttst. Steypumæling sýndi steypu með allri föðringunni. Steypugæðin voru hins vegar misgöð og má greina hinur ýmsu steypingar í mælingunni. Þannig nær fyrsta utanásteypan (30 tonn) frá boini og upp í um 330 m, fyrsta 10 tonna í steypan þáðan og upp í um 200 m, sí næsta í um 80 m og síðasta upp í topp. Samkvæmt steypumælingunni er styrkur fyrstu steypunnar ágætur enda voru líðnir meira en 20 timar frá steypingunni þegar mælt var. Hinrar steypunnar virka hins vegar lelegar, einhukum þær tvað síðustu. Þetta er þó steypan skýrast af skódmum hörfonartíma og légu hitastigi í efsta parti holunnar, en aðeins um 12-15 tímum voru líðnir frá þessum steypingum þegar mælt var og hiti um eða undir 30°C. Það var því ekki við því að buast að steypan væri örðin sérlæga höröd.

Það með var steypingu viðinsluðöringarinnar lokið og hófu bornmenn undibúnings næsta áfanga um hádegisbil 2. maí. Reikanð er með að borun með 12 ½'-borkrónu hefjist undir aðfaranótt manudagsins 4. maí. Mælingarnar 1-2 maí eru sýndar á meðfylgjandi myndum. Þær skyra sig nokkurn vegin sjálfar. Þó vilj eg benda á að stallur í meðildum "steypugæðum" á um 400 m dýpi er ekki raunverulegur, en má rekja til þess að þar er endi ytri föðringar. Þá virðast steypugæðin batna er ofar dreugar í holunni í effstu 200 m. Þetta er vegna áhrifa vatnsprysstings á hijóðnemann í mælipróbnunni.

3. maí 1998  
Benedikt steingrímsson





**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið  
SSJ.o

## BORVAKT Í SVARTSENGI

06. maí 1998, verkdagur 51  
Hola SJ-17

### Istuttu málí

Bordípi í morgun klukkan 07:00 var 916 metrar og hafa borast 85 metrar frá því um klukkan 19:30 í gærkvöldi eða fétta tæpir 3,5 metrar á klukkustund. Bordípi í gærkvöldi um klukkan 22:00 var 880 m og var dæling um 50 litrar, þryslingur um 700 psi og átak á drifborð rétt innan við 100 A. Borad hefur verið með 5-7 tonna álagi, sniuningur á borðkronu hefur verið á blínum 35-50 rpm og dæling hefur að jafrnadi verið nái að 50 l/s og einungis borð með vanni. Litlu sem ekert tap er í holunni en það hefur óhálf vaxið með dípi og var um 4 l/s þegar síðast var mælt. Hallamælt var í 800 m í gærkvöldi og var hallinn 3,8°.

### Gangur, borunar

Borun hefur verið mjög jöfn og hefur borhraði að jafrnadi verið nokkuð innan við 5 mm/lst. Borad hefur verið með um 5–10.000 punda álagi og hrada haldíð þjörnum. Tap var mælt á því sem næst tveggja stunda fresti og er nær ekert eða um 1-5 litrar á sekundu og hefur mest meist um 5 litrar á sekundu í skamman tíma en er að jafrnadi um 4 l/s.

### Jardlög

Svarf hefur verið greint niður í 890 metra og er verið að bora í nokkuð ummynduð finnkoma basaltbraunlög með halffylltum bloðnum og ljósgrænum tiltblulega vel kriðslíðum leir en á um 850 metra dýpi verða nokkur umskipti þegar kemur inn trúff eða móbergamyndun með meiri vainsleidini og með miklu af epiddi. Að jafrnadi getur það til kynna að berghiti sé um eða yfir 230 °C. Þar fyrir neðan koma síðan aftur haunlög og ummyndunin eru ekki eins aberandi. EKKI eru miklar breytingar á myndum frá því í gær (sem haf fygt þessum tilindum) sem sýna gang bonunar og jardlög sem borða eru. Meiri breytinga eru að vænta þennan solarmáning og verður endurbætt mynd af jardlögum send með bortiðindum í fyrramáli.

Kvedja  
Sigurður Sveinn



**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið  
SSJ.o

## BORVAKT Í SVARTSENGI

07. maí 1998, verkdagur 52  
Hola SJ-17

### Istuttu málí

Bordípi í morgun klukkan 07:00 var 978 metrar og hefur borun gengið vel og áfallaust hingað til og tilindi í sjálftu sér til.

### Gangur, borunar

Ekkert óvænt eða óællilegt hefur verið upp á teningum og segla má að borunin hafi gengið "isfnt og öruggilegs". Ekkert tap hefur komið begar betta er ritao og er dæling um 50 litrar og koma um 90-95% af þeim vökva aftur upp úr holunni. Engar breytingar hafa verið á deslingu eða skoli. Almennt má segla að meiri órðnir langegir eftir því að holan fan að opna sig en engar visbendingar eru um það. Komið hafa fram í svarfínu svæði þar sem mikil hefur verið um sprungufyllingar og ummyndun verið meiri en almennt t – en skoltapið hefur ekki aukist á þessum stöðum.

Borað hefur verið með fremur líttu álagi og hefur það sjaldnast farið upp fyrir 15–16.000 pund. Ataki að driftið hefur að sama skápi verið í kingum 100A og hefur mest farið í um 120 A á síðustu metrum holunnar.

### Jardlög

Svarf hefur verið greint niður í um 950 metra og er enn mestmeginis um að ræða hráunþing en inn á milli koma lög af móbergi. Ummyndun er mein og ákari í móbergsgumum og er þar talvænt að spildið en tilvist þess gefur til kynna að hiti sé um eða í nánd við 230°C. Rétt neðan við fóbringarenda er fremur gróftkoma basallag sem gæti verið innskot.

Kvedja  
Sigurður Sveinn

**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið  
SSJ.o

## BORVAKT Í SVARTSENGI

22. tölvublað  
Hola SJ-17

### Istuttu málí

Bordípi í morgun klukkan 07:00 var 916 metrar og hafa borast 85 metrar frá því um klukkan 19:30 í gærkvöldi eða fétta tæpir 3,5 metrar á klukkustund. Bordípi í gærkvöldi um klukkan 22:00 var 880 m og var dæling um 50 litrar, þryslingur um 700 psi og átak á drifborð rétt innan við 100 A. Borad hefur verið með 5-7 tonna álagi, sniuningur á borðkronu hefur verið á blínum 35-50 rpm og dæling hefur að jafrnadi verið nái að 50 l/s og einungis borð með vanni. Litlu sem ekert tap er í holunni en það hefur óhálf vaxið með dípi og var um 4 l/s þegar síðast var mælt. Hallamælt var í 800 m í gærkvöldi og var hallinn 3,8°.

### Gangur, borunar

Borun hefur verið mjög jöfn og hefur borhraði að jafrnadi verið nokkuð innan við 5 mm/lst. Borad hefur verið með um 5–10.000 punda álagi og hrada haldíð þjörnum. Tap var mælt á því sem næst tveggja stunda fresti og er nær ekert eða um 1-5 litrar á sekundu og hefur mest meist um 5 litrar á sekundu í skamman tíma en er að jafrnadi um 4 l/s.

### Jardlög

Svarf hefur verið greint niður í 890 metra og er verið að bora í nokkuð ummynduð finnkoma basaltbraunlög með halffylltum bloðnum og ljósgrænum tiltblulega vel kriðslíðum leir en á um 850 metra dýpi verða nokkur umskipti þegar kemur inn trúff eða móbergamyndun með meiri vainsleidini og með miklu af epiddi. Að jafrnadi getur það til kynna að berghiti sé um eða yfir 230 °C. Þar fyrir neðan koma síðan aftur haunlög og ummyndunin eru ekki eins aberandi. EKKI eru miklar breytingar á myndum frá því í gær (sem haf fygt þessum tilindum) sem sýna gang bonunar og jardlög sem borða eru. Meiri breytinga eru að vænta þennan solarmáning og verður endurbætt mynd af jardlögum send með bortiðindum í fyrramáli.



## BORVAKT Í SVARTSENGI

09. maí 1998, verkdagur 54  
Höla SJ-17

Istuttu málí...  
Bordýpi í morgun klukkan 07:00 var 1064 metrar og er verið að bora í miðg ummyndað móbergstúff, gegnumstungin át þunnum basaltinskotum. Frá um 950 til 1000 metra dípi eru innskotisþróð orðin áberandi. Ummyndunarsteindir eru mjög sýnilegar og er epidóti í miklu magni í tuffinu en þýrit er meira bundið við jadra innskotanna og má segja að þau sé ekki mjög ráðandi steind. Bonum hefur gengið nokkuð hratt undanfarin enda borad í fremur linjum jardlötg. Alls borðust 79 metrar á síðasta solárhring.

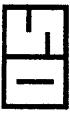
### Gangur borunar

Ekkert tap er í holunni og telst það heilst til tilinda. Nánast engin breytting hefur verið á ástindi í holunni frá því í gær. Dæling er með svipduó móti eða um 53 litrar á sekundu og svarf kemur vel upp. Hitisigting á skolvatni hefur lítið breyst í síðustu solárhringa og hefur að lafnæði verið um 15°C. Borð hefur verið með svipduó álagi eða á 15.000 pundum eða þar um bil og sruuningur á borkrónu hefur verið 35-50 sruuningar á minnitu. Átak á driftborð hefur hólan er reglulega hallamæld og í síðustu mælingu á 1100 metra dýpi reyndist hallinn vera 3-8 gráður og hefur hólan halist þen með þessari skeikju b.e. hallin hefur verið obreyttur. Samt hefur verið rænt að hæda álagi innan marka til að koma í veg fyrir frekari skeckingu.

### Jardlötg

Þegar betta er ritaoð er verið að bora í gegnum miðg ummyndað móbergstúff sem er gegnumstungin át þunnum basaltinskotum. Almennt er ummyndun mikil og er epidóti til staðar í öllum sýnum. Eins og fram hefur komið bér ekki mikil á þýrit en þar sem það er til staðar í einhverju magni þá er það í grennd við innskot.

Kveðja  
Sigrður Sveinn



## BORVAKT Í SVARTSENGI

09. maí 1998, verkdagur 54  
Höla SJ-17

Istuttu málí...  
Bordýpi í morgun klukkan 07:05 var 1157 metrar og er verið að bora núna á síðustu meignum í fremur grótkoma ummynduð biðrútfyllt hraunlög með talveri miklu af ummyndunarsteindum, epidóti og grófkristslildum leir. Alls borðust 92 metrar á síðasta solárhring.

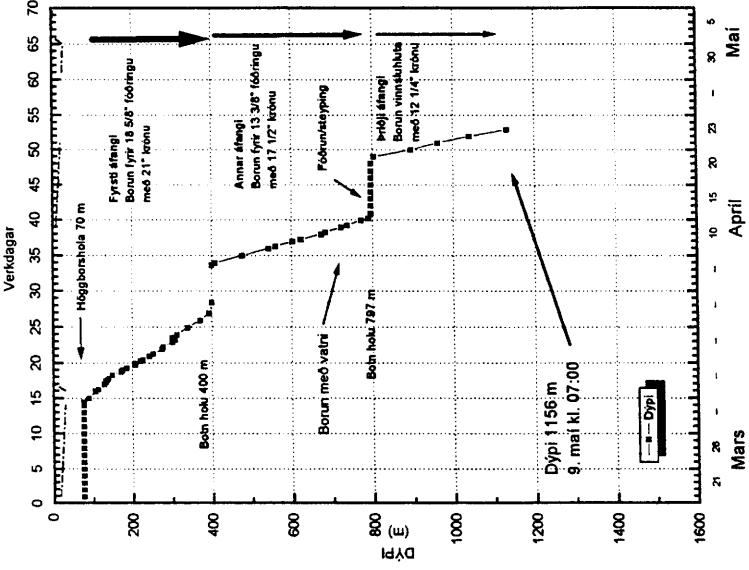
### Gangur borunar

Heilsti tilöndi eru þau að tap fer vaxandi í holunni og fór fyrst að aukast í gærkvöldi svona upp úr kvöldmat. Þá meidist tapiro rétt um 9 l/s. minnkad í þeitum en innu ummynduðu jardlögi en síðan óx það í 11 l/s. og hefur verið það síðan. Dæling er með svipduó móti eða um 53 litrar á sekundu og svarf kemur vel upp. Hitisigting á skolvatni hefur óhálf verið að tosast upp síðasta solárhring og hefur að jafnreið um 17 gráður en hefur lítið breyst síðustu solárhringa og hefur að jafnreið um 15°C. Borð hefur verið með svipduó álagi eða á 15.000 pundum eða þar um bil og sruuningur á borkrónu hefur verið 35-50 sruuningar á minnitu. Átak á driftborð hefur að sama skapi verið á bilinu 80-100A og hefur mest faro í um 120A. Hólan er reglulega hallamæld og í síðustu mælingu á 1100 metra dýpi reyndist hallinn vera 3-8 gráður og hefur hólan halist þen með þessari skeikju b.e. hallin hefur verið obreyttur. Samt hefur verið rænt að hæda álagi innan marka til að koma í veg fyrir frekari skeckingu.

### Jardlötg

Mjög einfölduð mynd af jardlöögum er á þá lund að niður í um 1000 metra eru móbergs- og hraunlög með innskotum, frá 1000 meignum er þykkur örtrúflabur og einsleitir móbergskafi og síðan taka við hraunlög.

Kveðja  
Sigrður Sveinn



**BORVAKT Í SVARTSENGI**  
10. maí 1998, verkdagur 55  
Hola SJ-17

I stuttu máli ...

Bordýpi i morgin klukkan 07 var 1231metrar og hefur holan dýptak um eina gær. Jarðtig enu basalt hráunlög niður í 1222 m, en þar kom algert skoltap. Ær þetta er ritað klukkan rúmelega 08 er dýpi holunnar um 1236 m, skoltap hefur minnkað niður í um 20-30 l/s, og þess væntz at svart fan brátt að berast upp á ny.

Gangur borunar

Klukkan 7 í morgun var dýpi holunnar um 1231 m og hefur holan dýptak um eina 81 m frá sama tima í gær. [1222 m dýpi (c. 02:30 í nótta) kom algert skoltap, og felli þrystingur á standpipe frá rúnum 800 psi niður í næri 0 sem merkt að vánshordi í daelingu hefur fallið umtalsvert. Klukkan 04 var þrystingur um 0 á standpipe í 35 l/s daelingu, og þegar daeling var aukin í 53 l/s lökti þrystingur í um 550 psi. um 1230 m varð varit við smá festu í boren. Áður en stöng var bætt í var athugað boinfall í holunnini og reynist holan hrein. Nú er deitt úr þádum kildavatnsholunum til að nægt van sé til staðar í skolun holunnar. Dæling klukkan um 8 voru 53 l/s og er þrystingur á standpipe eftir að skol kom til yfirborð um 850 psi.

Jardlög

Basalt hráunlög eru ráðandi frá um 1150 m niður að skoltapsstaðnum. Nokkuð er um sprungutyllingar. Epidóti er nokkuð algengt, og í rúnum 1200 m er líklegt að siasi í steind sem nefnd er vollastonit, en slik steind myndast yfirleitt við hita um eða yfir 270°C.

Kveðja

Hjalti

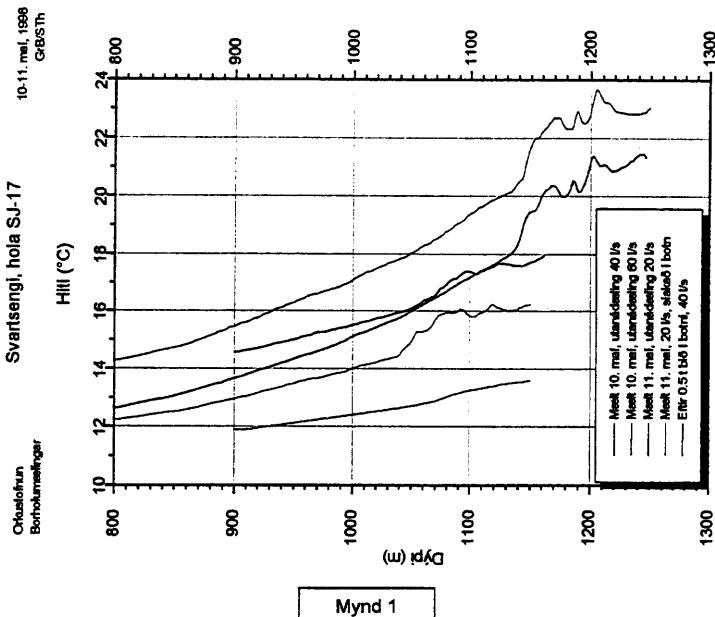
## BORVAKT Í SVARTSENGI

11. maí 1998, verkdagur 56  
 Hola SJ-17

### Borholumælingar í 3ja áfanga holu SJ-17

Farið var til mælinga í holu 17 síðdegis þann 10. maí. Tilgangur ferðarinnar var að meta vatnsborð holunar í mismikilli áætlingu og sjá þann hvort gæfin væri örðin nægjanleg vegna fyrirhugaðrar niðurdælingar. Tafla 1 gefur yfirlit um mælingar sem gerðar voru í þessari ferð.

Mæling	Skrá	Dýpisbil	Vatnshord	Athugasemdir
Þróst.	P0510220	233-400	233	Áætling 40 l/s
Hiti	H0510221	400-1150	233	Ad. 40 l/s
Þróst.	P0510224	1000	breytilegt	Ad. aukin úr 40 í 60 l/s kl. 23:15
Hiti	H0510235	900-1150	Ad. 59 l/s	
Þróst.	P0511000	1000	breytilegt	Áætling 59, 40 og 20 l/s
Hiti	H0511012	900-1150	375	Áætling 20 l/s
Þróst.	P0511013	1150-375	375	Áætling 20 l/s
Hiti	H0511030	375-1246	375	Ad. 20 l/s, st. bætt í, 4 m botnfall
Upphit.	T0511033	1246	375	Áætling aukin úr 20 í 40 l/s
Hiti	H0511040	1246-800	375	Ad. 40 l/s, eftir 30 min bið í botni

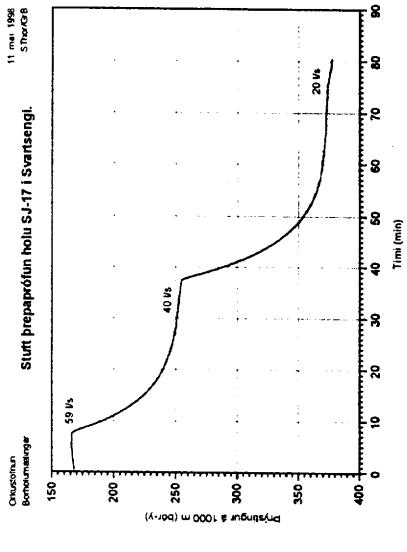


Mynd 1

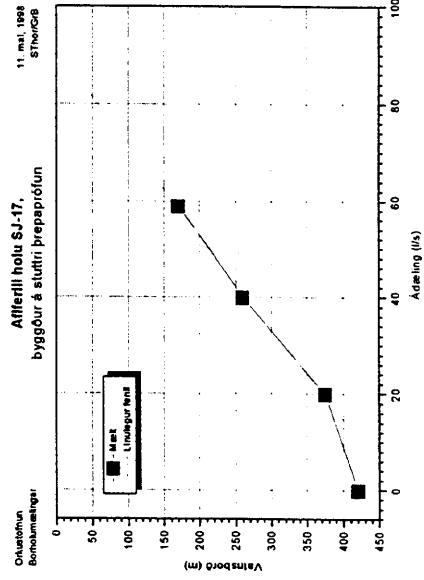
Mynd 1 sýnir hitamælingarnar sem söfnudúst. Þar sést að áætlingarvatrið rennur a.m.k. niður til æðar í u.h.b. 1150 m, og trulegast að einhverjum hluta allt til botns. Smá óga sem er í hitaferlunum í neðstí 100 metrum stafrar væntilega af hægri og breytilegri upplitnum álagstangaa. Mynd 2 sýnir vatnsborð i 20, 40 og 59 l/s þrepnum, reiknað út frá þróustingi á 1000 m. Út frá þessum gögnum er svo buinn til bræðabirgðaafferill fyrir holun (mynd 3). Samkvæmt honum tekur holan full við u.h.b. 90 l/s af köldu vatni. Viðhámsstöðull holunnar er áætlaður 5 m vatnshordshækkun fyrir hvern sekundulítra sem ðætt er vrð. Holan er því á móta í lekt og hola SG-6. Athugið er hve vatnsborð stendur lágt í holunni og er hún græniliga í góðu sambandi við svæðsbrytingum sem nú er í Svartsengi.

I ljósi þessa var ákveðið að holan væri örðin nægjanlega opin sem niðurdælingarhola. Upptekt stendur því yfir en gengur hægt vegna vedurs. Í framhaldinu verður jardlagamaðt og síðan fer leiðari í holuna.

11. maí 1998. Grímur Björnsson og Sigvaldi Thordarson



Mynd 2



Mynd 3

## **Viðauki 2**

Mælingar bormanna á dælingu, skoltöpum, þrýstingi og skolvatnshita.

Dagsetn.	Tid	Dýpi m	PSI	Dessa 1 l/s	Dessa 2 l/s	Dessa 3 l/s	Dessal als l/s	Tap ker nr.	Tap l/s	T nödur °C	T upp °C	dT °C	
31 mar	14:10	83		18,05	16,15		34,2	0	0,00			0	
31 mar	19:45	86		21,28	0		21,28		0,61			0	
31 mar	23:30	88		21,09	0		21,09		0,30			0	
01 apr	05:30	95		0	0		0		0,30			0	
01 apr	14:30	100	60	0	19,95		19,95		0,00			0	
01 apr	17:30	104	60	0	20,33		20,33		0,00			0	
02 apr	01:00	108	60	0	20,14		20,14	2				0	
02 apr	05:30	114	60	0	20,14		20,14	2				0	
02 apr	10:00	116	70	0	22,04		22,04	0				0	
02 apr	14:00	120	90	0	22,23		22,23	0				0	
03 apr	18:00	125	90	0	22,42		22,42	2	2,42			0	
03 apr	01:30	131	100	0	22,8		22,8	0,5				0	
03 apr	10:00	134	100	0	22,8		22,8	0				0	
03 apr	14:00	136	100	0	22,8		22,8	0				0	
03 apr	18:00	140	100	0	22,8		22,8	2	2,42			0	
03 apr	22:00	144	100	0	22,8		22,8	2				0	
04 apr	10:00	151	100	0	22,8		22,8	0,5	0,61			0	
04 apr	18:30	168	100	0	22,8		22,8	1	0,60	18,2	21,5	3,3	
04 apr	21:44	173	100	0	24,7		24,7	1	0,61	21	21,4	0,4	
05 apr	02:00	178	100	0	23,56		23,56	0,5	0,30	20,5	21,8	1,3	
05 apr	06:00	185	100	0	25,46		25,46	1	0,61	22	22,4	0,4	
05 apr	10:30	190	100	25,46	0		25,46	0	0,00	20,8	21,6	0,8	
05 apr	14:00	195	100	23,75	0		23,75	0	0,00	18,2	22,5	3,3	
05 apr	18:00	199	100	23,75	0		23,75	4	2,44			0	
05 apr	18:30	204	100	24,7	0		24,7	0	0,00	17,6	22,9	5,3	
05 apr	22:00	208	100	24,7	0		24,7	0	0,00	16,1	24,2	8,1	
06 apr	02:00	211	100	24,7	0		24,7	0	0,00	17,7	24,7	7	
06 apr	05:40	218	100	24,7	0		24,7	0	0,00	17,2	24,2	7	
06 apr	10:00	224	110	0	22,8		22,8	0	0,00	22,5	22,6	0,1	
06 apr	14:00	230	100	0	22,8		22,8	2	1,21	22,7	24,5	1,8	
06 apr	18:00	236	100	0	24,51		24,51	0	0,00	20	20,6	0,6	
06 apr	23:15	243	100	0	24,7		24,7	0	0,00	18,8	22,8	3	
07 apr	03:00	247	100	0	25,08		25,08	0	0,00	18,9	23,6	3,7	
07 apr	05:40	252	100	24,32	0		24,32	0	0,00	21	24,5	3,5	
07 apr	10:00	259	100	25,27	0		25,27	3	0,94	19	25	6	
07 apr	14:00	265	100	22,8	0		22,8	0	0,00	21,2	22,7	1,5	
07 apr	18:00	268	100	26,22	0		26,22	0	0,00	20,8	23,4	2,6	
07 apr	22:00	274	100	24,51	0		24,51	0	0,00	20,7	21,9	1,2	
08 apr	02:00	275	100	24,7	0		24,7	0	0,00	22	22,5	0,5	
08 apr	06:30	279	100	24,32	0		24,32	0	0,00	22	22,6	0,6	
08 apr	10:00	281	100	23,18	0		23,18	1	0,31	18,9	22	3,1	
08 apr	14:00	286	100	24,32	0		24,32	0	0,00	19,1	21,9	2,8	
08 apr	18:00	291	100	23,94	0		23,94	2	0,62	21,1	22,58	1,48	
08 apr	22:00	295	100	23,94	0		23,94	0	0,00	21,9	23,5	1,6	
09 apr	02:00	302	100	24,51	0		24,51	0	0,00	20,1	23,5	3,4	
09 apr	06:00	307	100	25,27	0		25,27	0	0,00	19,3	22,4	3,1	
10 apr	02:00	315	100	25,27	0		25,27	0	0,00	17,5	21,2	3,7	
10 apr	15:00	327	120	0	22,8		22,8	2				0	
11 apr	02:00	342	120	0	23,37		23,37	0	0,00	17,8	22,6	4,8	
11 apr	22:00	369	150	0	24,32		24,32	0	0,00	23	25	2	
12 apr	02:00	378	150	0	21,28		21,28	0	0,00	23,5	25,6	2,1	
12 apr	06:00	383	150	0	24,7		24,7	0	0,00	21,2	26,1	4,9	
12 apr	13:30	387	150	0	24,7		24,7	0	0,00	21	24,6	3,6	
12 apr	18:00	389	150	0	25,27		25,27	0	0,00	23,1	25,9	2,8	
12 apr	21:50	391	165	0	25,08		25,08	0	0,00	24,5	29,8	5,3	
13 apr	01:50	396	165	0	24,7		24,7	0	0,00	26,4	30,8	4,4	
13 apr	05:45	398	155	0	25,08		25,08	0	0,00	24,8	28,8	4	
13 apr	09:30	400	155	0	24,7		24,7	0	0,00	25,2	27,2	2	
13 apr	13:45	400	0	0	0		0			30,5	30,5	0	
20 apr	02:00	413	150	0	24,89		24,89	0	0	6,8	17,8	11	
20 apr	06:00	425	150	0	25,08		25,08	0	0	7	18,8	11,8	
20 apr	10:00	439	170	0	25,27		25,27	0	0,15	8,8	23,2	14,6	
20 apr	14:00	450	170	0	26,22		26,22	0	0	10,5	27,2	16,7	
20 apr	17:30	461	180	0	25,46		25,46	0	0,31	10,9	31	20,1	
20 apr	23:10	474	170	0	25,46		25,46	2	0	35	37,4	2,4	
21 apr	01:30	485	170	0	26,22		26,22	2	0	35,1	37,8	2,7	
21 apr	05:30	498	170	0	25,46		25,46	2	0	41	41,7	0,7	
21 apr	10:00	511	190	0	26,41		26,41	2	0,62	42	44,9	2,9	
22 apr	01:30	545	180	0	26,22		26,22	2	0,31	45	49	4	
22 apr	05:30	555	180	0	25,84		25,84	2	0,59	48,3	50,5	4,2	
22 apr	14:00	578	200	0	31,92		31,92	1		54,6	58,8	2	
22 apr	18:20	589	190	0	25,84		25,84	1		48	54	8	
22 apr	21:30	597	190	0	25,84		25,84	2	0,31	55,6	57,1	1,5	
23 apr	01:30	607	190	0	25,84		25,84	2	0,48	55,7	57,4	1,7	
23 apr	05:30	619	190	0	25,84		25,84	2	0,48	55,8	56,8	1	
23 apr	09:45	632	190	0	25,08		25,08	2	0	56	57,8	1,8	
23 apr	18:00	659	200	0	25,84		25,84	2	0	60	62,1	2,1	
23 apr	21:30	668	190	0	26,41		26,41	2	0,46	59	60	1	
24 apr	05:30	684	190	0	26,22		26,22	2	0,46	62,5	64	1,6	
24 apr	09:30	693	190	0	27,74		27,74	2	0,46	62,2	63,3	1,1	
24 apr	14:00	709	220	0	26,6		26,6	1	0,31	65,5	66,5	1	
24 apr	21:30	721	380	20,71	23,94		44,65	2	0,31	43,3	46,7	3,4	
25 apr	01:30	726	520	27,74	27,74		55,48	2	0,31	43,2	46,7	3,5	
25 apr	05:30	733	500	27,55	27,55		55,1	1	0,38	17,8	21,8	4	
25 apr	09:30	742	500	26,79	26,79		53,58			14,3	19	4,7	
25 apr	13:30	752	850	28,12	25,08		53,2			4,26	13	18	5
25 apr	17:30	759	850	28,6	26,6	21	74,2			9,74	13,7	17,7	4
25 apr	21:30	768	940	28,6	27,17	21	74,77	1		6,24	12,2	18,2	6
26 apr	01:10	775	950	28,12	27,36	21	76,48	1	22	11,8	16,5	4,7	
26 apr	05:00	785	950	27,74	27,36	19,75	73,85	1	6,83	12,5	17,3	4,8	
26 apr	09:30	794	950	27,17	27,36	20,25	74,78	1	18,89	13,2	16,8	3,6	
26 apr	12:30	797	950	27,55	27,36	19,5	74,41	1,2	22,36	13,7	17,1	3,4	

Dagsetn.	Tid	Dýpi m	PSI	Dens 1 Vs	Dens 2 Vs	Dens 3 Vs	Densing als Vs	Tap ker nr.	Tap Vs	T nöur °C	T upp °C	dT °C
26 apr	14:00	797	830	26,12	26,22	19,5	73,84	1,2	34,1	13	16,7	3,7
26 apr	16:00	797		19	17,86	0	36,86		36,86		0	0
				0	0	0	0					0
04 mai	10:00	803	550	24,32	22,61	0	46,93	1,2	1,21	10,9	12,2	1,3
05 mai	02:00	813	580	24,32	23,94	0	46,26		2,44	10,9	12,7	1,8
05 mai	04:00	818	580	27,36	28,79	0	54,15	1,2	3,05	11,3	12,3	1
05 mai	06:00	826	670	26,6	26,03	0	52,83	1,2	3,05	10,9	12,2	1,3
05 mai	08:20	840	700	26,6	26,6	0	53,2	1	2,97	10,7	13,3	2,6
05 mai	10:30	845	700	26,6	26,79	0	53,39	1	2,38	12,1	14,7	2,6
05 mai	13:00	852	710	26,98	27,17	0	54,15	1	2,08	12,1	15,9	3,8
05 mai	17:30	866	705	6,46	26,78	22,5	55,75	1	3,56	13,3	14,6	1,3
05 mai	20:25	873	700	26,6	26,6	0	53,2	1	4,16	12,1	13,7	1,6
05 mai	23:00	885	700	26,6	26,6	0	53,2	1	4,16	10,2	12,6	2,4
06 mai	01:40	896	700	26,6	26,6	0	53,2	1	4,16	10,7	12	1,3
06 mai	06:00	912	700	26,6	26,6	0	53,2	1	4,16	10,6	13,2	2,6
06 mai	09:30	926	710	26,79	26,8	0	53,39	1	3,56	10,4	14,1	3,7
06 mai	11:30	931	710	26,6	26,6	0	53,2	1	3,56	10,7	14,5	3,8
06 mai	13:30	938	710	26,6	26,6	0	53,2	1	3,56	11,3	14,8	3,5
06 mai	17:30	946	740	26,6	26,79	0	53,39	1	3,56	11,1	14,3	3,2
06 mai	21:30	957	750	26,6	26,6	0	53,2		3,27		0	
07 mai	01:30	967	725	26,6	26,6	0	53,2		4,75		0	
07 mai	05:30	975	730	26,6	26,6	0	53,2		4,75			
07 mai	09:30	985	740	26,6	26,6	0	53,2		4,75			
07 mai	13:30	995	710	26,6	26,6	0	53,2		4,75			
07 mai	17:30	1013	750	26,6	26,6	0	53,2		4,75			
07 mai	21:30	1032	770	27,55	26,6	0	54,15		2,38			
08 mai	01:30	1047	750	26,6	26,6	0	53,2		0			
08 mai	05:30	1061	750	26,6	26,6	0	53,2		3,56			
08 mai	09:30	1078	760	26,6	26,6	0	53,2		4,16			
08 mai	13:30	1096	790	26,6	26,6	0	53,2		3,56			
08 mai	17:30	1110	790	26,6	26,6		53,2		3,56			
08 mai	21:30	1123	790	26,6	26,6		53,2		8,92			
08 mai	23:00	1130	790	26,6	26,6		53,2		13,07			
09 mai	01:30	1138	790	26,6	26,6		53,2		5,94			
09 mai	05:30	1152	800	26,6	26,6		53,2		11,29			
09 mai	09:30	1164	800	26,6	26,6		53,2		4,75			
09 mai	13:30	1180	800	26,6	26,6		53,2		4,75			
09 mai	17:30	1194	800	26,6	26,6		53,2		4,75			
09 mai	21:30	1204	800	27,55	26,6		54,15		2,97			
10 mai	01:30	1219	800	26,6	26,6		53,2		13,07			
10 mai	02:30	1224	700	26,6	26,6		53,2		45,03			
10 mai	06:30	1235	800	26,6	26,6		53,2		50			



## **Viðauki 3**

Fóðringaskýrslur Jarðborana hf.

- a. Öryggisfóðring
- b. Vinnslufóðring
- c. Leiðari

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Bor	Verkkaupi
420-662	SJ-17	Svartsengi	Jötunn	Hitaveita Suðumesja
Vidd holu 21"	Dýpt holu mv. drifborð 401.00	Fóðring nr. 2	Fóðrun framkv. dags. 13 - 19 / 4 1998	Útfyllt af: D.Sigursteins.

Holudýpi frá flangsi				
FÓÐRING	Gerð	H-40	Þyngd	87,5? lbs/ft
	Utanmál	18 5/8"	Innanmál	451 mm
	Veggþykkt	11.des mm	Pöntunar nr.	Ýmis
	Tengi	Soðin		
	Flangs	21 1/4" X 2000		
	Stungutengi	Float Collar		
	Skór	Float Shoe		
	Miðjustíllar	stk	Steyputappar	stk
STEYPING	Steypa 1 þurrefni	G-40 % 45.778 kg	Tafefni	0,50% kg
	Eðlisþyngd	1,59 kg/l	Steypingartími	35 mín
	Steyputæki	Jett Mixari		
	Steypa kom upp	? Já	Eðlisþyngd steypu upp	1,32 kg/l
	Eftirdæling	59.000 ltr	Eftirdæling	31 mín
	Steypa 2 þurrefni	G-40 % 4.000 kg	Steypa utanmeð eftir 35 mín.	
FRÁGANGUR	Dýpi á steypu utan röra	ca. 70 m	Steypa utan með eftir	3 kist
	Steypa þurrefni	4000 + 3.000 kg	Skorið ofan af eftir	12 kist
	Dýpi á steypu í röri	361,50 m	Steypa boruð eftir	43 kist
<b>ATHUGASEMDIR</b>				
Neðstu 14 rörin eru gömul rör frá Hitav. Suðumesja 12 mm veggþykkt. Næstu 16 rör eru				
mynniflutt 11 mm. og efstu 10 rörin eru gömul en sem ný frá Kröflu líklega 12 mm.				
Ekk tökst að tengja stungustykkið svo steypa var beint ofan í fóðringuna en soðið hafði				
verið lok á hana áður. Steypa var eins hratt og mögulegt var og tökst aðgerðin vonum framar.				
Sæmileg steypa kom upp en seið nökkuð hratt. Steypa var ofaná utanmeð eftir 25 min og				
enn sei steypan. Steypa var aftur eftir 3 kist úr 4 tonnum og ennþá seið steyputborðið eftir flanssuðu voru 27				
m. niður á steypu. Síðasta steyping fór svo fram 33 kist eftir 1. Steypa. Þá var steypa úr 3 tonnum.				
Steyping fóðringarinnar telst hafa				

Röratalning			
LENGD	NR	MS	ALLS m
7,24	1		7,24
9,51	2		16,75
9,55	3		26,30
9,54	4		35,84
9,64	5		45,48
9,61	6		55,09
9,59	7		64,68
9,64	8		74,32
9,45	9		83,77
9,42	10		93,19
12,31	11		105,50
12,44	12		117,94
12,48	13		130,42
12,68	14		143,10
12,68	15		155,78
12,41	16		168,19
12,47	17		180,66
12,48	18		193,14
12,68	19		205,82
12,68	20		218,50
12,68	21		231,18
12,59	22		243,77
12,48	23		256,25
12,68	24		268,93
12,58	25		281,51
12,47	26		293,98
7,00	27		300,98
6,80	28		307,78
6,97	29		314,75



**JARDBORANIR HF**  
SKIPHOLTI 50D - 105 REYKJAVÍK

FÓÐRUNARSKÝRSLA

Framhaldseyðublað nr. 68-051

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Fóðring nr.	Blaðsíða nr.
420-662	SJ-17	Svartsengi	2	2

RÖRATALNING

LENGD NR. MS ALLS m

6,85	30		321,60
7,00	31		328,60
6,72	32		335,32
6,96	33		342,28
6,99	34		349,27
6,99	35		356,26
6,98	36		363,24
0,90	Colli		364,14
7,00	37		371,14
6,97	38		378,11
7,00	39		385,11
6,86	40		391,97
0,54	Skór		392,51

## RÖRATALNING

LENGD N

BÖRATAI NING

ENGD NB MS ALL S.m

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Bor	Verkkaupi
420-662	SJ-17	Svartsengi	Jötunn	Hitaveita Suðumesja
Vídd holu 17 1/2"	Dýpt holu mv. drifborð 796.86	Fóðring nr. 3	Fóðrun framkv. dags. 1998. 04. 28. - 05. 03.	Útfyllt af: D.Sig.

<b>FÓÐRING</b>	Holudýpi frá flangsi	<b>789,00</b>	m	Fóðringard. frá fl.	<b>776,28</b>	m
	Gerð	<b>K - 55</b>	þyngd		<b>68 lbs/ft</b>	
	Utanmál	<b>13 3/8"</b>	Innanmál		<b>315,3 mm</b>	
	Veggþykkt	<b>12,2 mm</b>	Pöntunar nr.		Ymsar	
	Tengi	<b>Skrúfuð Buttress og AAMS</b>				
	Flangs	<b>12" X 900</b>	(Wellhead)			
	Stungutengi	<b>Float Collar</b>				
	Skór	<b>Float Shoe</b>				
	Miðjustillar	<b>23</b>	stk	Steyputappar		stk
	Steypa 1 þurrefni	<b>77.290</b>	kg	Tafefni	<b>0,50%</b>	kg
	Steyputæki	<b>Jet mixari</b>				
	Steypa kom upp	<b>?</b>	<b>Nei</b>	Eðlisþyngd steypu upp		kg/l
	Eftirdæling	<b>7.300</b>	ltr	Eftirdæling	<b>8</b>	mín
	Steypa 2 þurrefni		kg			
	Dýpi á steypu utan röra	<b>776</b>	m	Steypa utan með eftir	<b>27</b>	kist
	Steypa þurrefni	<b>60.000</b>	kg	Skorið ofan af eftir	<b>51</b>	kist
	Dýpi á steypu í röri	<b>776</b>	m	Steypa boruð eftir	<b>88</b>	kist
	<b>60 tonnini voru steypa utanmeð í 4 áföngum.</b>					
	Efstu 10 rörin eru ný en neðan á tíunda rörið er soðinn 1 m. bútur til að breita gengjunum					
	11. Rör til og með 61 röri eru gömul rör sem Hitaveita Suðumesja átti frá fyrri til ó en neðst					
	4 rörin voru nýleg og ættuð frá Kröflu. Þegar búið var að steypa úr 40 tn. fór að koma upp					
	vatn svo haldið var áfram að steypa en 30 tn seinna sprakkr holan ráskilega út svo hætt var.					
	Í þós kom við bondmælingu að engin steypa var í holunni og hún flóólin. Steypa var nú					
	utanmeð fyrst úr 31 tn. 3 kist seinna úr 10 tn. 3 kist seinna úr 11 tn og 3 kist seinna úr 8 tn.					
	Góð steipa kom þá upp og seig lítið. Samkvæmt bondmælingu seinna var steypan góð.					
	Wellhead er talið með fyrsta röri.					

Röratalning				
LENGD	NR	MS	ALLS	m
11,91	1		11,91	
13,51	2	X	25,42	
13,28	3		38,70	
13,80	4		52,50	
13,54	5	X	66,04	
13,68	6		79,72	
13,70	7		93,42	
13,58	8	X	107,00	
13,70	9		120,70	
14,28	10		134,98	
10,45	11	X	145,43	
11,51	12		156,94	
11,69	13		168,63	
11,72	14	X	180,35	
11,46	15		191,81	
11,59	16		203,40	
11,56	17	X	214,96	
11,36	18		226,32	
11,56	19		237,88	
11,77	20	X	249,65	
11,45	21		261,10	
11,46	22		272,56	
11,93	23	X	284,49	
11,79	24		296,28	
11,06	25		307,34	
11,93	26	X	319,27	
11,67	27		330,94	
11,60	28		342,54	
11,51	29	X	354,05	



**JARÐBORANIR HF**  
SKIPHOLTI 50D - 105 REYKJAVÍK

FÓÐRUNARSKÝRSLA

Framhaldseyðublað nr. 68-051

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Fóðring nr.	Blaðsiða nr.
420-662	SJ-17	Svartsengi	3	2

RÖRATALNING				RÖRATALNING				RÖRATALNING			
LENGD	NR.	MS	ALLS m	LENGD	NR.	MS	ALLS m	LENGD	NR.	MS	ALLS m
11,10	30		365,15	12,91	62	X	737,52				
11,62	31		376,77	12,30	63		749,82				
11,68	32	X	388,45	0,84	Colli		750,66				
11,66	33		400,11	12,48	64		763,14				
11,42	34		411,53	12,65	65	XX	775,79				
11,55	35	X	423,08	0,49	Skór		776,28				
11,80	36		434,88								
11,60	37		446,48								
11,57	38	X	458,05								
11,58	39		469,63								
11,82	40		481,45								
11,11	41	X	492,56								
11,88	42		504,44								
11,36	43		515,80								
11,49	44	X	527,29								
11,33	45		538,62								
11,91	46		550,53								
11,63	47	X	562,16								
11,46	48		573,62								
11,43	49		585,05								
11,62	50	X	596,67								
11,75	51		608,42								
11,70	52		620,12								
11,66	53	X	631,78								
11,56	54		643,34								
11,45	55		654,79								
11,63	56	X	666,42								
11,21	57		677,63								
11,67	58		689,30								
11,76	59	X	701,06								
11,86	60		712,92								
11,69	61		724,61								



**JARÐBORANIR HF**  
SKIPHOLTI 50D - 105 REYKJAVÍK

FÓÐRUNARSKÝRSLA

Eyðublað nr. 68-051

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Bor	Verkkaupi
<b>42662</b>	<b>SJ-17</b>	<b>Svartsengi</b>	<b>Jötunn</b>	<b>Hitaveita Suðurnesja</b>
Vídd holu 12 1/4"	Dýpt holu mv. drifborð 1260,00	Fóðring nr. 4	Fóðrun framkv. dags. 1998.05.12.	Útfyllit af: B.G. D.Sig.

Röratalning				
LENGD	NR	MS	ALLS	m
<b>Upphengi er í</b>			<b>743,64</b>	
1,00	Upph.		744,64	
11,57	1		756,21	
11,92	2		768,13	
11,67	3		779,80	
11,52	4	R	791,32	
11,72	5	R	803,04	
11,67	6	R	814,71	
11,55	7	R	826,26	
11,41	8	R	837,67	
11,52	9	R	849,19	
12,58	10	R	861,77	
11,88	11	R	873,65	
11,99	12	R	885,64	
11,77	13	R	897,41	
11,59	14	R	909,00	
11,73	15	R	920,73	
11,67	16	R	932,40	
11,88	17	R	944,28	
11,61	18	R	955,89	
11,97	19	R	967,86	
11,96	20	R	979,82	
11,99	21	R	991,81	
11,75	22	R	1003,56	
11,71	23	R	1015,27	
11,66	24	R	1026,93	
11,86	25	R	1038,79	
11,82	26	R	1050,61	
11,90	27	R	1062,51	
11,70	28	R	1074,21	



**JARDBORANIR HF**  
SKIPHOLTI 50D - 105 REYKJAVÍK

Framhaldseyðublað nr. 68-051

Verk nr.	Hola nr.	Borstaður	Fóðring nr.	Blaðsiða nr.
42662	SJ-17	Svartsenqi	4	2



## **Viðauki 4 Jarðfræðigögn**

Listi yfir þunnsneiðar

Listi yfir röntgengreiningar

Listi yfir dýpi (m) á sýnum þar sem þunnsneiðar voru teknar.

88	256	414	572	740	904	1100
112	284	438	592	754	964	1134
124	322	464	618	796	990	1152
152	348	488	642	836	1028	1202
198	370	510	674	854	1048	1222
230	388	552	708	874	1074	

Dýpi (m) og niðurstöður röntgengreininga á útfellingum

234	Göetít	528	Anhýdrít, kvars, kalsít	634	Kvars, anhýdrít
254	Aragónít, kalsít, dólómit	534	Anhýdrít, kvars, kalsít	656	Kvars, anhýdrít
336	Síderít	554	Kvars, kalsít	770	Kvars, anhýdrít
368	Síderít, aragónít	566	Anhýdrít, kalsít	804	Kvars anhýdrít
434	kalsít, anal sím	598	Kvars, kalsít	826	Kalsít
474	Kalsít, anal sím, heulandít	616	Kvars, kalsít, anhýdrít	1198	Kvars, kalsít, epidót

Dýpi (m) á röntgengreiningar á leir

92	260	436	504	648	718	836	1110
102	322	446	558	662	746	908	1188
136	390	464	592	678	778	1000	1214
168	414	490	628	694	802	1070	

## VIÐAUKI 5

### JARÐLAGAMÆLINGAR Í BORHOLUM - MARKMIÐ OG AÐFERÐIR

Í þessum viðauka er gefið stutt yfirlit yfir jarðlagamælingar í borholum, tilganginn með þeim og aðferðirnar sem beitt er. Víddarmælingar teljast ekki til eiginlegra jarðlagamælinga, en eru þó nauðsynlegar til þess að leiðréttar jarðlagamælingarnar fyrir áhrifum breytilegrar borholuvíddar. Rétt er að taka fram að við mælingarnar, sem lýst er hér að neðan, má hiti í holunni ekki fara mikið upp fyrir 120°C.

*Tafla V-5 Yfirlit yfir jarðlagamælingar og tilganginn með þeim*

Mæling	Hvað mælt	Tilgangur
Vídd	Þvermál holu (vídd og form?)	-Leiðréttar jarðlagamælingar fyrir áhrifum breytilegrar holuvíddar -Ákvarða lagmót
Viðnám Sjálfspenna	Sýndarrafviðnám bergsins umhverfis holuna	-Ákvarða eðlisviðnám bergsins umhverfis holuna -Greina jarðlagaskipan, t.d. lagmót einstakra jarðlaga eða skiptingu jarðlagastaflans í syrpur -Bera saman við jarðlagagreiningar skv. svarfi -Bera saman við túlkun viðnámsmælinga á yfirborði -Tengja jarðmyndanir milli borholna
Nifteindir (NN)	Dreifing nifteinda í bergen umhverfis borholuna.	-Mæla rúmmál vatnsfylltra holrýma í bergen (poruhluta) -Greina jarðlagaskipan, t.d. lagmót einstakra jarðlaga eða skiptingu jarðlagastaflans í syrpur, og bera saman við jarðlagagreiningu skv. svarfi -Tengja jarðmyndanir milli borholna
Gammageislun	Náttúruleg gammageislun bergsins umhverfis borholuna. Gefur upplýsingar um efnasamsetningu bergsins.	-Ákvarða magn kísilsýru í bergen -Greina á milli basískra, súrra og ísúrra jarðlaga á fljótvirkan hátt -Tengja jarðmyndanir milli borholna

Víddarmælingar eru framkvæmdar þegar komið er í fóðringardýpin. Í mælitækinu er rafmótör sem spennir þrjá eða fjóra arma út í veggi borholunnar og nema þeir vídd hennar. Þegar tækið er dregið upp sendir það upplýsingar um víddina til yfirborðs. Víddarmælingar eru gerðar til að geta áætlað steypumagnið sem þarf til að steypa fóðringuna fasta og til að ákvarða staðsetningu miðjustilla á fóðringunni. Þær eru einnig notaðar til að leiðréttar jarðlagamælingarnar fyrir víddaráhrifum. Stundum veita þær upplýsingar um jarðlagamót og oft eru vatnsæðar í skápum.

*Viðnám* Viðnámsmælingar nema rafviðnám bergsins umhverfis borholuna, en það er háð eðlisviðnámi steindanna í bergen, poruhluta bergsins, lögur poranna ásamt seltu og hita vökvans í þeim og í borholunni sjálfri. Á nemanum, sem rennt er niður, er straumskaut sem sendir frá sér straum til stálkápu mælikapalsins. Á nemanum eru einnig tvö spennuskaut (í 16" og 64" fjarlægð frá straumskautinu). Spennan milli skauts á nemanum og skauts á yfirborði jarðar er notuð ásamt straumnum til að reikna sýndarviðnám bergsins. Viðnámsmælingarnar greina mismunandi jarðlög og gagnast við samanburð við viðnámsmælingar á yfirborði.

*Sjálfspenna* Með því að mæla spennumun milli annars spennuskautsins á nemanum og spennuskautsins á yfirborði þegar enginn straumur er sendur um straumskautið fæst svokölluð sjálfspenna bergsins, sem endurspeglar náttúrulegan spennumun milli mismunandi jarðlaga. Mælingar á sjálfspennu eru hefðbundin aðferð við greiningu setлага og eru notaðar til að greina á milli leirsteins og sandsteins og áætla magn leirsteins í setlögum.

*Nifteindamælingar* nema heildarvatnsinnihald bergsins. Það svarar nánast til vatnsins í holrýmum þess (poruhlutans), en lítt hluti er þó bundinn í steindum. Mælingarnar fara þannig fram að nifteindagjafi í tækinu sendir frá sér nifteindir, sem síðan rekast á atómkjarnana í bergen. Þær hægja mest á sér í árekstrum við kjarna af svipuðum þunga og þeirra eigin (aðallega vetriskjarna) og ná þannig svokölluðu varmajafnvægi. Nemi í nifteindatækinu telur síðan þessar hægfara nifteindir og er fjöldi þeirra í réttu hlutfalli við heildarvatnsinnihald bergsins. Þannig má greina mismunandi jarðlög og meta poruhlutann.

*Gammageislun* Náttúruleg gammageislun bergs stafar frá geislavirkum samsætum, aðallega kalíum, úraníum og þóríum. Þessar samsætur eru í mjög litlu magni í bergen, en geislunin frá þeim er þó mælanleg. Samband er milli kísilsýruinnihalds íslensks bergs og náttúrulegrar gammageislunar þess og má í mörgum tilvikum nota þetta samband til að meta styrk kísilsýru í bergen út frá mælingum á gammageislun. Súr berglög eru auðug af kísilsýru og koma fram sem toppar í gammamælingum. Slík lög eru oft notuð til að tengja jarðmyndanir milli borholna.

Komið hefur í ljós að línulegt samband er milli kísilsýruinnihalds íslensks storkubergs og náttúrulegrar gammageislunar þess (Stefansson o.fl., 1982a). Sambandinu má lýsa með jöfnunni  $I = (3.6 \pm 2) [\text{SiO}_2] - (144 \pm 11)$ , þar sem  $I$  er styrkur geislunarinnar í API-einingum og  $[\text{SiO}_2]$  er styrkur kísilsýru í bergen. Á grundvelli jöfnunnar má ákvárdar styrk kísilsýru í bergen út frá mældum styrk náttúrulegrar gammageislunar í holunni ef mælingarnar eru nægilega nákvæmar. Reynslan sýnir að með þessari aðferð má auðveldlega greina milli basalts, sem inniheldur u.p.b. 45-52 % kísilsýru, og súrs storkubergs eins og líparíts með um 70 % kísilsýru og eru súr berglög oft notuð til að tengja jarðmyndanir milli borholna. Erfiðara getur verið að treysta á mælingarnar þegar munurinn í styrk gammageislunar er minni, því komið hefur í ljós að millilög úr seti og jarðvegi íhraunlagastaflanum, og í sumum tilfellum móbergsmýndanir, sýna hærri gammageislun en basalt án þess að ástæða sé til þess að ætla að súrt storkuberg sé til staðar. Sennilegt er talið að þetta stafi af háum styrk kalíums í ummyndunarsteindum í þessum jarðlögum.

## **VIÐAUKI 6**

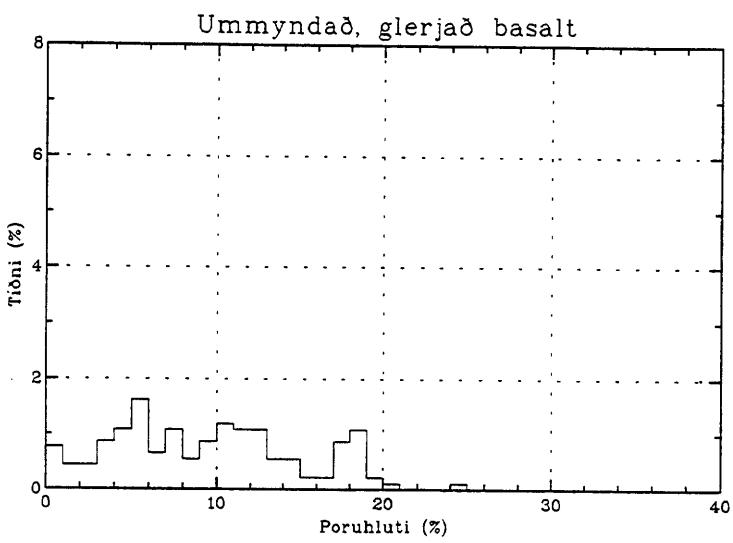
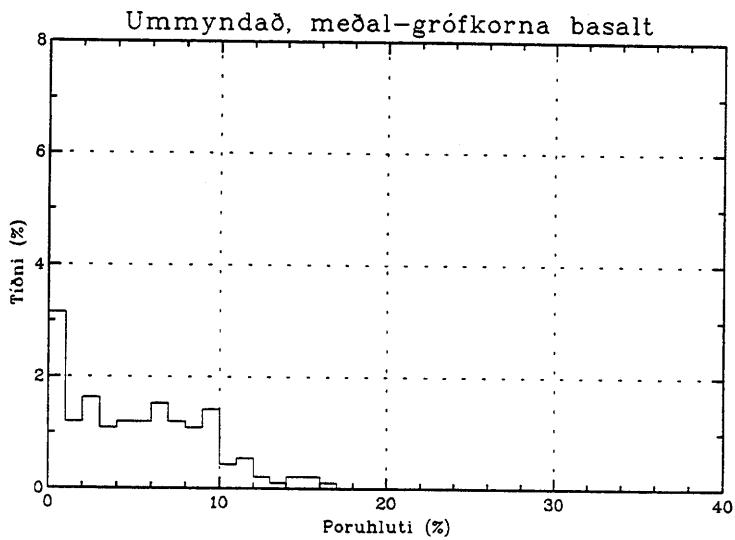
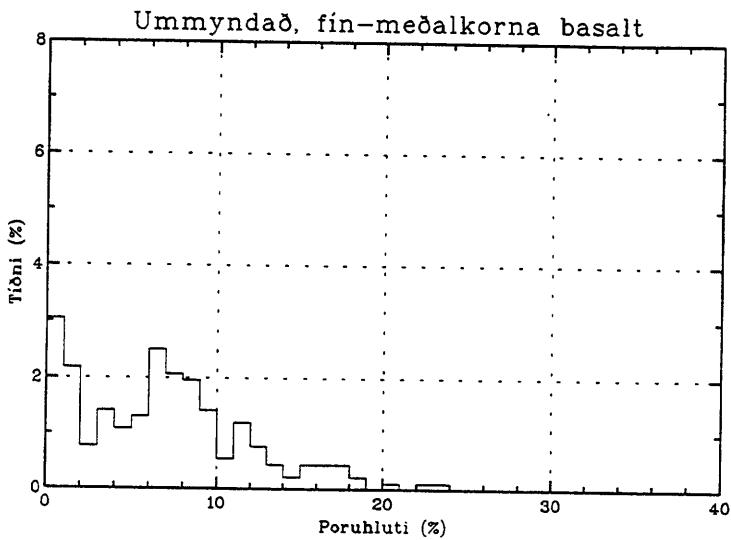
### **DREIFING PORUHLUTA, 64" VIÐNÁMS OG GAMMAGEISLUNAR MISMUNANDI BERGFLOKKA Í VINNSLUHLUTA HOLU SJ-17**

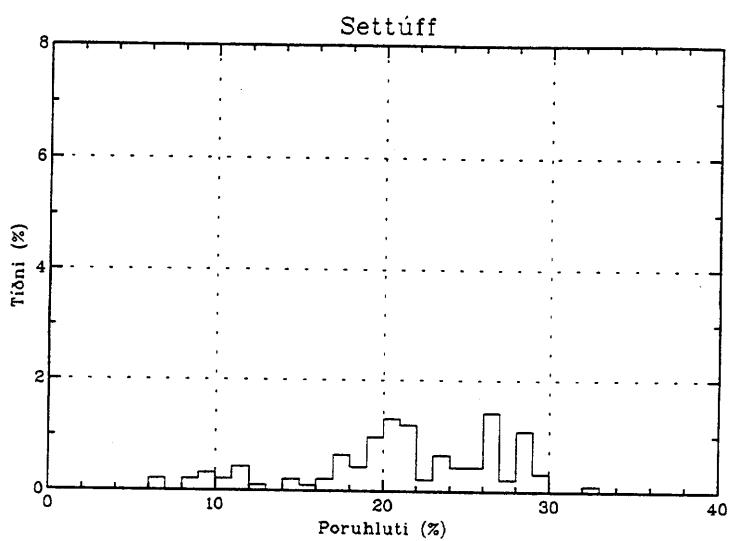
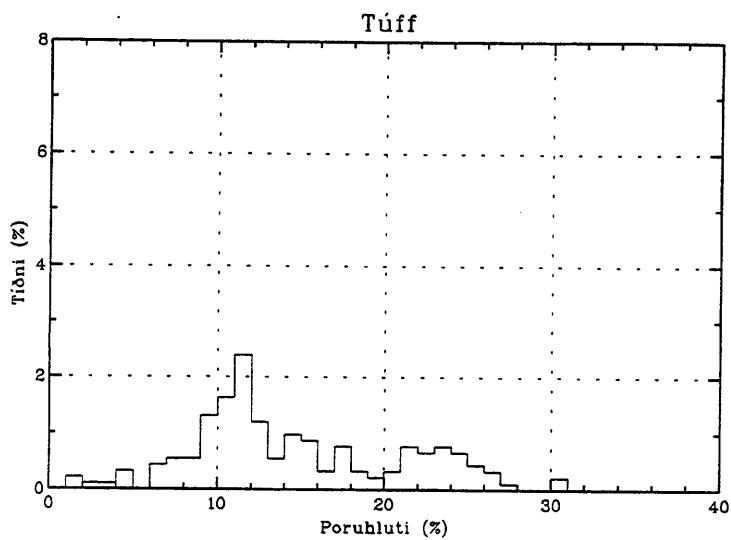
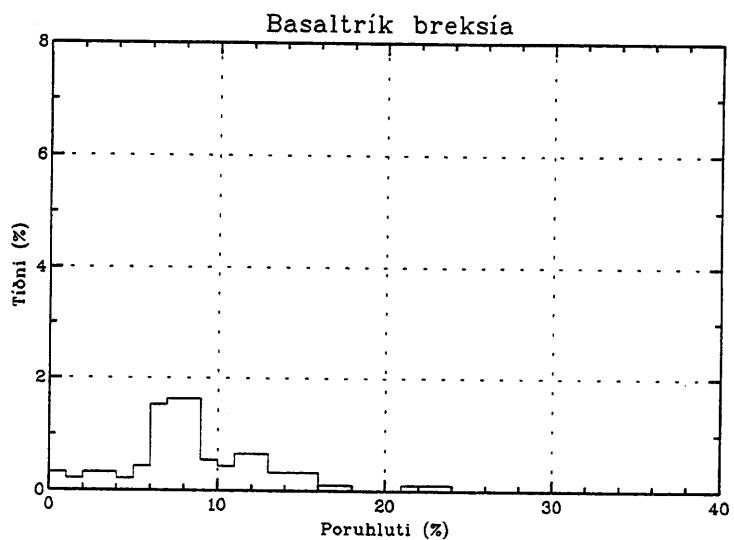
Tölfræðilegar dreifingar poruhluta, 64" viðnáms og gammageislunar mismunandi bergflokka í vinnsluhluta holu SJ-17. Fyrir hverja tegund mælingar, er summa dreifinganna fyrir alla bergflokka jöfn heildardreifingunni á mynd 8.

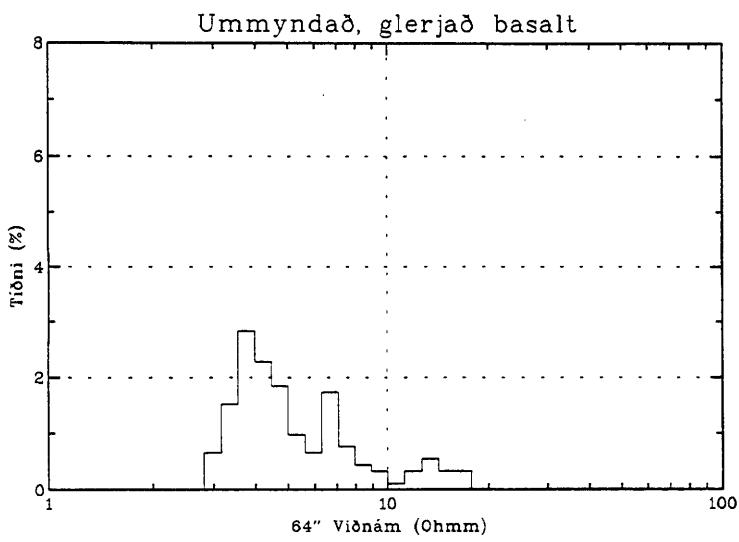
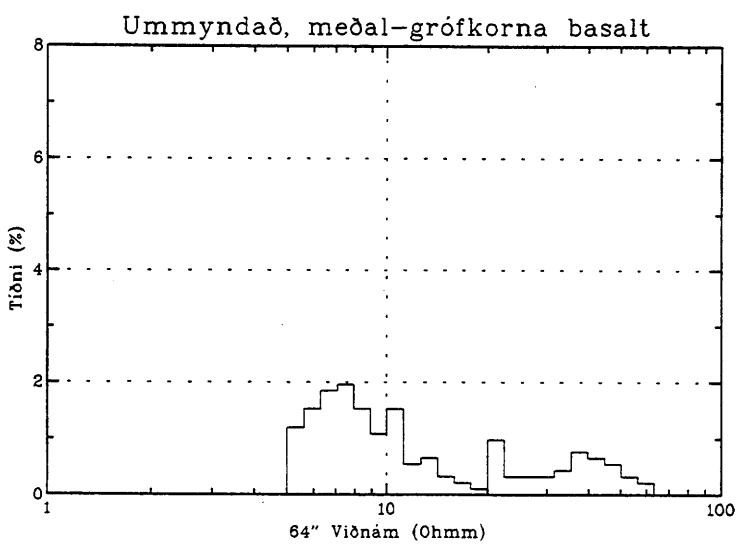
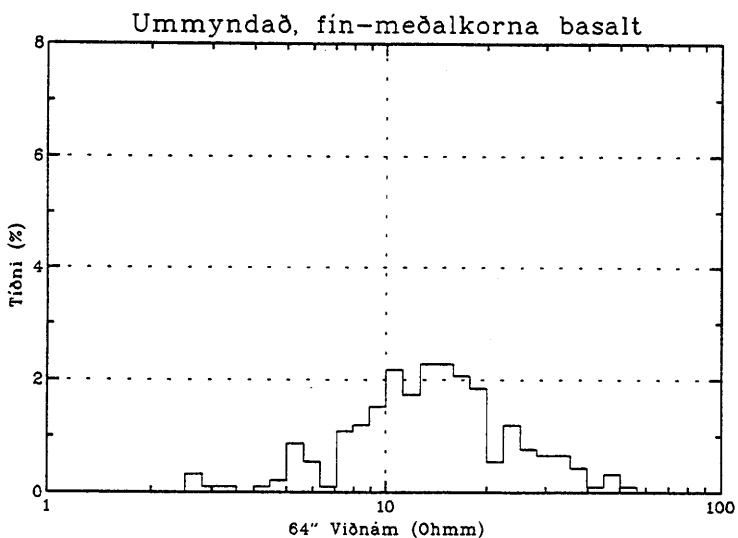
**Poruhluti (6 myndir)**

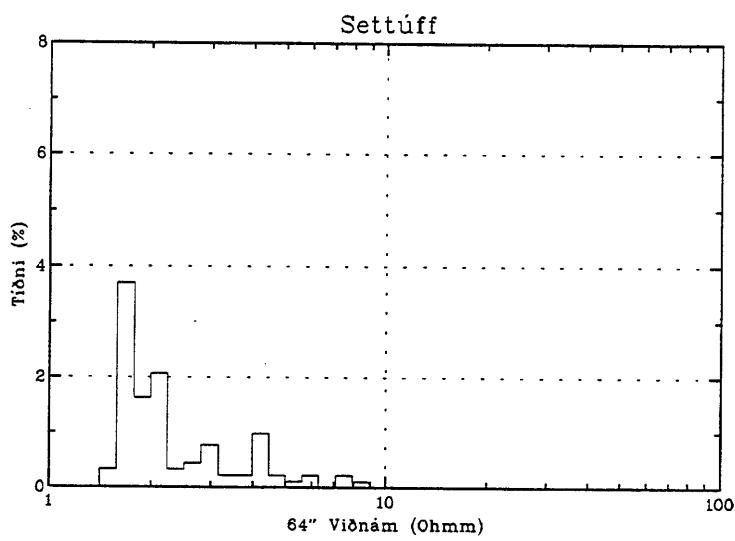
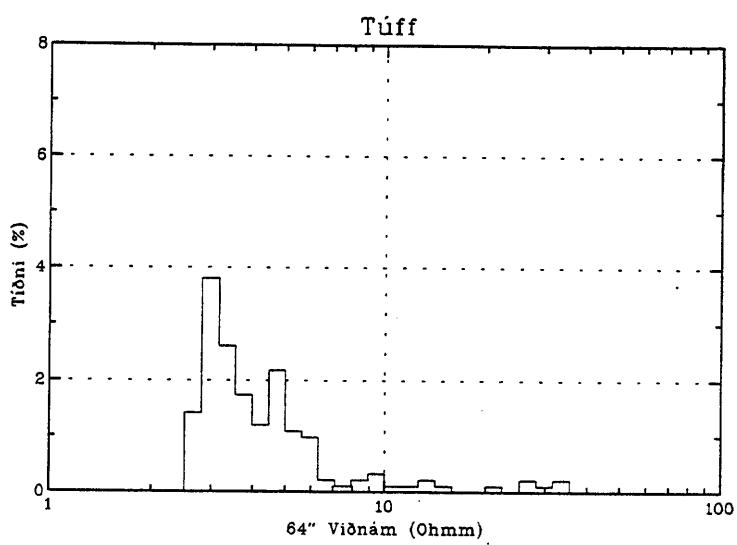
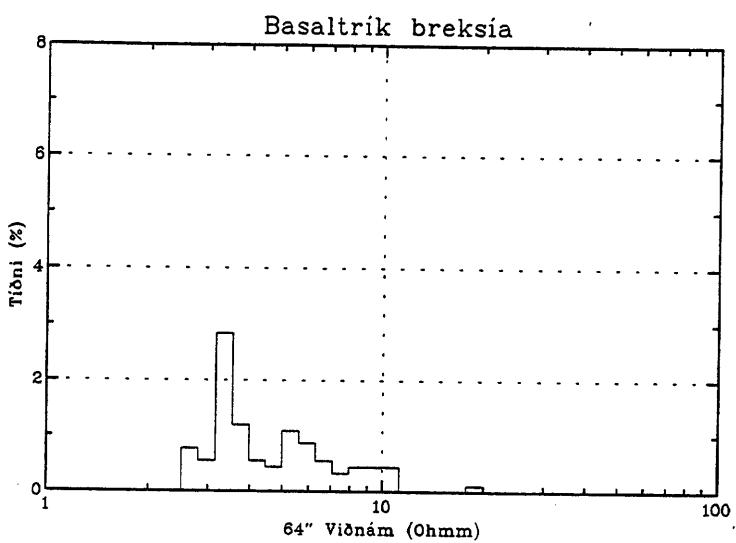
**64" viðnám (6 myndir)**

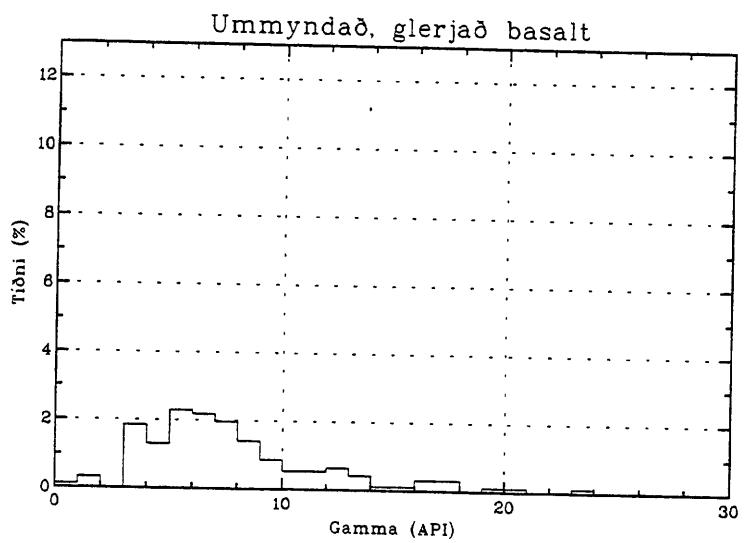
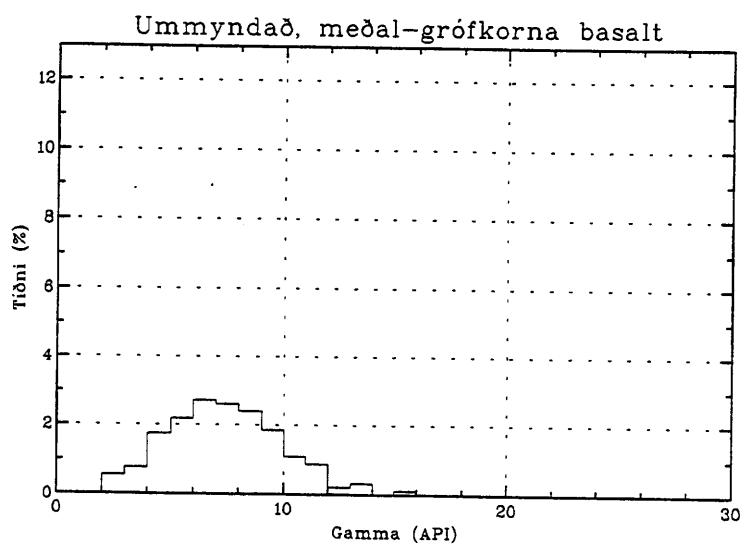
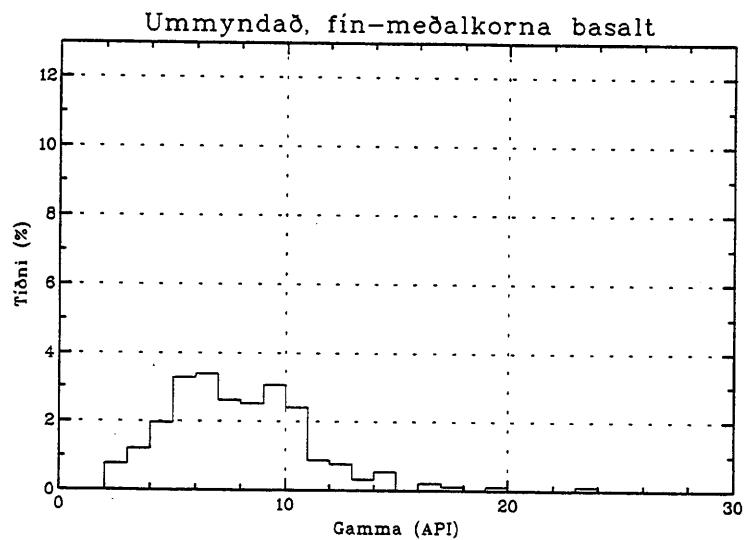
**Náttúruleg gammageislun (6 myndir)**

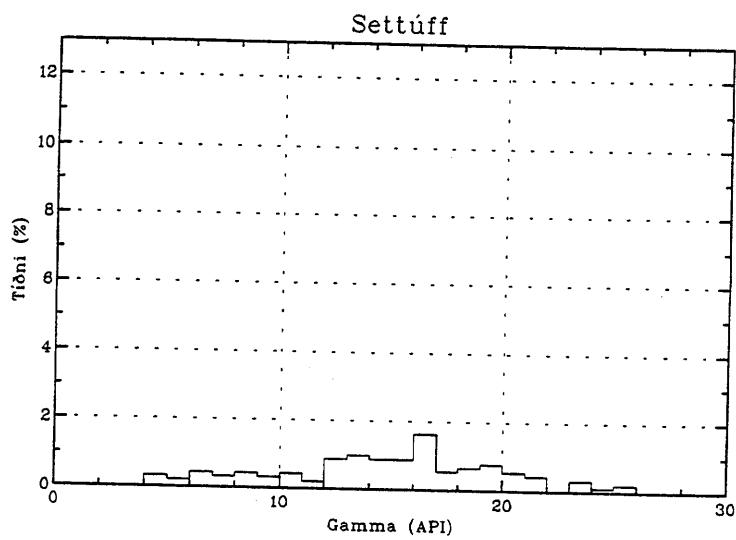
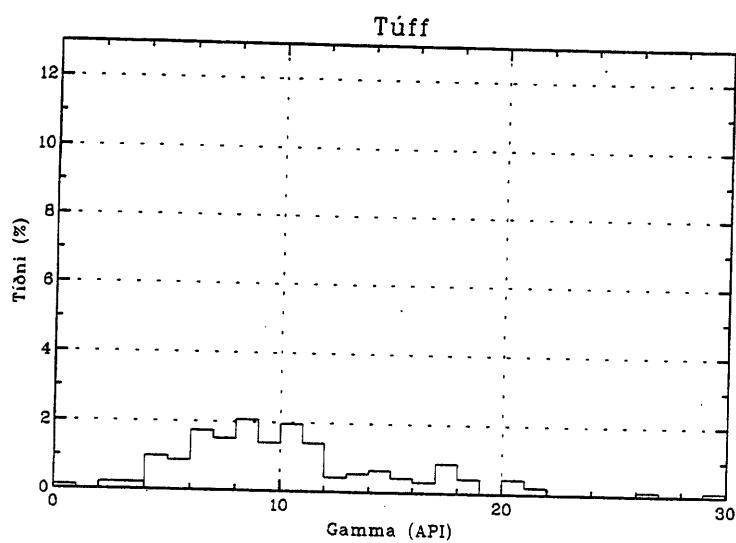
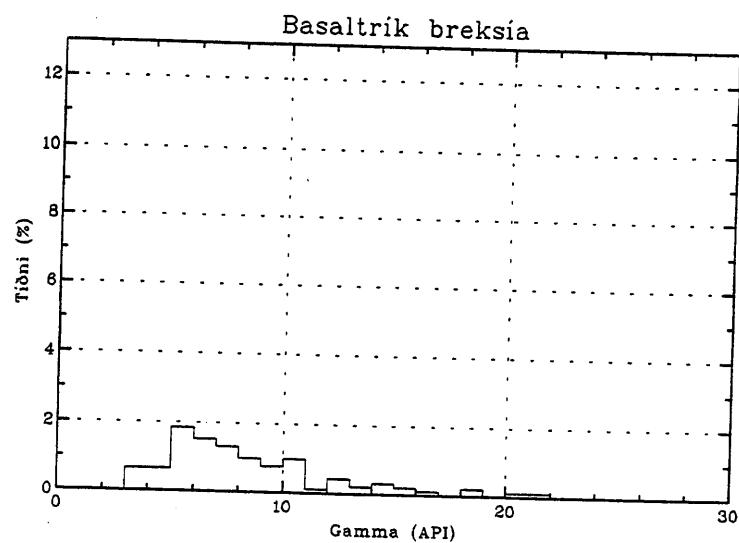














## VIÐAUKI 7

### EÐLISVIÐNÁM BERGS Á ÍSLENSKUM JARDHITASVÆÐUM

Eðlisviðnám bergs er mikilvæg stærð í rannsóknum á íslenskum jarðhitasvæðum. Lágt viðnám í jarðlögum einkennir svæðin og hefur yfirborðsmælingum á viðnámi því mikið verið beitt bæði við jarðhitaleit og kortlagningu svæðanna. Sú stærð sem ræður mestu um viðnám bergs er poruhlutinn og lækkar viðnámið hratt með vaxandi poruhluta. Orsaka lágvíðnámsfrávikanna sem einkenna jarðhitasvæðin virðist þó ekki að leita í háum poruhluta heldur í háu hita- og seltustigi jarðhitavökvars sem fyllir porur bergsins, ásamt því að vegna jarðhitaummyndunar er óvenju mikið um vel leiðandi steindir í bergen, sérstaklega ákveðnar leirsteindir. Lögun og tenging poranna sem jarðhitavökvin fyllir hefur líka þýðingu. Til dæmis leiðir sprungið berg rafstraum betur en ósprungið berg.

Einmitt vegna þess að viðnámið er háð þáttum eins og poruhluta, hitastigi, sprungum og ummyndum, sem tengjast ástandi og vinnsluhæfni jarðhitasvæða, hafa löngum verið uppi vonir um að geta beitt viðnámsmælingum, bæði á yfirborði og í borholum, til þess að meta þessa þætti. Áhrif þeirra á viðnám bergs hafa því mikið verið rannsökuð. Komið hefur á daginn að jafna Archie hefur viðtækt gildi:

$$R=R_w a \phi^{-m}$$

R	heildarviðnám
$R_w$	viðnám poruvökvars
a	fasti, yfirleitt nálægt 1
m	stuðull háður lögun porurýmisins
$\phi$	poruhluti

Í jöfnunni koma áhrif hitastigs og seltu jarðhitavökvars fram í  $R_w$ , en stuðullinn m tengist hins vegar lögun poranna. Í ósprungnu storkubergi (eða í storkubergi með lokuðum sprungum) er m ca. 2, en nálgast 1 ef opnar sprungur eru í bergen.

Jafna Archie er þó langt frá því að vera algild. Gildissvið hennar í storkubergi er háð tveimur mikilvægum takmörkunum. Í fyrsta lagi, á hún ekki við ef verulegur hluti rafstraumsins fer með veggjum poranna í stað þess að berast um poruvökvan sjálfan. Í lítið ummynduðu storkubergi fer að bera á þessari takmörkun þegar viðnám poruvökvars fer yfir 1-2 Ohmm. Þessi mörk geta þó legið töluvert neðar ef leiðandi leirsteindir hafa fallið út í porunum og klæða þær að innan eða hafa myndast í bergen umhverfis porurnar vegna ummyndunar. Í öðru lagi, hefur jafnan takmarkað gildi í bergi með opnum sprungum. Þar er samband viðnáms og poruhluta miklu flóknara, því það ræðst einnig af hlutfalli sprungna í heildarporuhlutanum og lögun sprungunetsins. Þó er það svo, eins og nefnt var að ofan, að ef verulegur hluti porurýmisins eru sprungur, nálgast stuðullinn m gildið 1.

Jafna Archie virðist hafa takmarkað gildi fyrir íslenskt berg. Í ljósi þess sem sagt var hér að ofan, kemur þetta ekki á óvart, því á Íslandi er algengt að viðnám poruvökvars sé hærra en 1-2 Ohmm. Bergið er þar að auki töluvert sprungið og leiðandi jarðhitasteindir algengar bæði innan á veggjum poranna og í bergen umhverfis þær. Til þess að lýsa rafleiðni í íslensku bergi hefur því reynst nauðsynlegt að þróa aðrar og betri jöfnur, sem taka tillit til sprungna og yfirborðsleiðni (Stefansson o.fl., 1982b; Ólafur G. Flóvenz og o.fl., 1985). Rannsóknirnar sem þar lágu að baki hafa þegar aukið verulega skilning okkar á rafleiðni efsta hluta jarðskorunnar á Íslandi og á íslensku jarðhitasvæðunum.

Utan háhitasvæðanna má skipta efstu 1-2 km íslenskrar jarðskorpu, þar sem hún er órofin, í þrjú meginbelti eftir rafleiðnieiginleikum (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1985). Í óummynduðu bergi ofan vatnsborðs er viðnámið mjög hátt ( $10^4$  -  $10^5$  Ohmm), því þótt bergið sé gropið og sprungið, er hitastig lágt, lítil selta í poruvökvanum og porurnar ekki fullmettaðar vökvánunum. Við þessar aðstæður er lítil sem engin yfirborðsleiðni og viðnámið ræðst af vökvamettuninni. Þar fyrir neðan tekur við nokkur hundruð metra þykkt belti þar sem viðnámið er um stærðargráðu lægra og stjórnast af samspili yfirborðs og vökvaleiðni. Meginástæða viðnámslækkunarinnar er sú að að porur bergsins eru fullmettaðar vökva en einnig kemur til aukin yfirborðsleiðni vegna vaxandi slikju lághitasteinda á veggjum sprungna og tengdra pora í bergen. Slikjan er þó enn svo slitrótt að mikill hluti rafstraumsins fer um poruvökvan sjálfan. Neðan þessa beltis fara lághitasteindirnar að mynda samfellda kápu innan á porum og sprungum og ræðst viðnámið þá að mestu leyti af yfirborðsleiðni. Viðnámið lækkar þá fyrst hratt niður í um 40-50 Ohmm, en þar fyrir neðan fer það vaxandi á ný fyrir áhrif þess að sprungur taka að lokast vegna útfellinga.

Sérstakar aðstæður ríkja á háhitasvæðum landsins þar sem bæði hiti og ummyndun vaxa hratt með dýpi. Hitastig og magn ummyndunar getur þar orðið hærra á nokkur hundruð metra dýpi en finna má neðan 2 km dýpis utan svæðanna. Viðnám á háhitasvæðunum er talið stjórnast af yfirborðsleiðni, því vegna þess hve ummyndun bergsins er mikil hafa sjálfar frumsteindir þess milli sprungna og glufa í bergen ummyndast í misvel leiðandi jarðhitasteindir. Þetta ásamt háu hitastigi veldur því að viðnámið getur fallið niður í 1-5 Ohmm. Kortlagning viðnáms á háhitasvæðum sýnir hins vegar að djúpt í miðju svæðanna tekur viðnámið að vaxa á ný, þannig að lágviðnámslögin myndi eins konar kápu utan um kjarna háviðnáms. Skýringarinnar á þessu er sennilega að leita í breytingum á leiðni ríkjandi ummyndunarsteinda. Við  $200^{\circ}\text{C}$  eru vel leiðandi leirsteindir ríkjandi en á bilinu  $200$ - $250^{\circ}\text{C}$  tekur við svokallaður blandlagsleir, sem ekki leiðir rafstraum eins vel. Þegar hitastigið fer yfir  $250^{\circ}\text{C}$ , hverfa leirsteindirnar og klórít og epídót verða ráðandi ummyndunarsteindir. Þar sem þær eru torleiðandi, ætti yfirborðsleiðni að minnka verulega.