



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

ÖLKELDUHÁLS, HOLA ÖJ-1

**Borun, rannsóknir og
vinnslueiginleikar**

Lokaskýrsla

**Benedikt Steingrímsson, OS
Helga Tulinius, OS
Hjalti Franzson, OS
Ómar Sigurðsson, OS
Einar Gunnlaugsson, HR
Gestur Gíslason, HR**

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

1997

OS-97019



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 018

Benedikt Steingrímsson OS
Helga Tulinius OS
Hjalti Franzson OS
Ómar Sigurðsson OS
Einar Gunnlaugsson HR
Gestur Gíslason HR

ÖLKELDUHÁLS, HOLA ÖJ-1

Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar

Lokaskýrsla

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-97019

Desember 1997

ISBN 9979-827-92-0



Skýrsla nr.: OS-97019	Dags.: Desember 1997	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: ÖLKELDUHÁLS, HOLA ÖJ-1 Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar Lokaskýrsla	Upplag: 50	
	Fjöldi síðna: 190	
Höfundar: Benedikt Steingrímsson (OS), Helga Tulinius (OS), Hjalti Franzson (OS), Ómar Sigurðsson (OS), Einar Gunnlaugsson (HR) og Gestur Gíslason (HR)	Verkefnisstjóri: Benedikt Steingrímsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Gagnaskýrsla, heildarsamantekt	Verknúmer: 630 018	
Unnið fyrir: Hitaveitu Reykjavíkur		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Í skýrslunni er fjallað um borun og rannsóknir á fyrstu rannsóknarholunni (ÖJ-1) á Ölkelduháls- svæði. Holan er fyrir miðjum Þverárdal, mitt á milli Kýrdalshnjúka og Ölkelduhjúks, í vesturjaðri sprungustykkis Hrómundartinds eldstöðvakerfisins. Borun holunnar, með jarðbornum Jötni, hófst í byrjun desember 1994 og lauk 22. janúar 1995. Dýpi holunnar er 1035 m. Alls tók verkið 52 daga. Greint er frá rannsóknnum sem gerðar voru á holunni í borun, í upphitun eftir borun og blásturs- prófun. Helstu niðurstöður eru þær að móberg er ráðandi í jarðlagastaflanum og er honum skipt upp í 13 upphleðslueiningar. Meðalporuhluti jarðlaga er 11% og kísilsýrustyrkur um 44%. HOLA ÖJ-1 sker þrjú vatnskerfi með mismun. hita og þrýstingi. Neðan upb. 150 m dýpis er jarðhitakerfi, dæmigert hræringskerfi, með vatnshita um 200°C. Ummyndun berglaga hefur orðið við hærri hita en nú ríkir við holuna. Helstu vatnsæðar eru á 825, 950, 957 og 1010 m dýpi, en alls eru vísbend- ingar um 22 vatnsæðar í holunni. Rennsli í blæstri var um 30 kg/s við 4 bar holutoppþrýsting, en það samsvarar um 27 MW afli í hrávarma. Holan er frekar lágþrýst, tæp 7 bar við lokun. Jafnvægis- ástand ríkir milli bergs og vatns í jarðhitakerfinu í nágrenni holunnar við 210-225°C. Vinnslu- eiginleikar vökvans eru góðir. Áfangaskýrslur um verkið eru birtar í viðaukum.		
Lykilorð: Háhitasvæði, jarðhitakerfi, rannsóknarhola, jarðlög, ummyndun, efnasamsetning, afl, afköst	ISBN-númer: 9979-827-92-0	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: BS, EG, HF, PI	

ÁGRIP

Hitaveita Reykjavíkur keypti á árinu 1986 jörðina Ölfusvatn í Grafningi. Þar með eignaðist HR að mestu þann hluta jarðhitasvæðisins í Hengli, sem kenndur er við Ölkelduháls. Hitaveitan hefur æ síðan unnið markvisst að rannsóknum á svæðinu til að meta jarðhitann og vinnslueiginleika hans. Í fyrstu voru yfirborðrannsóknir fyrirferðamestar, en á árinu 1993 var hafist handa við undirbúning fyrstu rannsóknarholunnar við Ölkelduháls, holu ÖJ-1. Eftirfarandi skýrsla fjallar um rannsóknir sem gerðar voru á holunni í borun, í upphitun eftir borun og blástursprófun. Áfangaskýrslur sem komið hafa út um verkið eru birtar í viðaukum við skýrsluna.

Hola ÖJ-1 er á Ölkelduhálssvæði fyrir miðjum Þverárdal, mitt á milli Kýrdalshnjúka og Ölkelduhnjúks. Hún er í vesturjaðri sprungustykkis eldstöðvakerfis sem kennt er við Hrómundartind og er hún innan þess svæðis, sem afmarkast af lægstu rafviðnámi og þar sem hátt viðnám kemur fram undir lágviðnáminu. Jötunn hóf borun holunnar í byrjun desember 1994 og lauk verkinu á 1035 m dýpi þann 22. janúar 1995. Verkið tók alls 52 verkdaga.

Móberg er ráðandi í jarðlagastaflanum. Honum hefur verið skipt upp í 13 upphleðslueiningar niður á 1035 m dýpi og eru nú þeirra úr móbergi, en aðeins ein hraunlagamyndun. Nokkur óvissa er reyndar í jarðlagagreiningunni vegna skoltaps í borun. Þannig fékkst ekkert svarf úr holunni neðan 820 m dýpis, og var stuðst við jarðlagamælingar til að áætla hvaða jarðlög væru þar að finna. Í efstu 124 metrum staflans er Bitrumyndun sem er ein aðalyfirborðsmyndunin á Ölkelduhálssvæðinu. Hún er aðallega gerð úr bólstrabergi. Samkvæmt yfirborðsathugunum er aldur Bitrunnar frá síðjökultíma eða u.þ.b. 14 þúsund ára. Hraunlög er einkum að finna á 600-800 m dýpi í holunni og líkjast þau fremur þóleífti en ólivínþóleífti. Innskotaberg er ekki áberandi í staflanum, en nú þunn lög af basaltinnskotum eru greind, flest aðeins tveir metrar á þykkt, en þykkasta innskotið er á 679-703 m dýpi. Það er úr ummynduðu basalti. Ekkert súrt berg greinist í holunni. Rafviðnám jarðlaganna er hátt í Bitrumynduninni, en lágt (< 100 ohmm) þar undir. Poruhluti jarðlaganna er að meðaltali um 11% og kísilsýrustyrkur um 44%. Það síðastnefnda staðfestir að basalt er ríkjandi í berglagastaflanum. Samanburður á jarðlagamælingum og mælingum í rannsóknarstofu á borkjarna sem tekinn var á tæplega 800 m dýpi, sýnir mjög svipuð gildi á poruhluta, en hins vegar mælist mun hærra rafviðnám á kjarna-bútnum, en mælist í holunni.

Hola ÖJ-1 sker þrjú vatnskerfi með mismunandi hita og þrýstingi. Í efstu 50 m staflans er kalt grunnvatnskerfi. Híti þess er um 7 °C. Þá tekur við um 30 °C kerfi og nær það niður úr Bitrumynduninni í u.þ.b. 150 m dýpi. Þar er komið í jarðhitakerfið, sem er dæmigert hræringarkerfi með vatnshita alveg um 200 °C.

Ummyndun berglaga er ekki í samræmi við ríkjandi berghita. Í efstu 150 metrunum er zeólftaummyndun ríkjandi, en komið er í klórítbelti á um 250 m dýpi og neðan 300 m dýpis er klórít-epídót ríkjandi ummyndunarsteind. Það er talið merki um myndunarhita yfir 240 °C. Ráðandi ummyndun hefur því orðið til þegar jarðhitakerfið var mun heitara en það er nú.

Helstu vinnsluæðar í ÖJ-1 eru á 825, 950, 957 og 1010 m dýpi, en alls fundust vísbendingar um 22 vatnsæðar í holunni. Prófanir á holunni í lok borunar bentu til mjög góðrar vatnsleiðni vinnsluæða, en ekki tókst að meta lektina nákvæmar fyrr en eftir blástur. Þrýstijöfnunin þá benti til öflugs sprungustreymis nærri holunni og var lektin metinn $kh/u = 22,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$ sem er um tífalt hærra lekt en í Nesjavallaholum, sem þó teljast vel vatnsleiðandi. Rennsli í blæstri var um 30 kg/s við 4 bar holutoppþrýsting. Þetta samsvarar að affli um 27 MW í hrávarma. Holan er frekar lágþrýst vegna hins lága innstreymishita og fór þrýstingur

við lokun holunnar hæst í tæp 7 bar.

Efnareikningar sýna að efnafræðilegt jafnvægisástand ríkir milli bergs og vatns í jarðhitakerfinu í nágrenni holunnar við 210-225 °C sem er nokkru hærri hiti en mælist í holunni. Heildarstyrkur gass í gufu við 100°C er lágur (0,4%) og er kolsýra um 90% og brennsteinsvetni um 9% af gasinu. Vinnslueiginleikar vökvans eru góðir og er ekki búist við útfellingum í holunni.

Eldri athuganir á samsetningu gufu frá hverum og gufuaugum á Ölkelduhálssvæðinu bentu til þess að um 300 °C væri að vænta undir svæðinu. Þetta er um hundrað gráðum hærri hiti en mælist í holu ÖJ-1. Ósamræmið er talið skýrast af því að hola ÖJ-1 vinni vatn úr sprungu þar sem soðið og afgasað vatn streymi niður í jarðhitakerfið. Fyrri niðurstöður um að á Ölkelduhálsi sé að finna 300 °C jarðhitakerfi standa því óhaggaðar.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	3
1. INNGANGUR	9
2. STAÐSETNING HOLU ÖJ-1	10
3. BORSAGA	15
4. JARÐLÖG	19
4.1 Jarðlagaskipan	19
4.2 Innskot	29
4.3 Jarðlagamælingar	29
4.4 Kjarni	31
5. UMMYNDUN	38
5.1 Greiningaaðferðir og tilgangur	38
5.2 Bergummyndun	40
5.3 Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti	40
5.4 Tímavensl útfellinga	42
5.5 Vökvabólur	47
6. EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS	49
6.1 Staðsetning vatnsæða	49
6.2 Vatnsleiðni	53
6.3 Þrýstingur á vatnsæðum	55
6.4 Berghiti	57
7. AFL OG AFKÖST	61
7.1 Upphitun og upphleyping	61
7.2 Mælingar á affi og afköstum	61
8. EFNASAMSETNING JARÐHITAVÖKVA	64
8.1 Almenn	64
8.2 Efnasamsetning og breyting með tíma	64
8.3 Mat á hita	65
8.4 Samsætumælingar	66
8.5 Vinnslueiginleikar jarðhitavökvans	68
9. JARÐHITAKERFIÐ VIÐ ÖLKELDUHÁLS	71
9.1 Jarðlagastafinn	71
9.2 Jarðhitavirkni á Ölkelduhálsi	72
9.3 Hiti í jarðhitakerfinu	72
9.4 Samanburður á efnasamsetningu borholuvökva og hveragufu	72
9.5 Lokaorð	74
10. HEIMILDIR	76
VIÐAUKI V-1 YFIRLIT UM BORHOLUMÆLINGAR TIL ÁRSLOKA 1995 Jarðlagasnið og mælingar (frumgögn)	77
VIÐAUKI V-2 ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1, 1. ÁFANGI Höggborun fyrir 13 3/8" fóðringu í 309 m dýpi	89
VIÐAUKI V-3 ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1, 2. ÁFANGI Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 309 m í 781 m dýpi	111
VIÐAUKI V-4 ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1, 3. ÁFANGI Borun vinnsluhluta frá 781 m í 1035 m	141
VIÐAUKI V-5 ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1, 4. ÁFANGI Upphitun, upphleyping, blástur	169

TÖFLUSKRÁ

1. Þunnsneiðar úr svarfi og kjörnum úr holu ÖJ-1	19
2. Meðaltöl jarðlagamælinga í mismunandi jarðlögum í ÖJ-1	30
3. Mælingar á poruhluta og rafleiðni í kjarna	31
4. Þunnsneiðar og röntgengreiningar í ÖJ-1	38
5. Jarðfræðileg tengsl vatnsæða í ÖJ-1	54
6. Ölkelduháls hola ÖJ-1. Áætlaður berghiti og þrýstingur	57
7. Loftdæling á holu ÖJ-1 í júlí til ágúst 1995	61
8. Aflmælingar á holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði í ágúst og september 1995	61
9. Yfirlit yfir sýni safnað úr holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	64
10. Efnasamsetning djúpvatns, vermi vatns 843 kJ/kg	64
11. Útreiknaður efnahiti í holu ÖJ-1 á Ölkelduhálsi	66
12. Niðurstöður samsætumælinga í holu ÖJ-1	67
13. Gas í gufu við 100°C og samsetning þess	68
14. Ópalmettun og fjölliðunarmörk fyrir sýni úr ÖJ-1	69

MYNDASKRÁ

1. Staðsetning ÖJ-1 á Ölkelduhálsi	11
2. Austur-vestur viðnámsnið yfir Ölkelduhálssvæðið	13
3. Útreiknaður kolsýruhiti á Hengilssvæði	14
4. Framvinda borunar holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	16
5. Frágangur holu ÖJ-1	17
6. Hola ÖJ-1. Einfaldað jarðlagasnið og mælingar og ummyndunarbelti	20
7. Hola ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar	23-28
8. Tíðnidreifing í kísilsýru í ummynduðu basalti, túffi, fersku basalti, breksú og öllu bergi í ÖJ-1	33
9. Tíðnidreifing poruhluta í túffi, ummynduðu basalti, breksú og öllu bergi	34
10. Tíðnidreifing 16" viðnáms í túffi, fersku og ummynduðu basalti, breksú og öllu bergi	35-36
11. Meðalgildi poruhluta og viðnám fyrir jarðlög við holu ÖJ-1	37
12. Samanburður á virkum og mældum poruhluta í kjarnasýnum skv. nifteindamælingu	37
13. Samanburður á virkum og mældum poruhluta í kjarnas. skv. nifteindamælingu, síuð mæling	37
14. Samanburður á viðnámi kjarnasýna og 64" viðnámsferils	37
15. Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti ÖJ-1	39
16. Dreifing ummyndunarsteinda í ÖJ-1	43
17. Fjöldi steinda í holrými holu ÖJ-1	44
18. Röðun steinda í ÖJ-1 yfir hvert 100 m dýptarbil	46
19. "Fjöldi" sprungufyllinga í þunnsneiðum	47
20. Staðsetning vatnsæða í holu ÖJ-1	50
21. Magn pýríts og epidóts í holu ÖJ-1	52
22. Vatnsborðslækkun 11. janúar 1995 í ÖJ-1	55
23. Prepadæling 21. janúar 1995 í ÖJ-1	56
24. Áætlaður upphafsþrýstingur í holu ÖJ-1	58
25. Áætlaður berghiti samkvæmt hitamælingum í ÖJ-1	59
26. Ummyndunarhiti skv. vökvabólumælingum og berghiti	60
27. Aflmælingar á holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði í ágúst og september 1995	62
28. Samanburður gagna frá holu ÖJ1 á Ölkelduhálssvæði og holu KhG við Kolviðarhól við aflferla lágvermihola á Nesjavöllum	63

29. Breyting á styrk nokkurra efna með tíma	65
30. Efnajafnvægi fyrir holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	67
31. Niðurstöður samsætumælinga í holu ÖJ-1 samanborið við Nesjavölli og Kolviðarhól	67
32. Uppleysanleiki kísils sem fall af hita	69
33. Uppleysanleiki kalsíts sem fall af hita og breytingar á jónamargfeldi sýnis frá ÖJ-1	70
34. Þverskurður jarðlaga frá Ölkelduhálsi í gegnum holu ÖJ-1 til Hengils	71
35. Þríhyrningsgraf fyrir gas á Hengilssvæði	74



1. INNGANGUR

Í eftirfarandi skýrslu er fjallað um borun og rannsóknir á fyrstu rannsóknarholunni á Ökelduhálssvæði austan Hengils. Hengilssvæðið er eitt af stærstu háhitasvæðum landsins, talið um 100 km² að flatarmáli. Jarðhiti á yfirborði er nær samfelldur frá Nesjavöllum í norðvestri til Hveragerðis í suðaustri. Þessi dreifing jarðhitans er sýnd á mynd 1 ásamt ýmsum öðrum jarðfræðilegum upplýsingum s.s. útbreiðslu hrauna frá nútíma, legu sprungna o.fl. Eldvirkni á Hengilssvæðinu er talin tengjast þremur eldstöðvakerfum sem kennd eru við Hveragerði, Hrómundartind og Hengil. (Knútur Árnason o.fl. 1986). Austust er Hveragerðiseldstöðin (einnig kennd við Grensdal eða Grændal), sem talin er hafa verið virk fyrir um 300-700 þúsund árum. Jarðhiti í Grændal og Hveragerði nærast á þessari fornu eldvirkni. Jarðhiti í Reykjadal og á Ölkelduhálsi er hins vegar tengdur virkri megineldstöð með miðju í nágrenni Hrómundartinds. Yngsta gos í þessu kerfi varð í lok síðustu ísaldar fyrir um 10 þúsund árum í Tjarnarhjúk og rann hraun þá niður í Þverárdal og norður árfarveginn (mynd 1). Allur jarðhiti vestan Kýrgils er talinn tengjast megineldstöðinni sem kennd er við móbergsstapann, Hengil. Hengilseldstöðin hefur gosið sex sinnum eftir síðustu ísöld, þrisvar sinnum við Nesjavelli norðan Hengils og jafnoft og um svipað leyti á Hellisheiði. Útbreiðsla hrauna úr þessum eldgosum eru sýnd á mynd 1.

Háhitasvæðið, sem kennt er við Hengil, er gjarnan skipt niður í undirsvæði og byggist sú skipting að nokkru á dreifingu jarðhitans, en einnig á eldvirkni og öðrum jarðfræðilegum þáttum, auk landslags og staðháttá. Helst þessara undirsvæða eru Hveragerði (Ölfusdalur), Grændalur, Reykjadalur, Ölkelduháls, Nesjavellir, Hveradalir, Hverahlíð, Hengladalir og Vestur-Hengill. Ölkelduhálssvæðið er að mestu í landi jarðarinnar Ölfusvatns, sem Hitaveita Reykjavíkur keypti á árinu 1986 en einnig að hluta til í landi Reykja í Ölfusi.

Fram til þess að HR keypti jarðhitarétt á Ölkelduhálsi höfðu rannsóknir á svæðinu verið unnar í tengslum við almenna rannsókn Hengilssvæðisins. Hitaveitan hófst hins vegar strax eftir kaupin markvissa könnum á svæðinu með framtíðarvinnslu í huga. Í forkönnun svæðisins til undirbúnings rannsóknarborunum voru fyrirferðamestar jarðfræðikortlagning, viðnámsmælingar og athuganir á hveragasi úr gufuaugum á svæðinu.

Á árinu 1986 var jarðfræði svæðisins endurkortlögð og einnig þá var hafist handa við viðnámsmælingar á svæðinu frá Nesjavöllum yfir Ölkelduhálssvæðið. Á árunum 1991 og 1992 voru gerðar á svæðinu 35 TEM-viðnámsmælingar og fékkst þar með heildarmynd af viðnámi berglaga niður á 500-1000 m dýpi (Knútur Árnason, 1993). Á mynd 2 er sýnt viðnámsnið yfir Ölkelduhálssvæðið frá Fremstadal austur að Álfatjörn. Þar sést að um 200 m þykkt lágviðnámslag er að finna í sniðinu endilöngu. Efri mörk lágviðnámsins eru á 100-200 m dýpi í útjöðrum sniðsins, en við Ölkelduháls rís lágviðnámið allt til yfirborðs. Lágt viðnám (<10 ohmm) er almennt vísbending um jarðhitavirkni og sýnir reynslan frá Nesjavöllum að viðnám á bilinu 1-5 ohmm endurspeglir leir- og zeóltaummyndun sem verður til við hita á bilinu 100-240°C. Hátt viðnám undir lágu viðnámi líft og sést á mynd 2 er talið vísbending um ummyndun við hita yfir 220°C (klórft og epidót ummyndunarbeltin).

Sýnum af gufu og gasi úr gufuaugum á Ölkelduhálssvæðinu var safnað á árunum 1992-94. Niðurstöður þeirra rannsókna benda til þess að búast megi við svipuðum hita á Ölkelduhálsi og mælst hefur í holum á Nesjavöllum og við Kolviðarhól (Gretar Ívarsson, 1996). Mynd 3 sýnir kort af dreifingu reiknaðs efnahita miðað við styrk koldíoxíðs í hveragufu á Hengilssvæðinu. Þar sem jarðhitavirknin er mest svo sem í Sleggjubeinsskarði, á Nesjavöllum og á Ölkelduhálsi bendir styrkur koldíoxíðs til hita um eða yfir 300 °C. Efnahitinn er síðan fallandi frá Ölkeldu-

hálsi í átt til Hveragerðis, þar sem hveragasið bendir til um 250 °C hita, sem er reyndar nokkru hærri hiti en mælist í borholum í Hveragerði (um 180 °C). Sú hitadreifing, sem sýnd er á mynd 3, er áþekk og fæst útfrá efnahitamælum, sem reiknaðir eru útfrá styrk annarra gastegunda en koldfoxíðs eða hlutföllum ólflklegra gastegunda.

2. STAÐSETNING HOLU ÖJ-1

Fyrstu rannsóknarholunni við Ölkelduháls var valin staður fyrir miðjum Þverárdal, mitt á milli Kýrgilshnjúka og Ölkelduhjúks. Staðsetning holunnar kemur fram á myndum 1-3. Mynd 1 sýnir að holan er í vesturjaðri sprungustykkis Hrómundartindskerfisins. Yfirborðsmyndun er Bitran, grágrýtisdýngja komin frá Kýrgilshjúkum seint á síðasta jölukskeiði (fyrir a.m.k. um 14 þúsund árum). Í greinargerð sem skrifuð var sumarið 1993 var fjallað um staðsetningu holunnar (Benedikt Steingrímsson og Einar Gunnlaugsson, 1993). Helstu jarðhitaforsendur fyrir staðarvalinu voru að holan er staðsett innan þess svæðis sem afmarkast af lægstu viðnámi í viðnámsmælingum og þar sem fram kemur hátt viðnám undir lágviðnáminu (samanber mynd 2). Holan er utan þess svæðis sem yfirborðsjarðhiti er virkastur. Því var talið ólflklegt að suðuhiti grunnt í jörðu ylli erfiðleikum í borum. Aðgengi að svæðinu er gott og tiltölulega stutt í nægjanlegt skolvatn fyrir borunina í gilskorningum norðan Ölkelduháls. Það síðastnefnda gekk nú ekki eftir þar sem ráðist var í borunina um hávetur þegar vatnsmagn í lækjunum er í lágmarki.

Undirbúningur að boruninni hófst í ársbyrjun 1994. Hönnun og verklýsing fyrir borunina var gerð (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1994) og í samræmi við ný lög um umhverfismál var gert umhverfismat fyrir framkvæmdina, þ.e. bæði borframkvæmdina, og ekki síður vegagerð frá Hellisheiði inn á borsvæðið (Einar Gunnlaugsson, 1994). Endanlegt samþykki skipulagsyfirvalda fyrir framkvæmdinni lá fyrir haustið 1994 og var þá strax hafist handa. Jarðboranir hf. sáu um borunina, en Jarðhitadeild Orkustofnunar um rannsóknir.

Rannsóknarholan ber nafnið ÖJ-1 og stendur Ö fyrir Ölkelduháls, en J fyrir Jötunn sem er heiti jarðborsins sem vann verkið. Holan er í 360,77 m y.s. (miðað við kjallarabrun), en hnit hennar eru X=658674,65 og Y=399118,00.

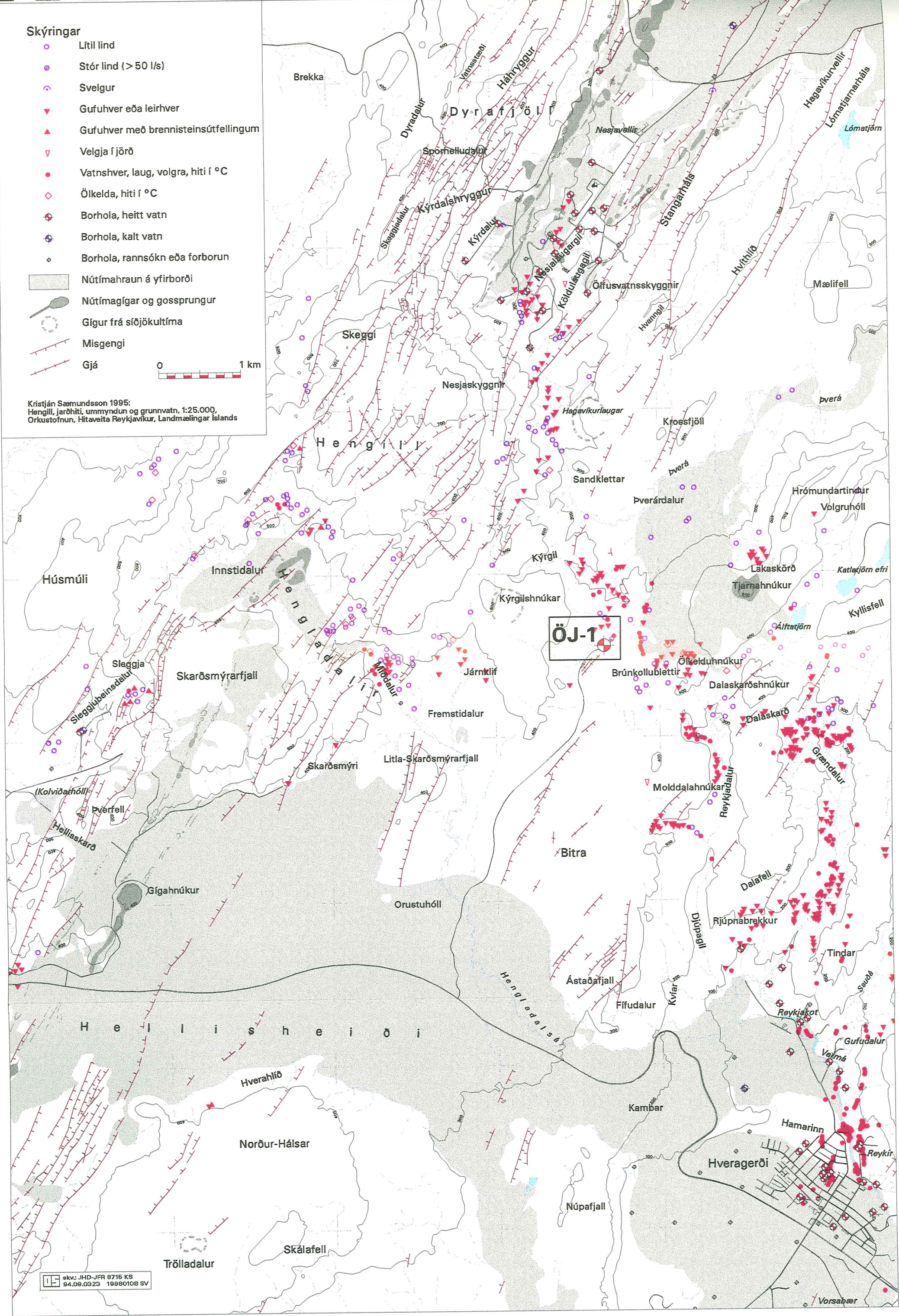
Mynd 1. Staðsetning ÖJ-1 á Ölkelduhálsi.

Skýringar

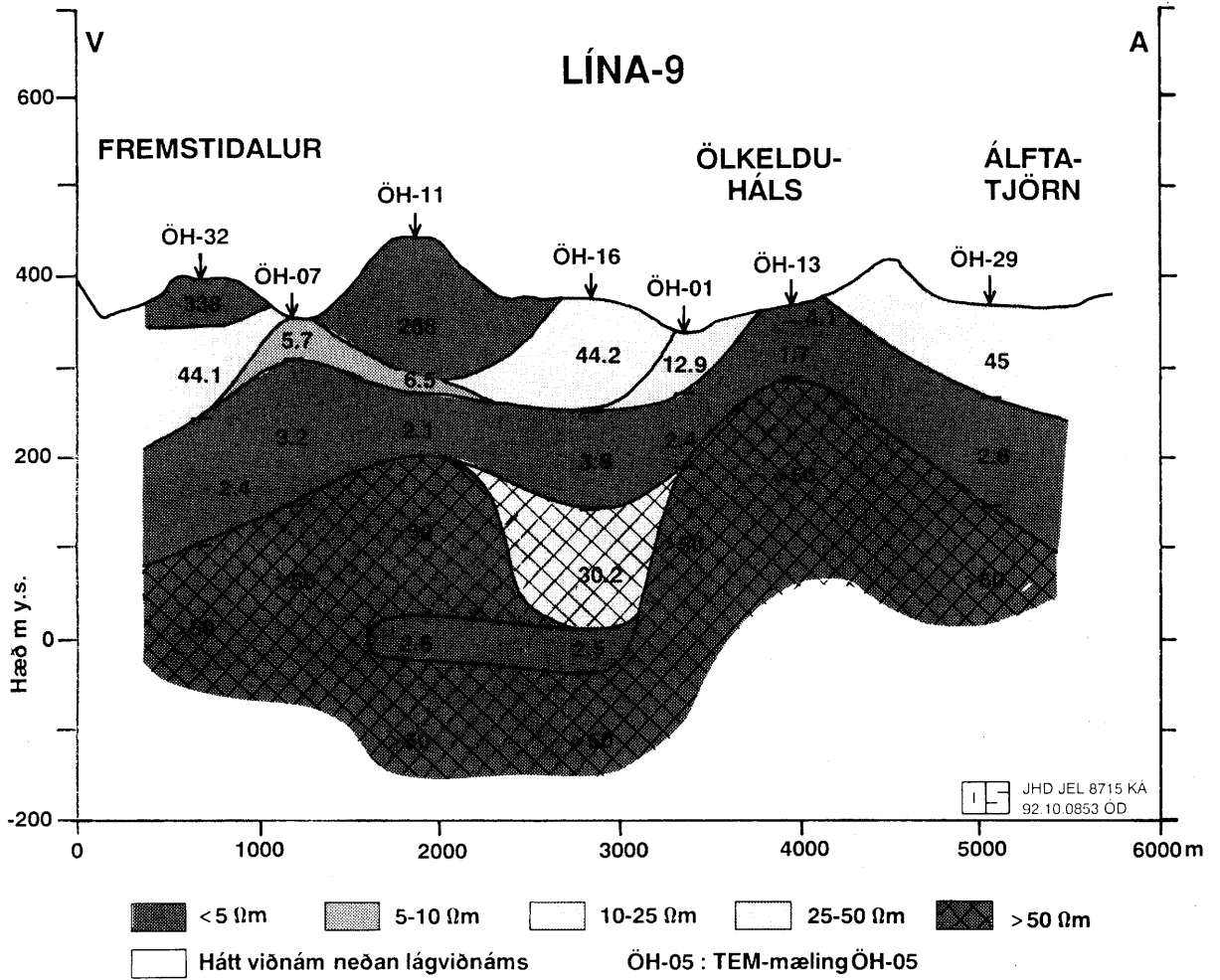
- Lítil lind
- Stór lind (> 50 l/s)
- Svelgur
- ▼ Gufuhver eða leirhver
- ▲ Gufuhver með brennisteinsútfellingum
- ▽ Velgja í jörð
- Vatnshver, laug, volgra, hiti í °C
- ◇ Ölkelda, hiti í °C
- ⊗ Borhola, heitt vatn
- ⊙ Borhola, kalt vatn
- ⊖ Borhola, rannsókn eða forborun
- Nútímahraun á yfirborði
- ☞ Nútímaggar og gossprungur
- Gígur frá síðjökultíma
- Misgengi
- Gjá



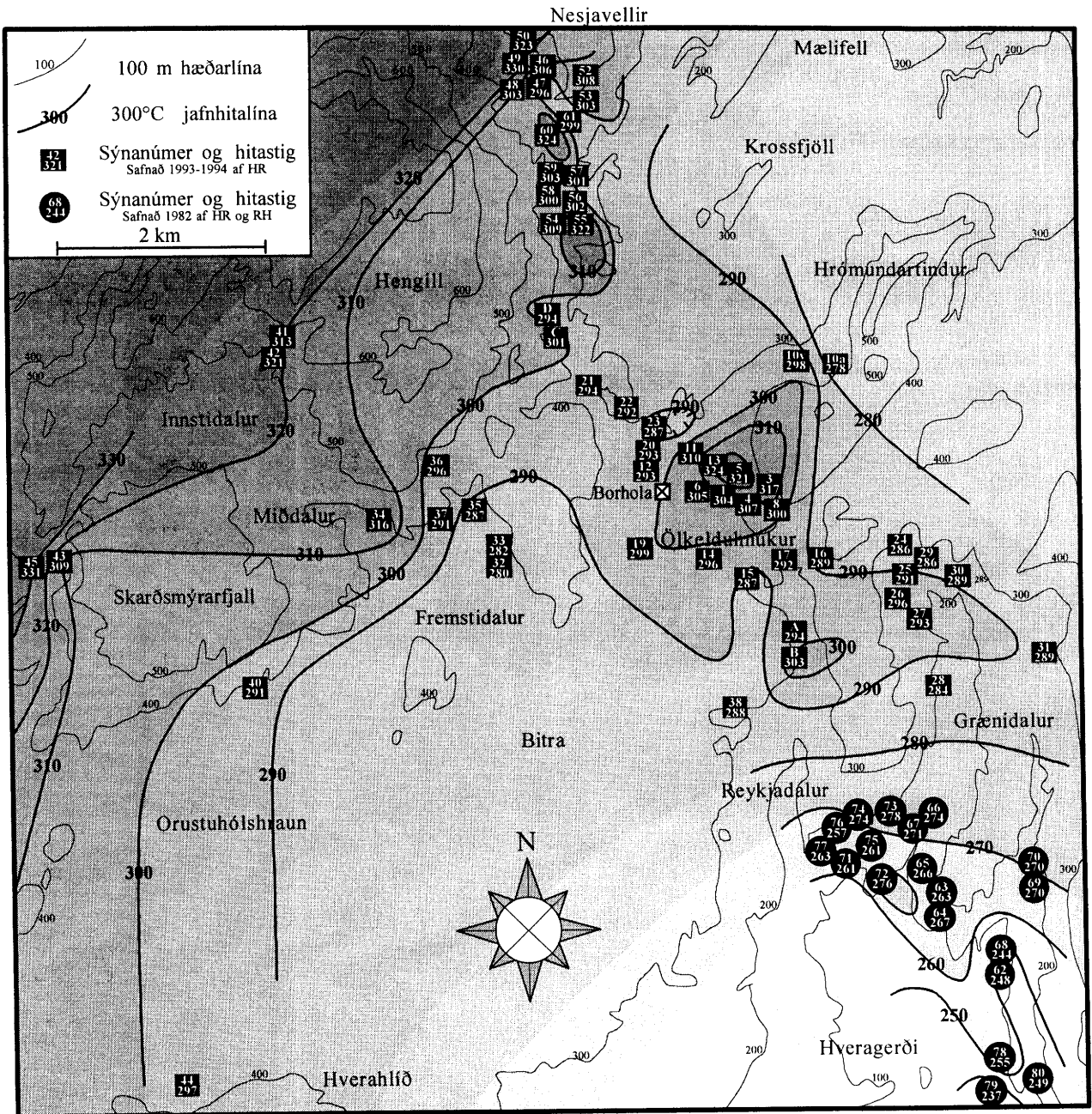
Kristján Sæmundsson 1995:
Hengill, jarðhiti, ummyndun og grunnvatn, 1:25.000,
Orkustofnun, Hítaveita Reykjavíkur, Landmælingar Íslands



ÖJ-1



Mynd 2. Austur-vestur viðnámsnið yfir Ölkelduhálssvæðið.
(Knútur Árnason, 1993).



Mynd 3. Útreiknaður kolsýruhliti á Hengilssvæði.
(Gretar Ívarsson, 1996).

3. BORSAGA

Hola ÖJ-1 var forboruð með Höggbor 3 á tímabilinu 10. október til 8. nóvember 1994. Borað var með 24" hamri í 17,8 m dýpi, en vegna hruns varð þá að fódra holuna með 22" rörum alls um tólf metrar að lengd. Fóðringin var lítið sem ekkert steipt og fylltist utan með af jarðvegi. Áfram var borað með 21,5" hamri í 70 m sem varð endanlegt dýpi höggborsholunnar. Jarðborinn Narfi kom á staðinn þegar höggborun lauk. Fódraði hann holuna í botn með 18 5/8" rörum og steipti síðan.

Þegar forborun lauk hófst undirbúningur að hinni eiginlegu borun. Lagður var uppbyggður vegur frá Hellisheiðarvegi á borstað, efni keyrt í borplan og kjallari settur yfir holuna. Nam jarðvegshækkunin við holuna um 2 metrum. Jarðborinn Jötunn var þá fluttur á staðinn og miðast allar dýptartölur holunnar í þessari skýrslu héðan í frá við drifborð hans sem var tæpum sjö metrum yfir borplaninu (kjallarabrún), eða um níu metrum yfir viðmiðun höggborsins.

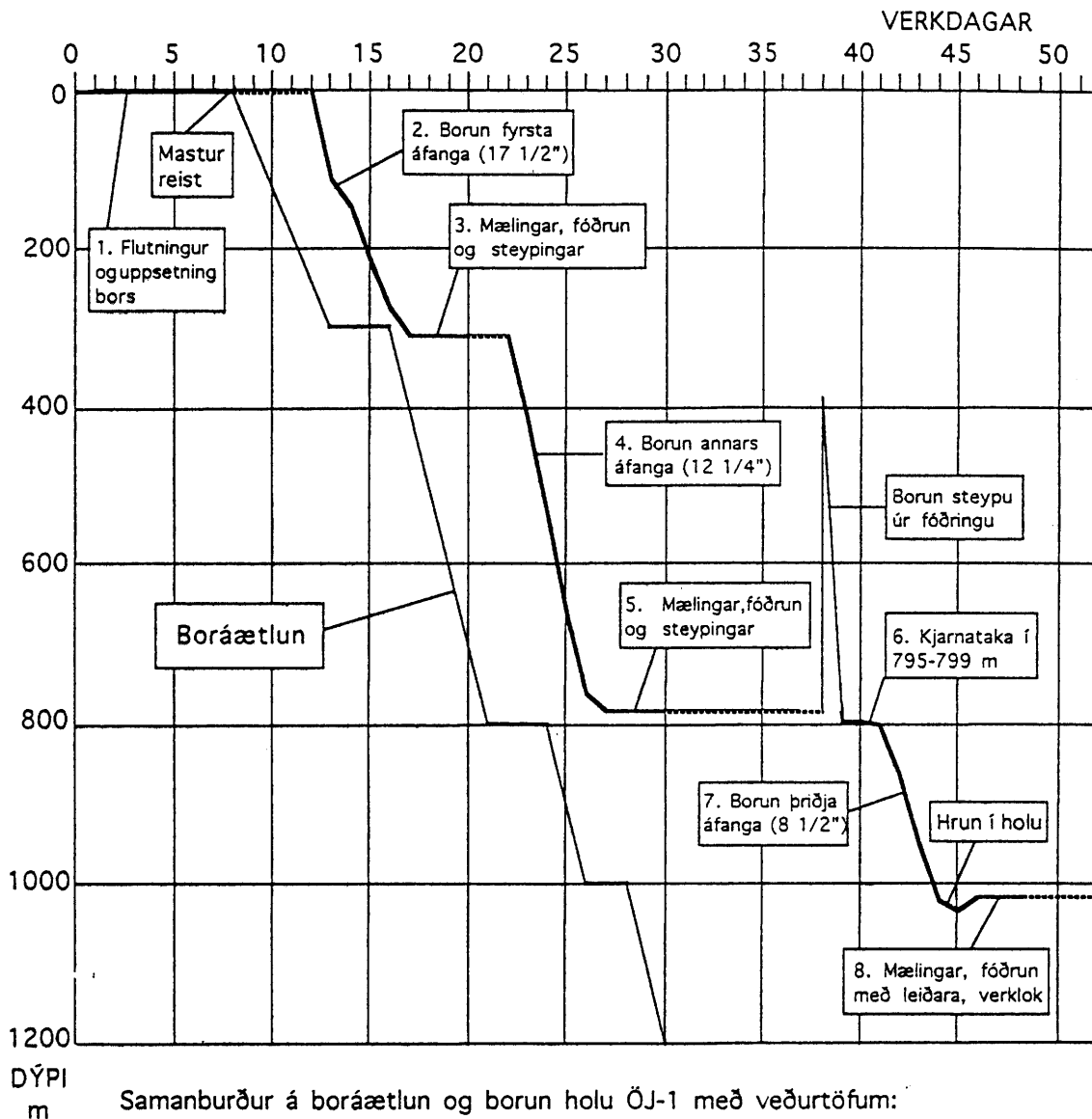
Flutningur Jötuns á borstað hófst þann 21. nóvember, en borun í berg hófst 2. desember en lauk í 1035 m dýpi þann 22. janúar 1995 og telst verkið hafa tekið 52 verkdaga. Borun Jötuns hefur verið gerð skil í þremur áfangaskýrslum og eru þær birtar í viðaukum V-2 til V-5. Hér í megin-texta skýrslunnar verður því aðeins stiklað á helstu atriðum borsögunnar, en áhugasömum lesendum er bent á viðaukana til að fá nákvæmari lýsingar.

Á mynd 4 er sýnt yfirlit um borun Jötuns á holu ÖJ-1, en hönnun holunnar og frágangur hennar sést á mynd 5. Þar má einnig sjá staðsetningu vatnsæða, sem borað var í gegnum auk mælinga bormanna á halla holunnar frá lóðlínu.

Fyrsti áfangi borverks Jötuns var borun fyrir öryggisfóðringu. Tiltækt skolvatn í byrjun verksins var um 10 l/s sem dælt var úr kaldavatnsholu (sú fyrri af tveimur), sem boruð hafði verið rétt við Jötunsplanið. Strax og Jötunn hóf borun í berg kom fram skoltap upp á nokkra sekúndulítra. Á 146 m dýpi datt botninn úr holunni og mældist skoltapið um 23 l/s. Borað var áfram með fullu skoltapi niður á 236 m, þegar síðari kaldavatnsholan var virkjuð. Til samans gáfu kaldavatnsholurnar tvær í dælingu um 24 l/s. Þetta vatnsmagn rétt dugði til að skola svarfi upp úr holunni, en skoltap var á bilinu 18-24 l/s niður í fóðringardýpið, sem varð 309 m. Vegna botnfalls í holunni komst öryggisfóðringin hins vegar aðeins í 301,5 m dýpi. Steyping fóðringarinnar gekk mjög vel og steiptist fóðringin upp í fyrstu tilraun, en reyndar þurfti að fylla upp utan með í tvígang þar sem steypan seig tilbaka. Gæði steypunnar voru að lokum staðfest með steypumælingu.

Borun fyrir vinnslufóðringu lauk á 781 m dýpi. Verkið gekk vel og tók aðeins um fimm sólarhringa. Til skolunar var notað vatn úr kaldavatnsholunum tveimur við borplanið. Skoltap í borun var lengstum óverulegt eða nokkrir sekúndulítrar, en eftir að komið var niður fyrir 600 m dýpi flóðopnaðist holan í hvert sinn sem borun var stöðvuð og var ljóst á rúmlega 700 m dýpi að skoltap í holunni væri yfir 50 l/s. Lekinn þéttist hins vegar um leið og borun hófst á nýjan leik. Aldrei varð vart við hrun í holunni og eftir borun í 781 metra og skolun holunnar mældist botnfall aðeins um einn metri.

BORUN HOLU ÖJ-1 Á ÖLKELDUHÁLSI MEÐ JÖTNI
FYRIR HITAVEITU REYKJAVÍKUR



Samantölur á boráætlun og borun holu ÖJ-1 með veðurtöfum:

1. Flutningur og uppsetning bors fór 4 daga fram úr áætlun.
2. Borun fyrsta áfanga er samkvæmt áætlun.
3. Mælingar, fóðrun og steypingar fyrsta áfanga fór 2 daga fram úr áætlun (steypit tvisvar).
4. Borun annars áfanga er samkvæmt áætlun.
5. Mælingar, fóðrun og steypingar fóðringar annars áfanga fór 9 daga fram úr áætlun (steypit þrisvar).
6. Kjarnataka í 799 m er samkvæmt áætlun.
7. Borun þriðja áfanga niður í 1035 m fór 2 dag fram úr áætlun (hrun).
8. Borun í hrunkafla, mælingar, fóðrun með leiðara og ádæling í verklok fór 6 daga fram úr áætlun, mastur verður ekki fellt nú vegna aðstæðna á borstað og vegatálma fyrir þungavinnutæki við Hengladalsá.

Mynd 4. Framvinda borunar holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

OS 96.02.0034 BS

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Frágangur holu

Staðsetning: Hnit * x= 658.674,65 y=399.118 Hæð yfir sjó m 360,77m

Fjarlægðir: Drifborð-kjallarabrún 6,86m Kjallarabrún-kragi 0,30m

Höggborsfóðring: Utanmál 470 mm Veggþykkt 8mm H- 40 soðin

Öryggisfóðring: API 13 3/8" 68 lbs/ft K-55 skrúf.buttr.

Vinnslufóðring: API 9 5/8" 43.5 lbs/ft L-80 skrúf.buttr.

Leiðari API 7 5/8" 23.0 lbs/ft K-55 skrúf.buttr.

Tvö efstu leiðararörin óraufuð. Leiðarinn stendur á botni.

Aðalfans og þenslustykki: 13 3/8" x 600

* Hnitakerfi aðlagð landskerfi

ÆÐAR (m)	FÓÐRINGAR- DÝPI (m)	BORKRÓNUR (mm) BORDÝPI (m)	HALLAMÆLINGAR	
			DÝPI	HALLI
21	2	610 mm		
75	1	27 m	110	0,5
79	1	546 mm	200	0,5
127	2	79 m	300	0,1
165	1	444 mm	380	0,9
260	1	301 m	500	0,9
290	1		600	0,6
320	1	311 mm	700	0,4
356	1	734	800	0,3
433	1	777	900	1,0
455	1		1000	0,8
505	1			
555	1	216 mm		
603	2			
620	2			
710	2			
793	1	1013		
805	1			
825	3			
950	3			
957	3			
1013	3	1035 m		

Ath. Dýptartölur miðaðar við drifborð Jötuns
Tölur aftan við vatnsæðar
1 smáæð
2 meðalæð
3 meginæð

Mynd 5. Frágangur holu ÖJ-1.

Jötunn komst í fóðringardýpi að morgni 17. desember. Illviðri var þá á Hengilssvæðinu og hélst svo næstu daga. Uppteikt borstanga tafðist af þessum sökum, svo og mælingar í holunni og fóðrun. Það var því ekki fyrr en seinni part 21. desember sem allt var klárt til steypingar fóðringarinnar. Ekki tókst að steypa fóðringuna upp í fyrstu atrennu og mældist steypuborð utan fóðringar á 333 m dýpi. Þegar hér var komið sögu voru jól í nánd og frestaðist því fram yfir áramót að ljúka steypingu fóðringarinnar. Fyrsta verk á nýju ári var að dæla vatni undir þrýstingi niður á milli fóðringa. Tók holan við 19 l/s við 11 bara mótþrýsting. Hitamælingar sýndu að megnið af vatninu tapaðist út í æð á 312 m dýpi, en að einhver leki væri alveg niður að steypuborði. Þegar þetta lá ljóst fyrir var steypu dælt niður á milli fóðringanna. Mæling á steypugæðum sýndi að vel hefði tekist að koma steypu niður að fyrra steypuborði á 333 m dýpi. Hins vegar hafði yfirborð síðari steypunnar sigið niður á 55 m dýpi og þurfti því þriðju steypinguna til að ljúka frágangi vinnslufóðringar holu ÖJ-1.

Í áætlunum um borun vinnsluhluta holunnar var gert ráð fyrir að borkjarnar yrðu teknir á tveimur stöðum til rannsókna á berginu. Var gert ráð fyrir að fyrri kjarninn yrði tekinn við fyrsta skoltapstað í holunni, en þó ofan 1000 m dýpis, en áætlað var að taka seinni kjarnann á 1000 til 1500 m dýpi. Strax eftir um 10 m borun mældist 25 l/s skoltap þegar bætt var í stöng. Í samræmi við áætlanir var þá farið í kjarnatöku. Notað var nýtt rússneskt kjarnatökurör, sem Hitaveita Reykjavíkur og Jarðboranir hf. keyptu vegna verksins samkvæmt ráðleggingu Orkustofnunar og var verkið unnið undir leiðsögn rússnesks borverkfræðings frá framleiðanda tækisins. Kjarnatakan tókst bærilega. Borað var frá 794,7 til 798,8 dýpi, en samanlögð lengd kjarnabútanna sem náðust var 2,1 m. Kjarnaheimtan var því 61%, sem teljast verður gott, þegar haft er í huga að borað var í ummyndað sprungið móberg. Alls tók kjarnatakan um 19 klst. Þar af tók sjálf borunin rétt um 80 mínútur.

Skoltapið sem mældist í holunni þegar kom að kjarnatökunni hvarf strax og borun hófst að nýju. Á 825 m dýpi flóðopnaðist holan hins vegar og tapaðist allt skolvatn. Heldur hafði dregið af kaldavatnsholunum vegna frosta og tókst aðeins að tutla úr þeim rúmlega 15 l/s þegar hér var komið sögu. Borað var áfram með algjöru skoltapi, og þurfti að stöðva borun öðru hverju til að safna vatni í vatnskarið. Um síðir var farið í að koma á dælingu úr vatnslóni í dalverpinu norðan við borstæðið. Jókst þá rennsli inn á planið í um 25 l/s, en holan gleypti auðveldlega allt vatnið. Í stangarfætingu á 1020 m dýpi kom fram hrun í holunni. Reynt var að mylja hrúnið og skola því út í æðar, en án árangurs. Endanlegt bordýpi varð 1035 m, en um 20 m botnfall er í holunni. Stendur raufaður leiðari ofan á hruninu, en efri endi hans nær upp í 734 m dýpi.

Alls tók borun holu ÖJ-1 52 verkdaga og er það miklu lengri tími en áætlanir gerðu ráð fyrir, eins og sjá má af mynd 4. Þar kemur fram að sjálf borunin gekk nokkurn veginn eftir áætlun, en tafirnar verða við mælingar, fóðrun og steypingar í lok hvers áfanga, þegar veður hafa mest áhrif á framgang verksins. Þannig tók um 9 daga umfram áætlun að ganga frá vinnslufóðringunni í holunni, enda var ekkert vinnuveður á Hengilssvæðinu fyrstu dagana eftir að komið var í fóðringardýpi. Þegar litið er til baka mun trúlega tvennt vera efst í huga þeirra sem að verkinu stóðu. Í fyrsta lagi ófærð og illviðri, og í öðru lagi sá hörgull sem var á skolvatni til borunarinnar.

4. JARÐLÖG

Borsvarfi var safnað í 100 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 til mats á gerð hrungjarnra jarðlaga, vatnsæða og hitaástandi í jarðhitageyminum. Nánari úrvinnsla á borsvarfinu var gerð síðar í Reykjavík, þar sem m.a. var stuðst við þunnsneiðaathuganir og jarðlagamælingar sem gerðar voru í holunni í lok hvers áfanga. Jarðlögum við holuna hefur verið skipt í upphleðslueiningar og er skiptingunni gerð skil í kafla 4.1 hér á eftir en síðan er gerð grein fyrir innskotabergi í berglagastaflanum. Í köflum 4.3 og 4.4 er fjallað um niðurstöður jarðlagamælinganna og þær bornar saman við mælingar sem gerðar voru í rannsóknarstofu á borkjarnanum, sem tekin var á tæplega 800 m dýpi í holunni.

Skrá um þunnsneiðar úr svarfi og borkjarna úr holunni er birt í töflu 1 en einfaldað jarðlagasnið ásamt jarðlagamælingum er sýnt á mynd 6. Nákvæmt jarðlagasnið ásamt borhraða og jarðlagamælingum er sýnt á mynd 7.

Tafla 1. Þunnsneiðar úr svarfi og kjörnum úr holu ÖJ-1.

Dýpi (m)	Nr. Þunnsn.	Dýpi (m)	Nr. Þunnsn.	Dýpi (m)	Nr. Þunnsn.	Dýpi (m)	Nr. Þunnsn.
28	16255	314	16265	584	16275	816	16285
64	16256	334	16266	604	16276	826	16286
108	16257	356	16267	622	16277	Kjarni	
126	16258	374	16268	650	16278	nr.poka	
140	16259	398	16269	692	16279	1	16219
215	16260	410	16270	710	16280	5	16220
240	16261	432	16271	736	16281	7	16221
258	16262	480	16272	770	16282	6	16222
282	16263	510	16273	790	16283	11	16223
300	16264	558	16274	808	16284		

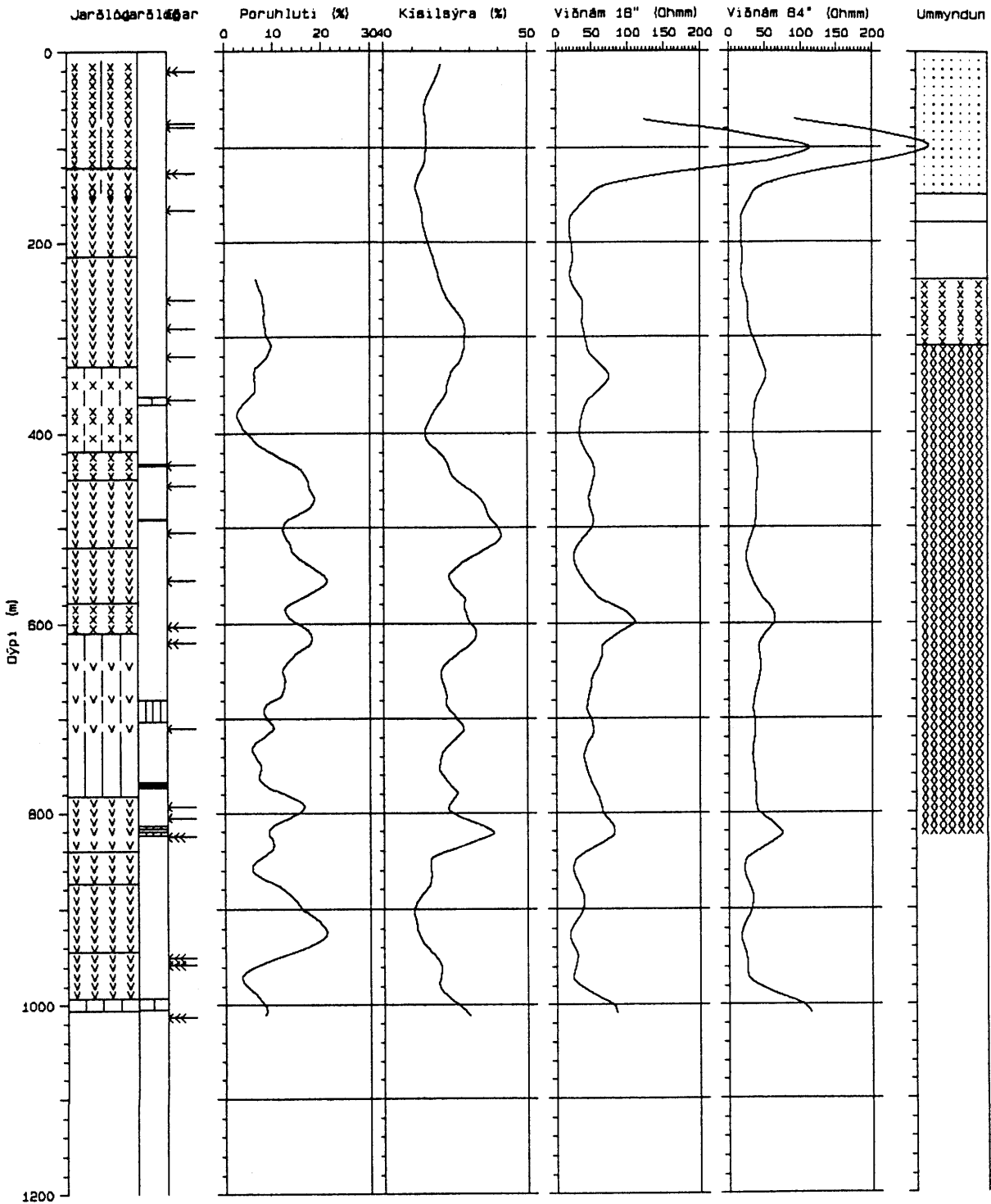
4.1 Jarðlagaskipan

Í þessum kafla er lýst helstu einkennum berglagastaflans við holu ÖJ-1. Honum hefur verið skipt upp í 13 upphleðslueiningar. Af þeim eru nú móbergsmyndanir en aðeins ein hraunlagamyndun. Í einu tilviki reyndist erfitt að gera upp á milli hraunlaga og móbergs. Innskotsbergi, sem er fremur strjált í holunni, er lýst stuttlega í næsta kafla.

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01

Einfaldað jarðlagasnið, mælingar og ummyndun



Mynd 6. Hóla ÖJ-1. Einfaldað jarðlagasnið og mælingar og ummyndunarbelti. (Sjá skýringar við jarðlagasnið á mynd 7 og skýringar á ummyndun á mynd 15).

Móbergsmýndun (Bitra) 0-124 m. Þessi móbergsmýndun er ein aðalýfirborðsmýndunin á Ölkelduhálssvæðinu. Samkvæmt yfirborðskortlagningu er hún talin vera frá síðjökultíma, yngri en Hengilsstapinn og Molddalahnúkar. Samkvæmt Knúti Árnasyni o.fl. (1986) er Bitra mynduð í lok síðasta jökulskeiðs (fyrir um 14 þúsund árum). Í holunni nær mýndunin niður á um 124 m dýpi. Hún er að mestum hluta gerð úr bólstrabergi, en þó koma fyrir tvö basaltlög ofan 50 m dýpis og á fjórum stöðum er bólstrabergið aðskilið af túfflögum. Bergið er plagíóklasdfloott ólivín-þóleíft, með ólivínfla á stangli. Svo virðist sem túfflögin séu yfirleitt lekari en bólstrabergið því ummyndun er þar heldur meiri.

Jökulberg 124-127 m. Um þriggja metra þykkt lag af smákorna mélu liggur undir Bitrumóberginu, og er hún gráleit að lit, og því kemur þar jökulbergsnafngiftin. Jökulbergið er töluvert ummyndað, mun meira en Bitrumóbergið fyrir ofan, sem bendir til að jarðhitavirknin sem einkennir jarðlagastaflann neðar geti verið yngri en jökulbergið.

Móberg 127-"212" m. Aðeins eru til svarfsýni af móberginu niður á tæplega 150 m dýpi, en þaðan og niður á 212 m er að mestu leyti stuðst við jarðlagamælingar. Í lok borunar fyrir öryggisfóðringu varð mikið hrun sem rekja mátti (skv. víddarmælingu) til viðkvæms bergs, trúlega móbergs, á 175-210 m dýpi. Í sýnum sem upp komu á þeim tíma og auk þess í sýni af um 215 m dýpi, kemur í ljós að mestur hluti þessa móbergs er líklega ummyndað túff. Neðri mörk móbergsins eru sett með hliðsjón af gamma-, nifteinda- og víddarmælingum, þar sem greinileg hækkun verður á mæligildum þeirra fyrrnefndu og að skápamyndun hverfur neðan 212 m dýpis (mynd 7). Tvö basaltlög sjást milli rúmlega 140 og 154 m dýpis en auk þeirra eru líklegast tvö örpunn basaltlög milli 163 og 167 m dýpis. Bergið er af ólivín-þóleíft samsetningu og er stakplagíóklasdfloott.

Móberg "212"- 330 m. Borsvarf er til af þessu dýptarbili neðan 235 m dýpis. Efra borð móbergsmýndunar er hér ákvarðað á 212 m dýpi á grundvelli jarðlagamælinga eins og lýst er hér að framan. Efst er basaltlag og síðan móberg niður á 236 m dýpi. Þá tekur við móbergstúff samkvæmt svarfgreiningum niður á 330 m dýpi. Bergið er stak-plagíóklasdfloott ólivín-þóleíft eins og móbergið fyrir ofan en er skipt í tvær myndanir á grundvelli jarðlagamælinga, eins og áður er sagt. Neðri mörk myndunarinnar eru að hluta til einnig ákvörðuð á grundvelli jarðlagamælinga, því gildi t.d. gammamælinga lækka við þessi jarðlagamót (mynd 7).

"Móberg" 330-418 m. Ekki er fullljóst hvort þetta er móbergs- eða hraunlagamyndun. Heldur er þó hallast að því að um móbergsmýndun sé að ræða. Ber þar fyrst að nefna að bergið er af fremur einhæfu stak-plagíóklasdfloottu ólivín-þóleífti, túffinsur milli basaltlaganna, og í þunn-sneiðum virðist bergið oftast vera að einhverju leyti hlutkristallað (þótt í nokkrum tilvikum sé erfitt að greina slíkt vegna ummyndunar). Ef um móbergsmýndun er að ræða er hún líklegast úr basalt- og bólstralínsum aðskildum af túff- og breksúlögum. Ekki er loku fyrir það skotið að hún geti verið hluti af sömu móbergsmýndun og móbergið fyrir ofan.

Móberg 418-448 m. Þessi móbergsmýndun samanstendur af þunnum kristölluðum basaltlögum sem er dýflaust jafnkorna þóleíftlegt basalt, aðskildum af þunnum túfflögum. Neðri mörkin markast meðal annars af hækkun í gammamæligildum.

Móberg 448-520 m. Móbergsmýndunin skiptist í tvo hluta: Annars vegar er efri hlutinn (448-478 m) sem er gerður úr blöndu af þunnum basaltlögum, breksúlögum og túffi, og hins vegar er ráðandi túff (478-520 m). Þunn-sneið af 480 m dýpi bendir til að bergið sé stak-plagíóklasdfloott ólivín-þóleíft. Neðri mörk myndunarinnar er sett við 520 m dýpi vegna skila í gammamælingu þar sem gildin lækka töluvert. Erfitt er að greina túffið til tegundar þar sem kristöllun er nær

engin.

Móberg 520-578 m. Móbergið er ráðandi túff. Fremur grófir plagíóklaslistar í túffinu benda til þess að basaltið geti verið af ólivín-þóleíft samsetningu. Neðstu 2-3 m móbergsins er vel samlímt settúff.

Hraunlög/móberg 578-609 m. Plagíóklasflótt basalt einkennir lögin niður að 592 m dýpi, og eru þar 3 þunn kristölluð lög aðskilin af þunnum túfflögum. Ekki er ljóst hvort um hraunlög eða móbergsmyndun er að ræða. Þaðan og niður á 610 m dýpi er stak-plagíóklasflótt túff og brek-sfa.

Hraunlög 609-783 m. Þetta er fyrsta áreiðanlegu merki um hraunlagastafla í holunni. Samkvæmt svarf- og þunnsneiðalýsingu eru berglögin frekar jafnkorna og svipar að jafnaði meira til þóleífts en ólivín-þóleífts. Í allt geta verið um 18 hraunlög í staflanum. Túffið á dýptarbilinu 640-648 m er a.m.k. að hluta til vel samlímt setlag. Sum kornin virðast vera eitthvað rúnnað. Annað túfflag, sem gæti verið í allt um 16 m þykkt er sundurklofið af basaltinnskoti á 674-713 m dýpi.

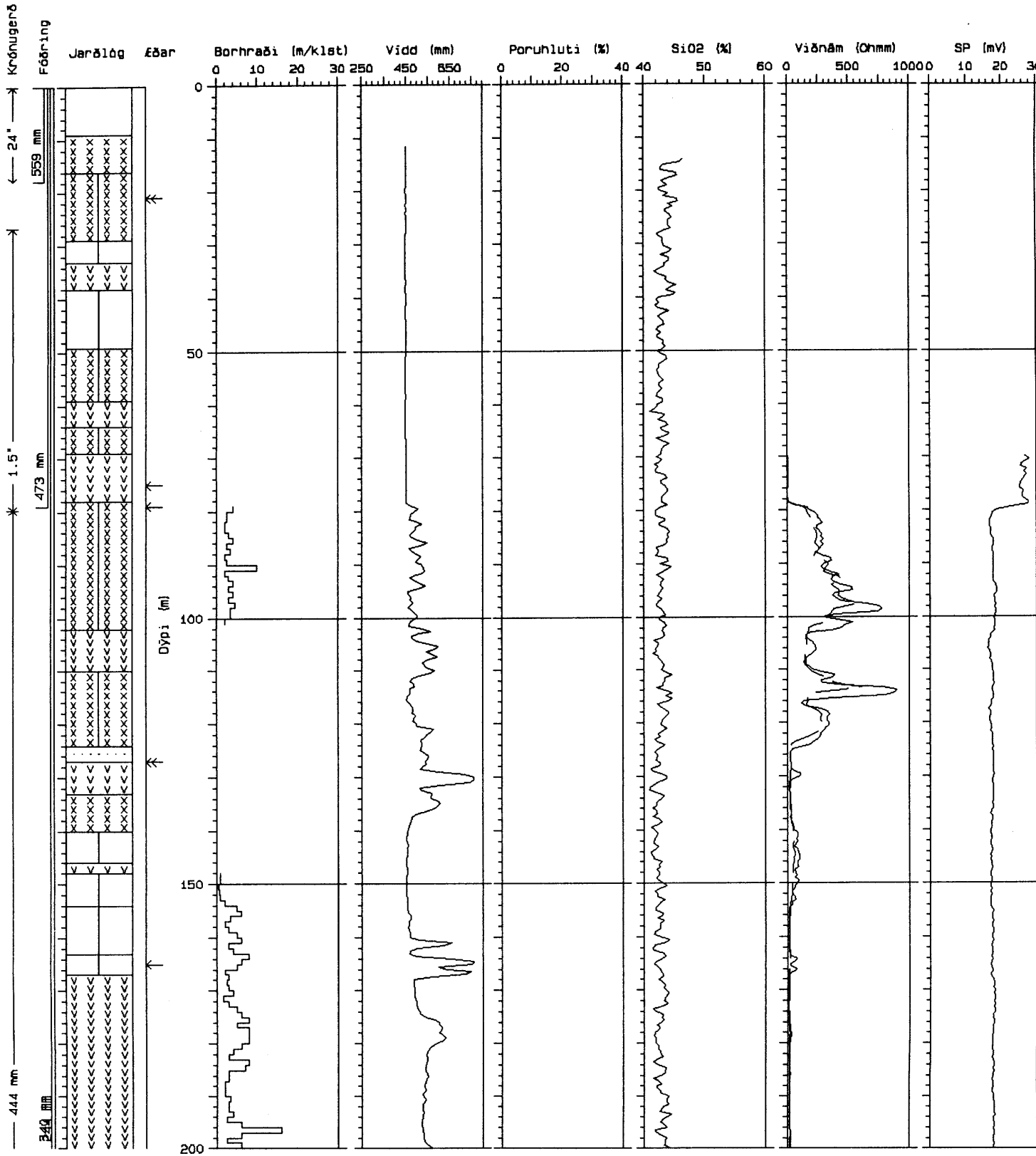
Móberg 783-880 m. Móbergið er aðallega túff eins langt og svarfgreining nær (825 m). Neðan þess virðast gammagildin halda áfram á sama rólnu, og því freistandi að framlengja móbergsmyndunina niður á um 880 m dýpi.

"Móberg" 880-945 m. Sléttur borholuveggur, fremur hár borhraði, jöfn nevrónumæling og sýðast en ekki síst lág gammamæling benda til að bergið sé einhæft móberg og líklega túff.

"Berglög" 945-1030 m. Mælingar á þessu dýptarbili eru mun óreglulegri á þessu dýptarbili en í "móberginu" fyrir ofan. Ójafn borhraði gæti bent til að þar skiptist á kristölluð basaltlög og linara berg sem gæti verið móberg eða jafnvel meira ummyndaður hluti hraunlaga. Óvenju hátt viðnám og tiltölulega lágur poruhluti mælist milli 992-1005 m dýpis, og er talið mögulegt að þar sé basaltinnskot.

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

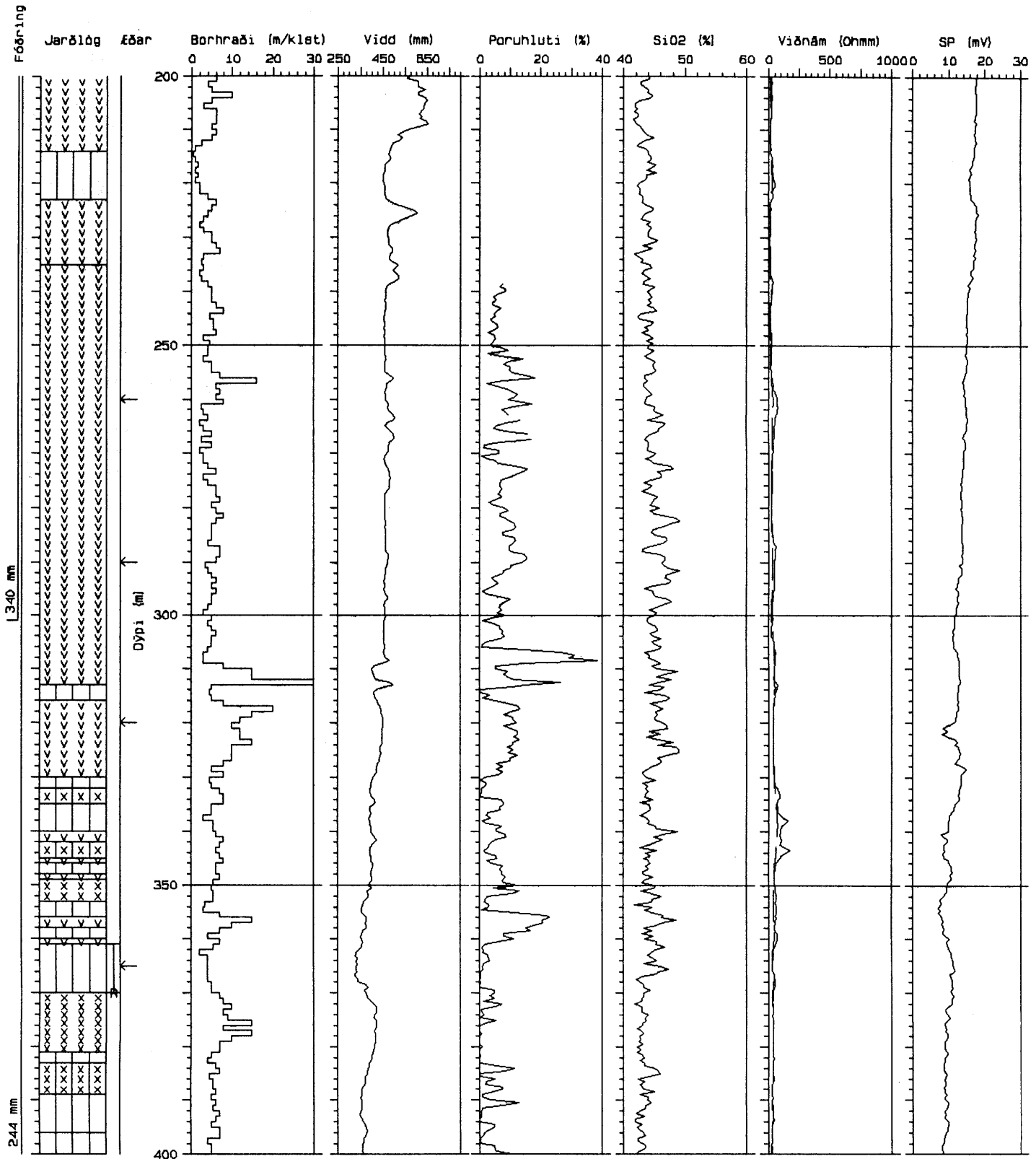
Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar.

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1895 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



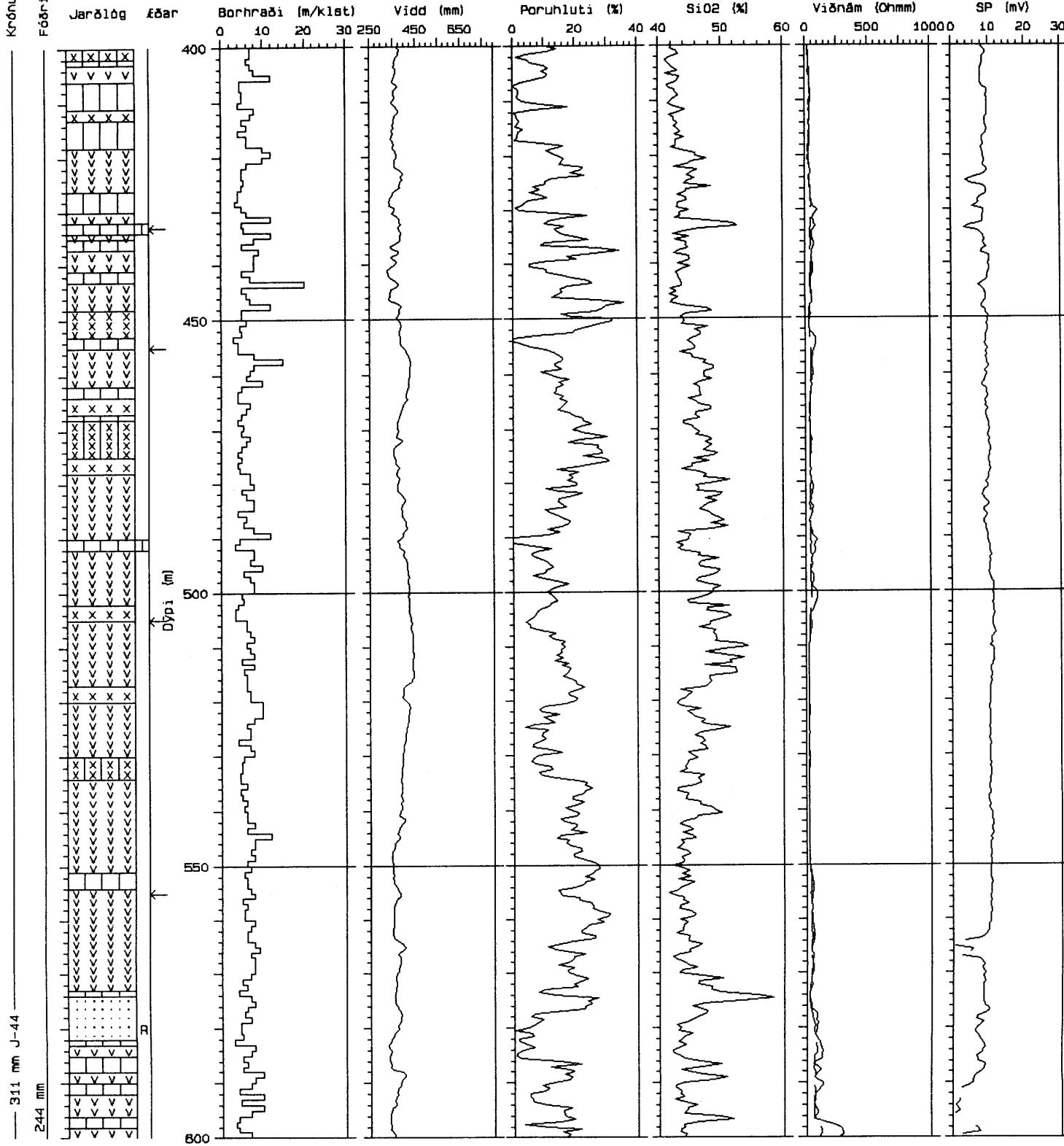
Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar (frh.).

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar

Króngugerð

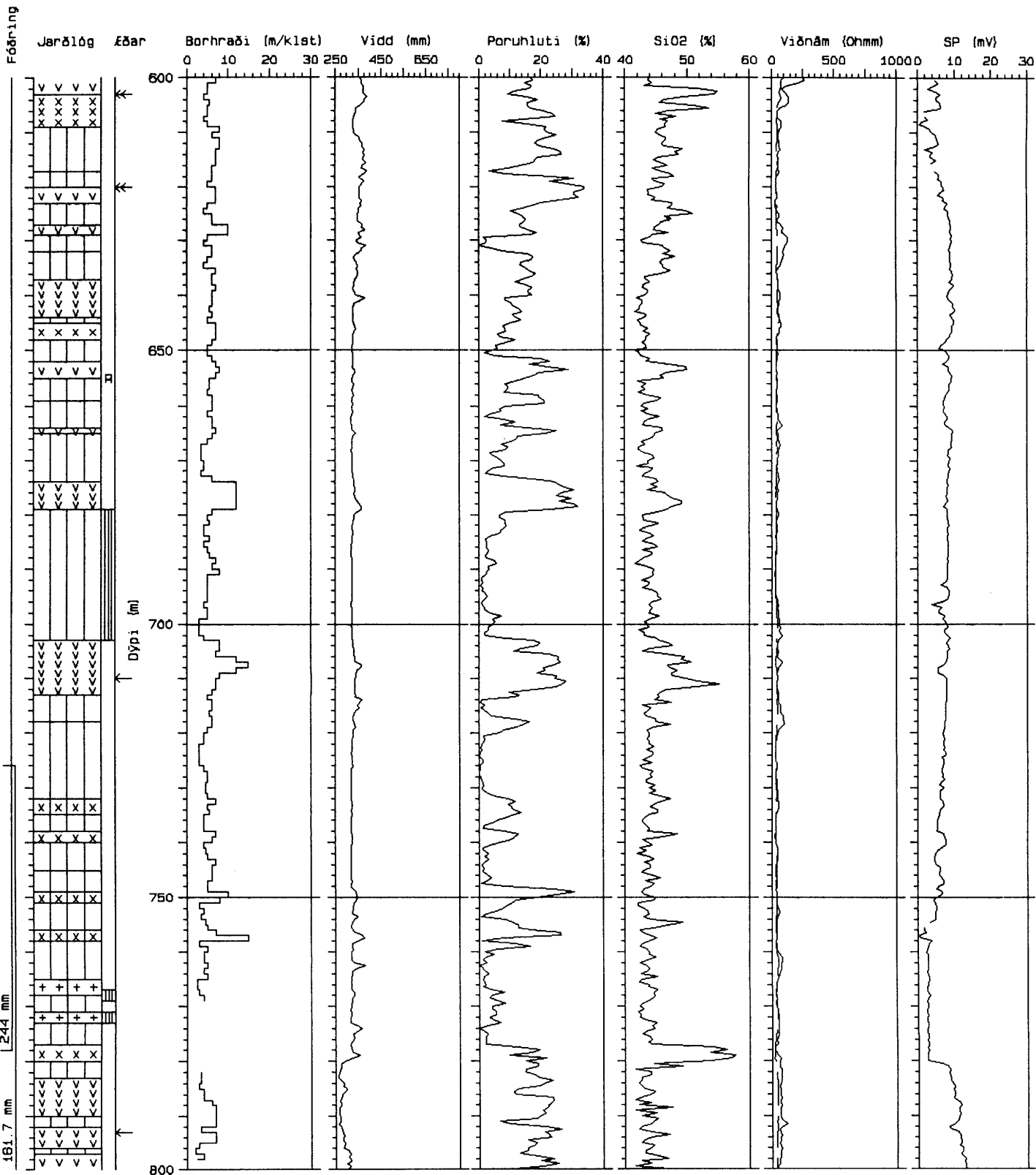
Fóðring



Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar (frh.).

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

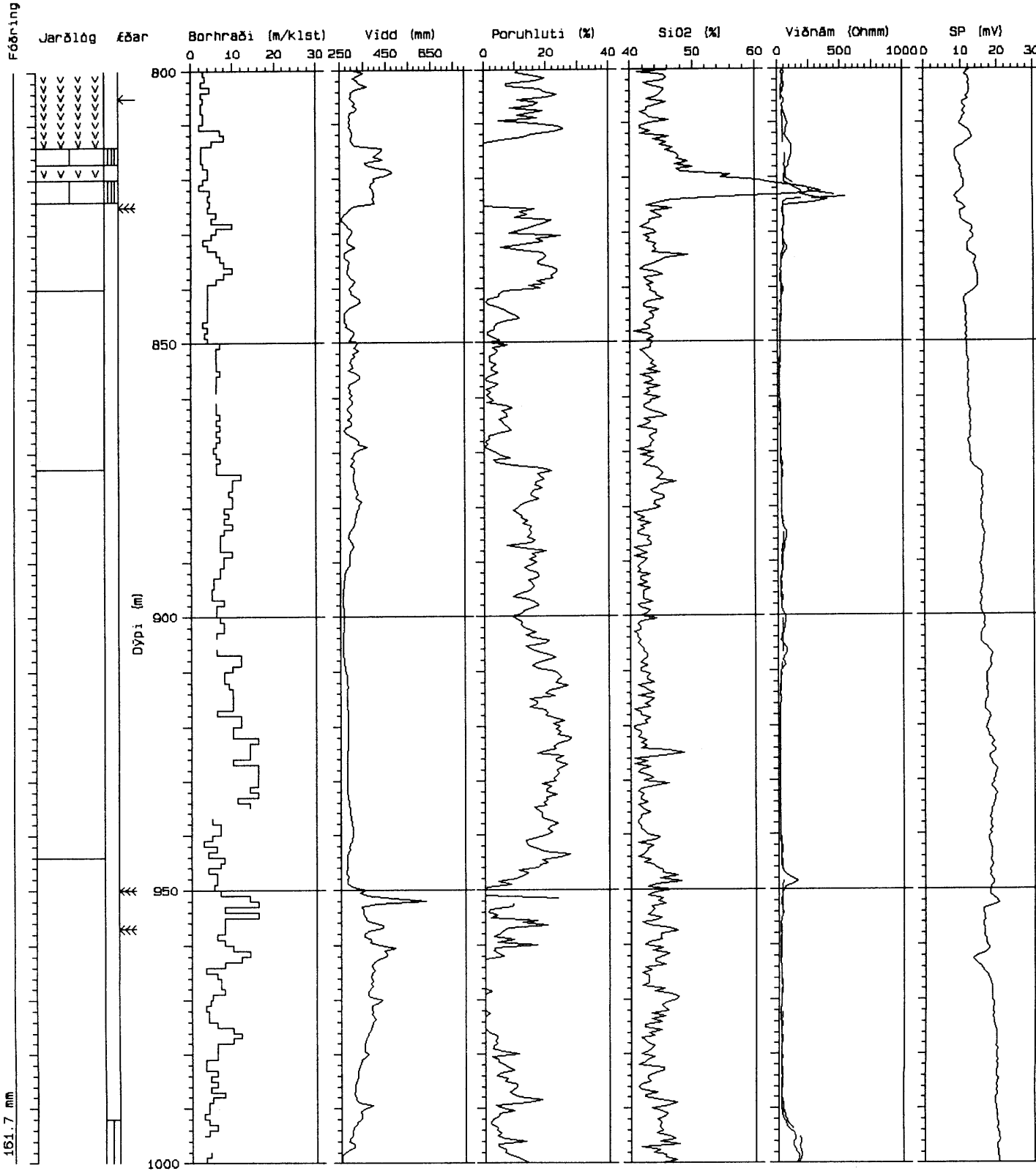
Ólkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar (frh.).

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

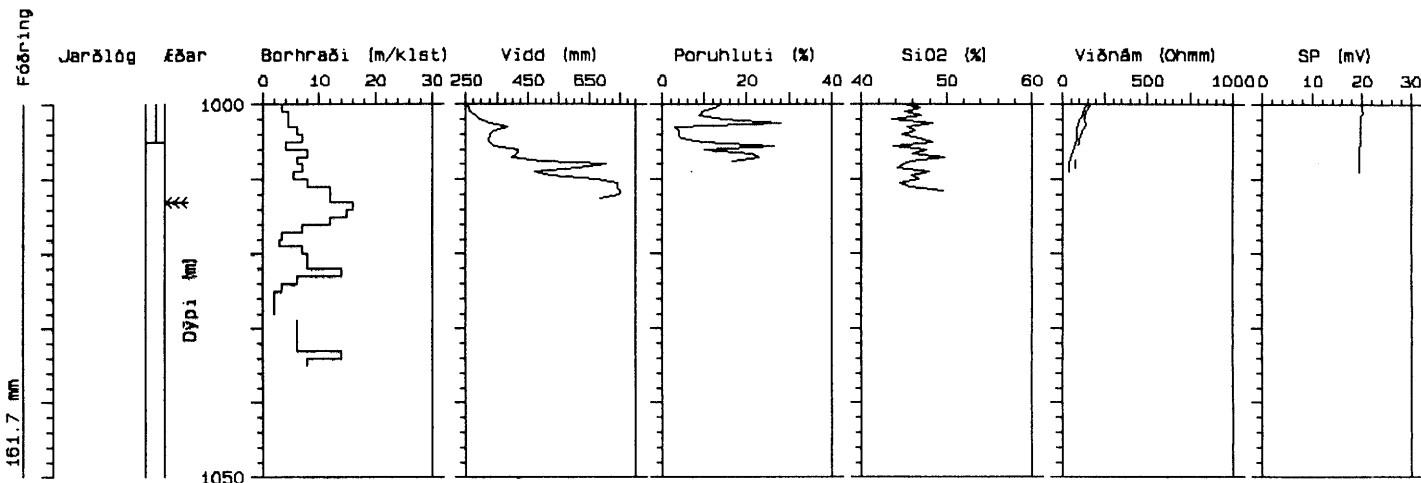
Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



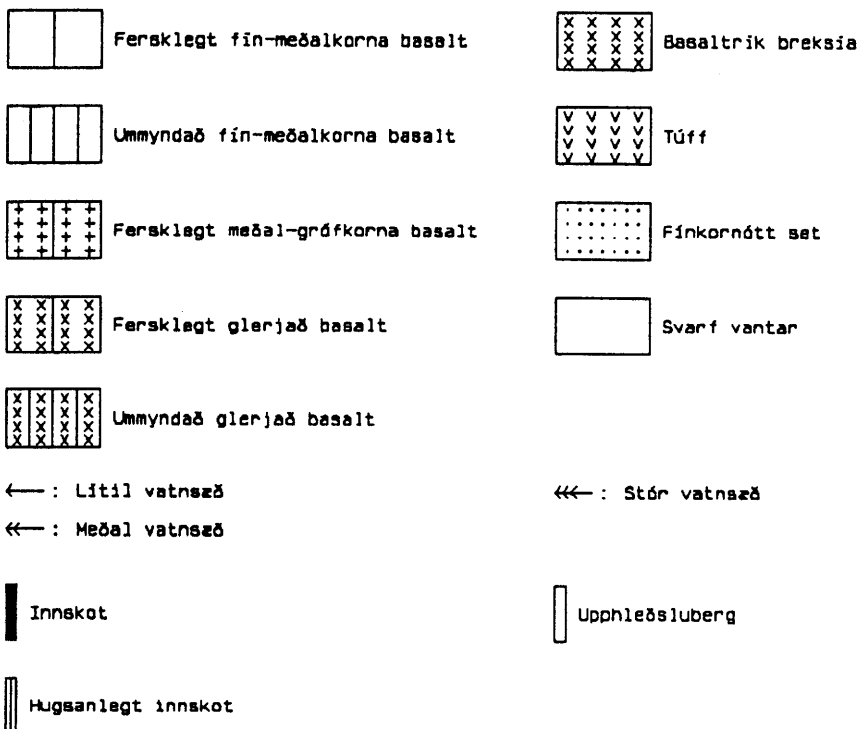
Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar (frh.).

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



Skýringar við jarðlagasnið



Mynd 7. Hóla ÖJ-1. Jarðlagasnið og mælingar (frh.).

4.2 Innskot

Svo sem fram hefur komið í kaflanum um jarðlagaskipan er nokkur óvissa um hversu mikið er af innskotum í berglagastaflanum. Við mat á því hvort ákveðin bergkorn í svarfi tilheyri innskoti eða hraunlagi er stuðst við ýmis sérkenni innskota. Þar má helst nefna ferskleika, þéttleika, grófleika, kælikápubrot og hugsanlega jaðarummyndun sem notadrjúg sérkenni til aðgreiningar frá hraunlögum. Sömu aðferð er beitt við holu ÖJ-1 og Nesjavallaholur við aðgreiningu innskota.

Mögulegt er að holan skeri allt að 9 basaltinnskot eins og sýnt eru á mynd 7. Fimm innskotanna eru aðeins um 2 m þykk en tvö þeirra ná yfir 10 m þykkt. Það efra er fremur ummyndað basaltinnskot á 679-703 m dýpi, og það síðara, sem ákvarðað er á grundvelli jarðlagamælinga, er á 992-1005 m dýpi. Ekki er unnt að greina í sundur að svo stöddu hvort sum innskotanna geti verið samtíma þeirri móbergsmýndun sem þau troðast inn í, nema ef til vill það innskot sem sker móbergstúffið á 490-492 m dýpi, þar sem það sýnir gjörólíka gammageislun.

361-370 m. Meðal-grófkorna þétt dflótt ólivínþóleíft basalt, mun ferskara en berglögin fyrir ofan og neðan.

432-434 m. Mögulegt innskot.

490-492 m. Lágur borhraði, lágur poruhluti (skv nifteindamælingu), veruleg lækkun í gammamæligildum miðað við móbergið í kring og viðnámstoppur.

679-703 m. Ummyndað, fínkorna þétt basalt.

767-769 m. Ólivínþóleíft basalt.

771-773 m. Meðal-grófkorna basalt, líklega ólivínþóleíft.

814-817 m. Fínkorna fremur fersklegt basalt.

820-824 m. Fínkorna fremur fersklegt basalt.

992-1005 m. Hátt viðnám, lágur poruhluti samkvæmt nifteindamælingu, lítið rof í holu.

4.3 Jarðlagamælingar

Í töflu I í viðauka V-1 eru skráðar borholumælingar úr holu ÖJ-1. Jarðlagamælt var áður en öryggis- og vinnslufóðringar voru settar í holuna og loks eftir að borun lauk, en áður en leiðari var settur. Í öll skiptin var byrjað á hitamælingu og síðan var víddarmælt. Notaður var XY-víddarmælir (4 arma), en Y-hlutinn var í sumum tilvikum lélegur. Þá var viðnámsmælt, þ.e. mælt 16", 64" viðnám og sjálfsspenna (SP). Að lokum var geislaðmælt, þ.e. nifteindir og náttúrulegt gamma. Nifteindamælingin gefur mat á poruhluta umhverfis holuna, en gammað hefur verið kvarðað til að gefa kísilsýruinnihald bergsins.

Til að fá mat á poruhluta umhverfis holuna þarf að leiðrétta nifteindamælingarnar fyrir áhrifum holunnar sjálftrar. Þar sem sú leiðrétting er byggð á kvörðunarferlum fyrir holur með vídd á bilinu 150 til 230 mm, var ekki mögulegt að leiðrétta nifteindamælinguna í efsta hluta holunnar þar sem víddin fór yfir 400 mm. Vafasamt er að nota þessa leiðréttingu á holur víðari en 350 mm, en það er þó gert hér. Það sem gerist þegar holan er víðari en kvörðun leyfir, er að reiknaður poruhluti verður of lágur.

Þegar viðnám er mælt í borholum, er mælda viðnámið mjög háð holunni og viðnámi vökvans í henni. Ef vel á að vera þyrfti að leiðrétta mæligildin fyrir þessu, en þar sem ekki er til góð mæling á viðnámi vökvans, eru viðnámsmælingarnar birtar hér óleiðréttar og eru öll meðaltöl miðuð við óleiðrétt gildi. Óleiðrétt mæling gefur ekki rétt viðnámsgildi fyrir bergið umhverfis holuna (ótruflað ástand), en gefur hins vegar vísbendingar um mismunandi berglög, þ.e. hvort viðnám er "hátt" eða "lágt" í ólíkum berglögum.

Óleiðréttar mælingar eru teiknaðar upp ásamt jarðlagasniði, holuhönnun, staðsetningum á æðum og borhraða í viðauka V-1. Á myndum 6 og 7 hér að framan eru hins vegar teiknaðir ferlar af reiknuðum poruhluta og k sílsýru, og eru viðnámsferlarnir þar teiknaðir lógarithmiskt til að sjá betur breytingar í viðnámi þar sem það er lágt. Á mynd 7 er sjálfspennan teiknuð með, en ekki er frekar fjallað um hana hér.

Eins og sést á þessum myndum er viðnámið frekar hátt niður í um 120 m dýpi, þar fyrir neðan er það lágt (< 100 Ohmm). Meðaltal 16" viðnámsins í holunni er 58,8 Ohmm, ef meðaltalið er tekið línulega, hins vegar er lógarithmiskt meðaltal 41,5. K sílsýra reiknast að jafnaði undir 50 (%) nema rétt fyrir neðan 800 m, en þar streymdi gas inn og ruglaði allar mælingarnar. Reiknað meðaltal k sílsýru fyrir alla holuna er um 44%. Poruhlutinn er að meðaltali 11%, og er hann alls staðar undir 40% nema þar sem gasið ruglar mælinguna.

Í töflu 2 eru sýnd meðaltöl mælinganna, fyrir alla holuna og einnig fyrir mismunandi berggerðir. Á myndum 8-10 eru teiknuð upp stólparit sem sýna dreifingu hinna ýmsu mæligilda. Þar sést að töluverður munur er á dreifingu og meðaltölum eftir berggerð. Ummyndaða basaltið (fínmeðalkorna og glerjað) er með lágan poruhluta (8,4%), en hærra viðnám en breksían og túffið. Viðnámið er hæst í ferska basaltinu, en lægst í innskotunum. Poruhluti er hæstur í túffinu og lægstur í innskotunum. Breytileiki í poruhluta (þ.e. mikið staðalfrávik) einkennir allar berggerðir. Meðaltalsgildi poruhluta og viðnáms sem birt eru í töflu 2 eru einnig sýnd á mynd 11. Samkvæmt töflu 2 er styrkur k sílsýru svipaður í öllum berglagagerðum, en þó aðeins hærri í breksfunni en hinum.

Tafla 2. Meðaltöl jarðlagamælinga í mismunandi jarðlögum í ÖJ-1.

Mæling	Allt	Ummyndað basalt	Ferskt basalt	Breksía	Túff	Innskot
Poruhluti (%)	11,1	8,4	-	12,0	14,0	4,2
Std (%)	8,1	7,7	-	8,8	7,4	3,6
Þykkt (m)	773	212	7	48	281	26
K sílsýra (%)	44,3	44,3	43,8	45,3	44,8	43,9
Std (%)	2,6	1,8	4,0	3,5	2,4	1,0
Þykkt (m)	998	220	113	57	378	26
16" viðnám (Ohmm)	58,8 (41,5)	52,8	220	44,1	46,0	42,0
Std (Ohmm)	78,7 (0,74)	25,2	199	22,8	41,1	15,0
Þykkt (m)	938	220	70	55	366	26

Til að sjá betur breytingar með dýpi í holunni voru jarðlagamælingarnar síðar með 50 m þríhyrningslaga síu. Þessar síðu mælingar eru birtar á mynd 6 ásamt einfölduðu jarðlagasniði, innskotum, ummyndun og æðum. Ef hola NJ-14 á Nesjavöllum er borin saman við ÖJ-1 kemur í ljós að poruhlutadreifingin er mjög ólík (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1986). Mun meira er af

bergi með lágum poruhluta í holu ÖJ-1 en í NJ-14 og er meðalporuhlutinn 17,4% í NJ-14 á móti 11,1% í ÖJ-1. Kfsilsýrustyrkur bergs er hins vegar svipaður samkvæmt gammamælingum. Viðnám bergs er ólíkt við holurnar að því leyti að tveir vel afmarkaðir viðnámstoppar mælast í holu NJ-14, en aðeins einn sést við holu ÖJ-1. Svo virðist sem mun meiri dreifing sé á viðnáminu í NJ-14 en í ÖJ-1. Í báðum holunum er viðnám tiltölulega hátt í efstu 100 -200 metrunum, en lágt þar fyrir neðan. Í holu NJ-14 hækkar viðnám aftur fyrir neðan 900 m, en ekki ber á neinni hækkun í ÖJ-1 niður í 1000 m.

4.4 Kjarni

Kjarni var tekin á 794,7 - 798,8 m dýpi og fékkst um 60% kjarnaheimta eða 2,1 m. Jarðlagamælt var á þessu dýpi sérstaklega og var þá mælt mun hægar og mæligildi skráð á 0,1 metra bili í stað 0,5 m (sjá viðauka V-1). Kjarnabútarnir voru sendir til Danmerkur þar sem mælingar voru gerðar á kjarnabútunum á rannsóknarstofu Dönsku jarðfræðistofnunarinnar (DGU). Ýmsar stærðir voru mældar s.s. lekt, poruhluti, og rafleiðni. DGU sendi niðurstöðurnar í skýrslu til Orkustofnunar "DGU Service report no. 59. 1995". Frekar verður unnið úr þeim niðurstöðum og birt í sérstakri skýrslu síðar. Hérna verður aðeins fjallað um samanburð á borholumælingum og kjarnamælingum.

Tekin voru 11 sýni af kjarnanum, um 1" × 1,5" (25 cm × 37 cm) á stærð. Stuðst var við myndir af kjarnanum til að ákveða dýpið á bútunum. Ekki er hægt að ákveða dýpið með meira en 0,1 m nákvæmni. Í töflu 3 eru niðurstöður poruhluta og rafleiðnimælinganna birtar.

Tafla 3. Mælingar á poruhluta og rafleiðni í kjarna.

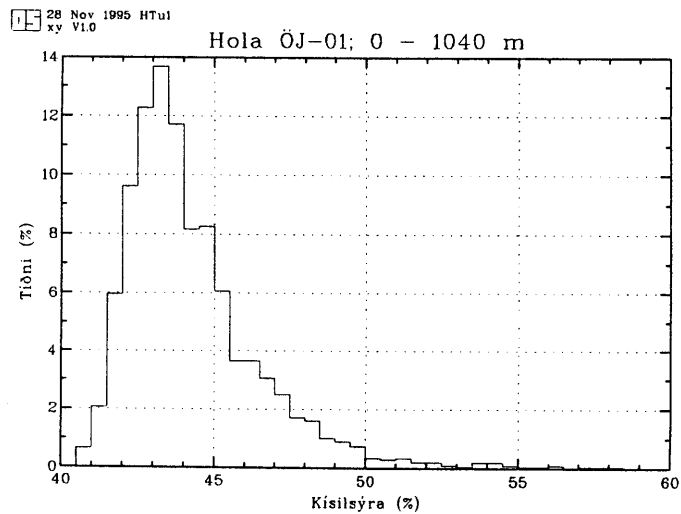
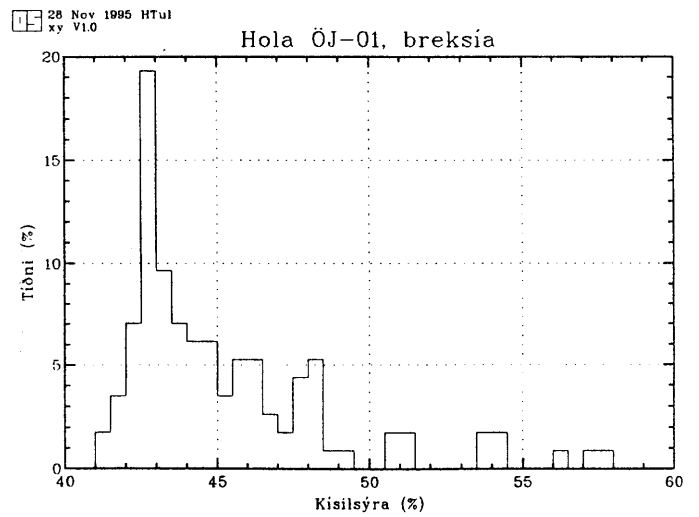
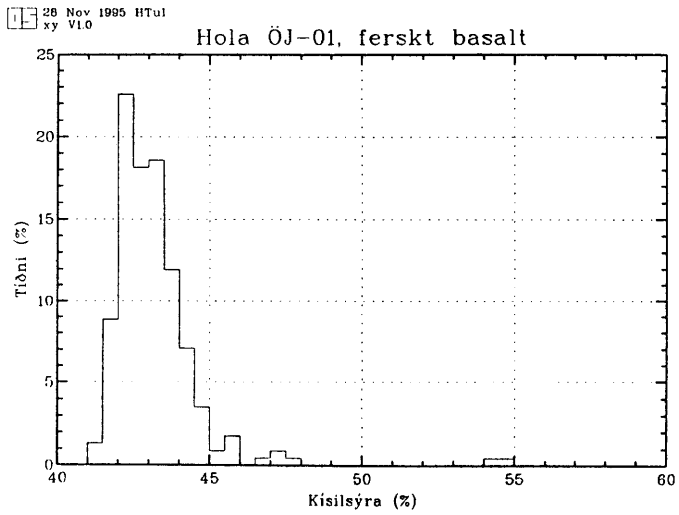
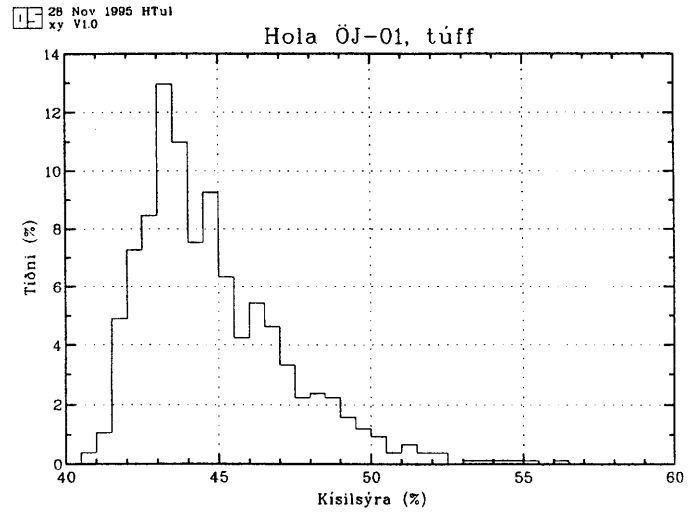
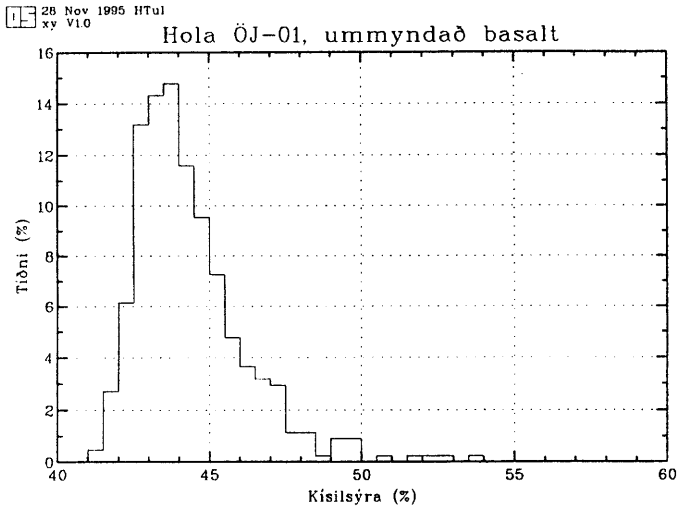
Dýpi (m)	Viðnám (Ohmm)	Virkur poruhluti (%)	Eðlismassi (g/cm ³)	Heildar massi (%)	Berg eðlisþyngd (g/sm ³)
796,15	404,2	7,45	2,815		
796,2	348,3	14,6	2,802	14,87	2,814
796,45	247,0	14,85	2,769	14,75	2,769
796,55	177,2	13,6	2,806	14,29	2,834
796,7	158,0	17,14	2,772		
796,8	193,0	15,03	2,788	16,05	2,823
796,9	162,8	16,14	2,77	16,38	2,78
797,05	171,4	15,48	2,781	16,27	2,808
797,1	112,7	17,46	2,802	17,64	2,811
797,45	162,1	18,48	2,782	18,89	2,796
797,5	158,4	19,73	2,786	20,44	2,812

Við samanburðinn voru mælingar sem mældar voru á 0,1 m fresti notaðar. Poruhluti var reiknaður út frá nifteindamælingu og víddarmælingu. Reynt var að leiðrétta viðnámið og losna við áhrif borholuvökvans. Myndir 12 og 13 sýna mældan poruhluta í borholunni (heildregin lína) og mældur virkur poruhluti á sýnunum (punktar). Virkur poruhluti var notaður, en ekki heildarporuhluti þó að nifteindamæling gefi heildarporuhluta. Þetta var gert vegna þess að fleiri gildi fyrir virkan poruhluta voru gefin upp, en mismunurinn er um eða undir 1% í poruhluta. Eins og sést á myndinni er mjög gott samræmi milli þessara mælinga. Á mynd 13 er búið að sía borholumælinguna og sést þá enn betur hversu gott samræmið er. Þau frávik sem eru á milli mæl-

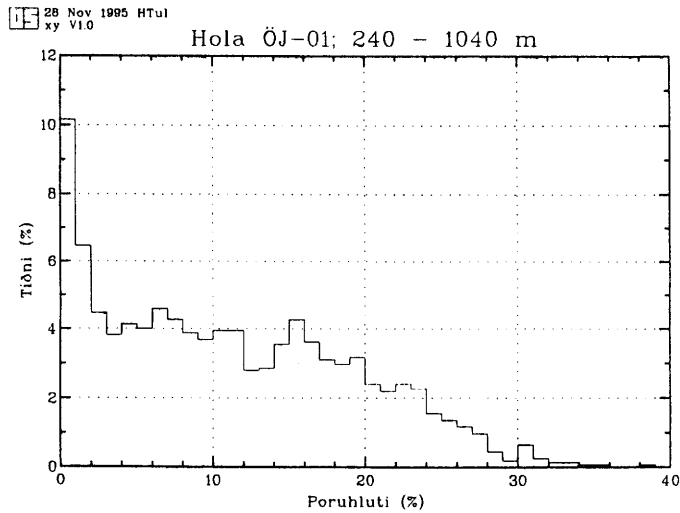
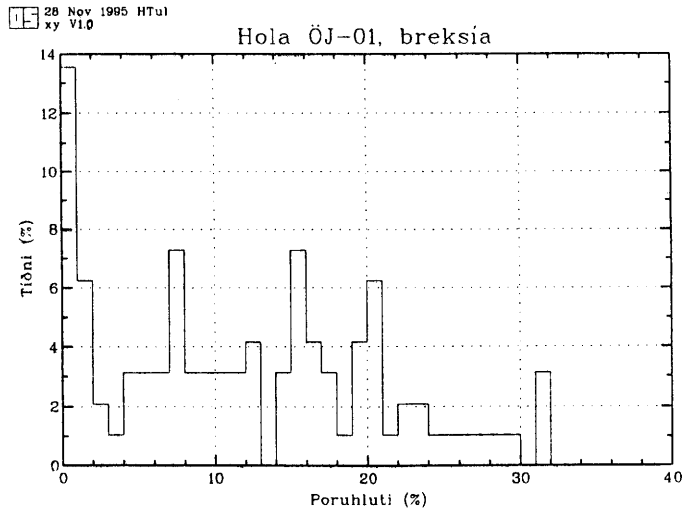
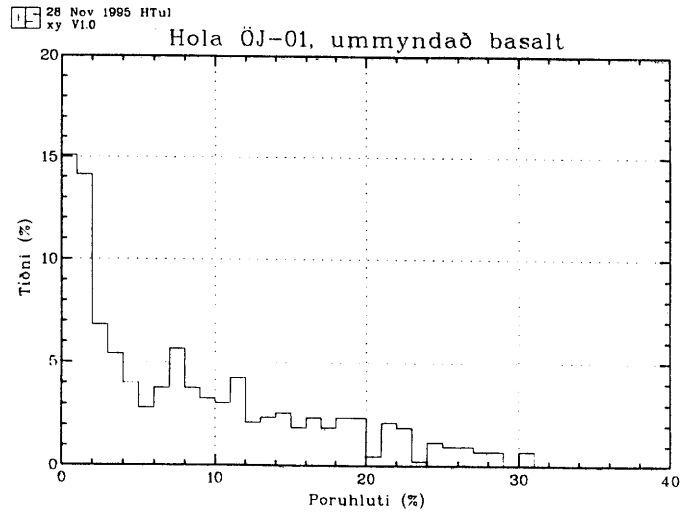
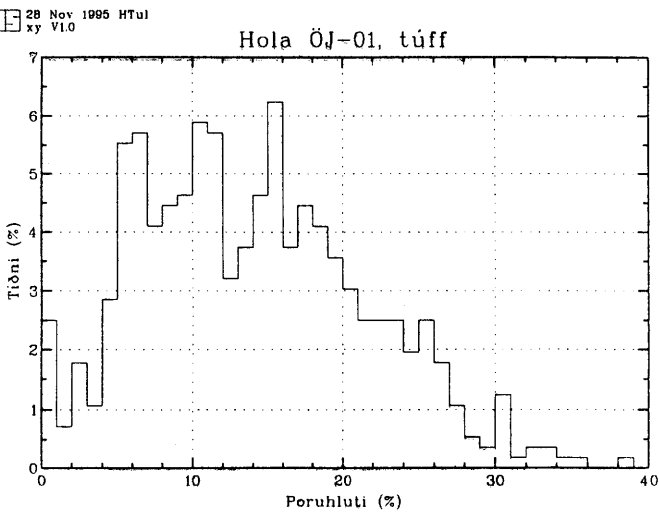
inganna er auðvelt að skýra með óvissu í dýptarákvörðun og er mesta frávikid þar sem skápur er í holunni. Þessi skápur er það víður að víddarleiðréttingin er sennilega ekki nákvæm.

Þegar niðurstöður viðnámsmælinganna eru bornar saman er samræmi ekki gott (mynd 14). Mælt viðnám í borholunni er mun lægra (um 40 Ohmm viðnám) en viðnám kjarnabútanna (112 - 404 Ohmm). Ef viðnám mælt í borholum er leiðrétt fyrir borholuvökvanum hækkar það oftast, þar sem viðnám borholuvökvans er að jafnaði lægra en viðnám bergsins í kring. Til þess að 16" og 64" viðnámin sýni eitthvað í lkindum við mælingarnar á kjarnabútunum þarf viðnám borholuvökvans að vera langt innan við 1 Ohmm, sem verður að teljast frekar ólíklegt. Tekin voru sýni úr vatnsbólunni og við dæluholurnar, en blanda af þessu vatni var notuð við borunina. Viðnám þessa vökva var um 50 Ohmm (vatnsból) og 100 Ohmm (dæluholur). Einnig voru tekin sýni af því vatni sem kom í blæstri holunnar. Fyrstu mælingar sýna um 12 Ohmm og fór síðan lækkanði með tíma. Af þessum mælingum má ætla að viðnám þess vökva sem var í holunni þegar mælt var hafi verið á milli 12 Ohmm og 50 Ohmm.

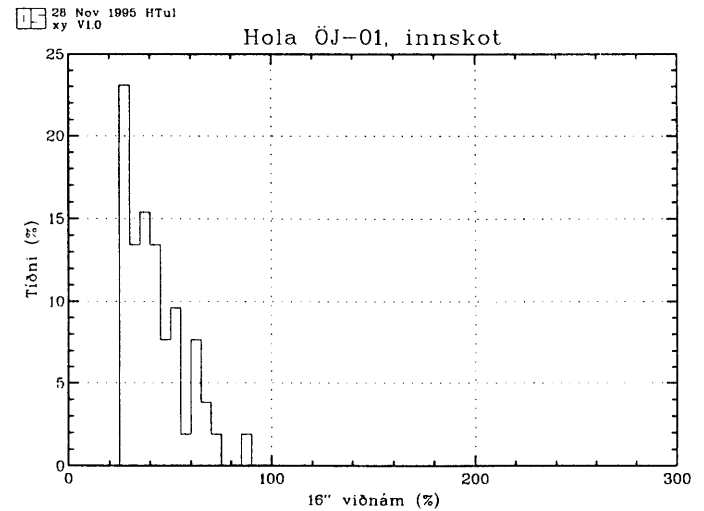
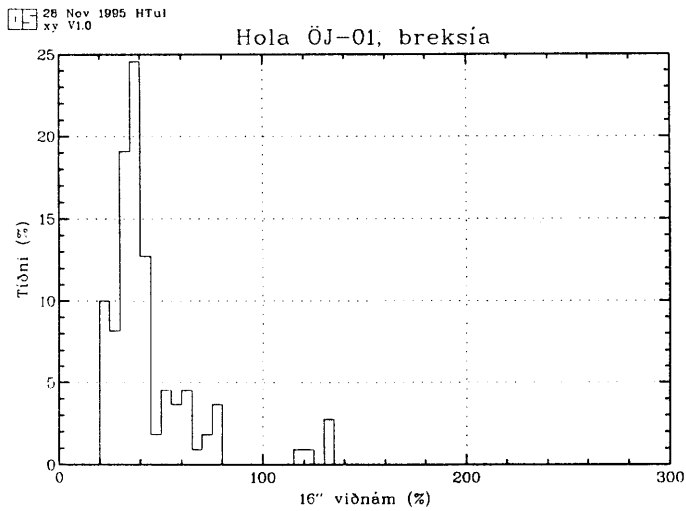
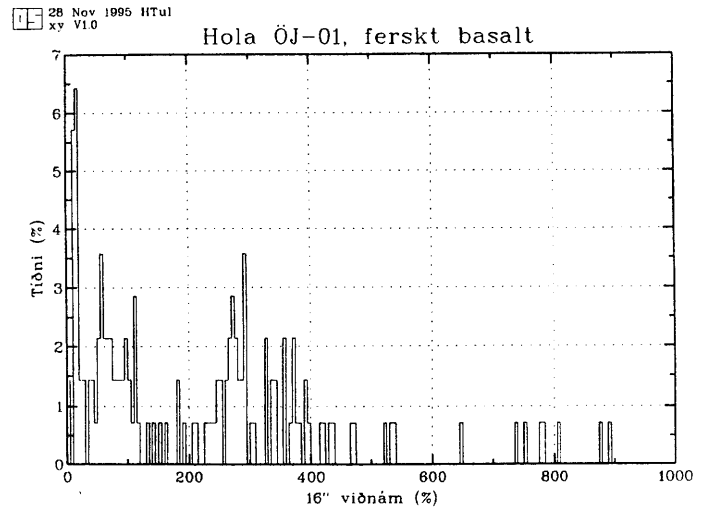
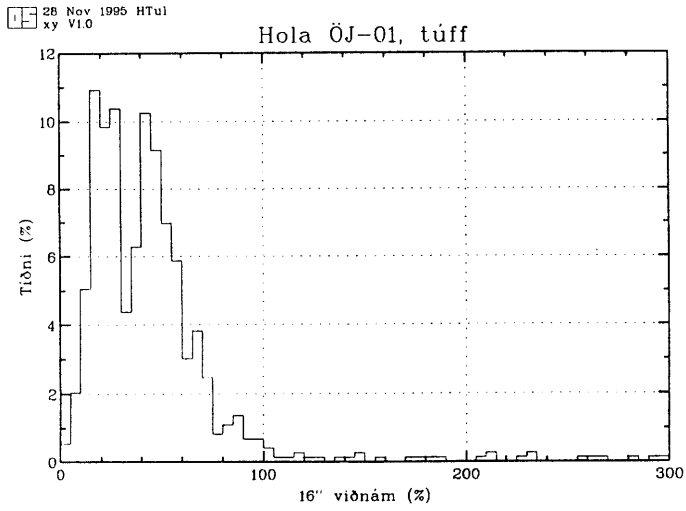
Kjarnabútar voru segulmældir með fluxgate segulmæli og sýndu þeir veika normal segulstefnu, en það bendir til að staflinn, a.m.k. niður á það dýpi, sé innan Bruhnes segultmaskeiðs, þ.e. yngra en 700.000 ár.



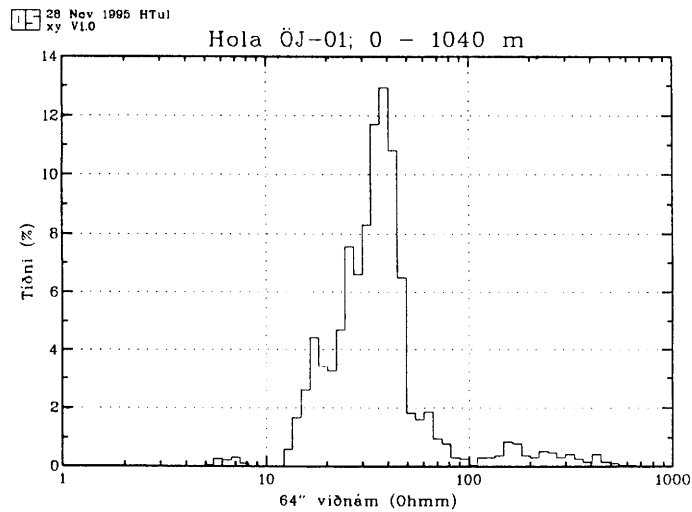
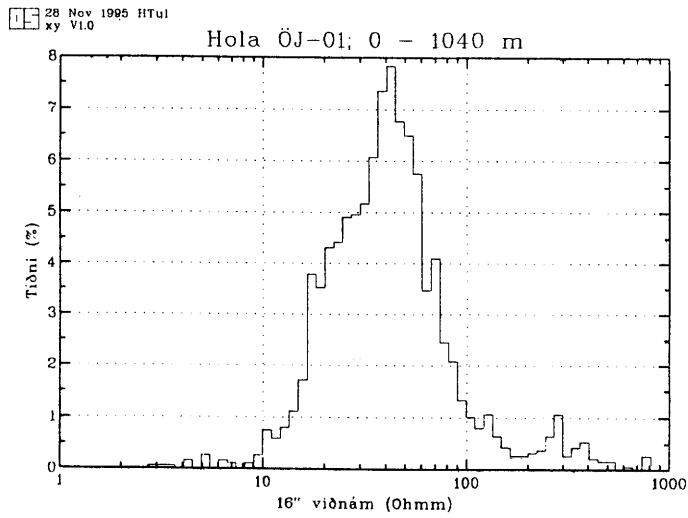
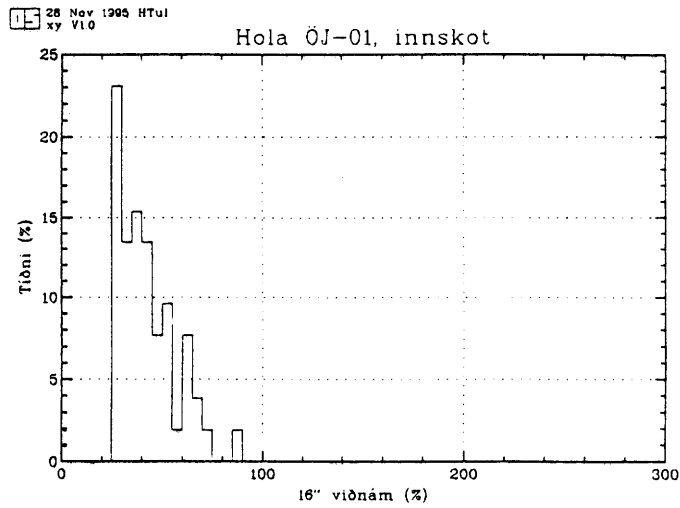
Mynd 8. Tiðnidreifing kísilsýru í ummyndaðu basalti, túffi, fersku basalti, breksíu og öllu bergi í ÖJ-1.



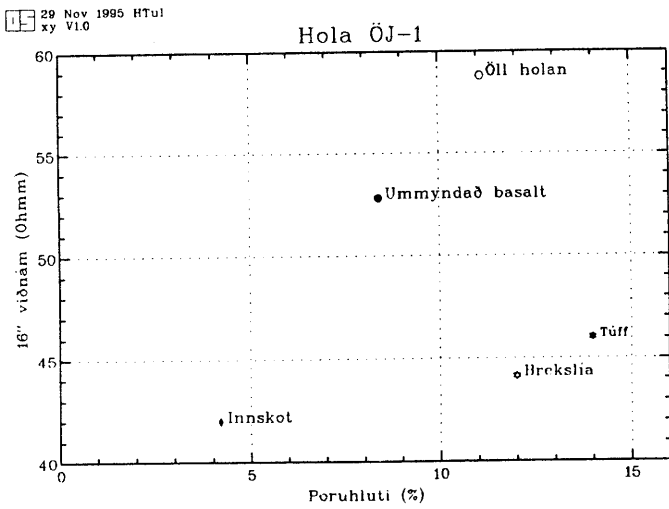
Mynd 9. Tíðnidreifing poruhluta í túffi, ummynduðu basalti, breksfu og öllu bergi í ÖJ-1.



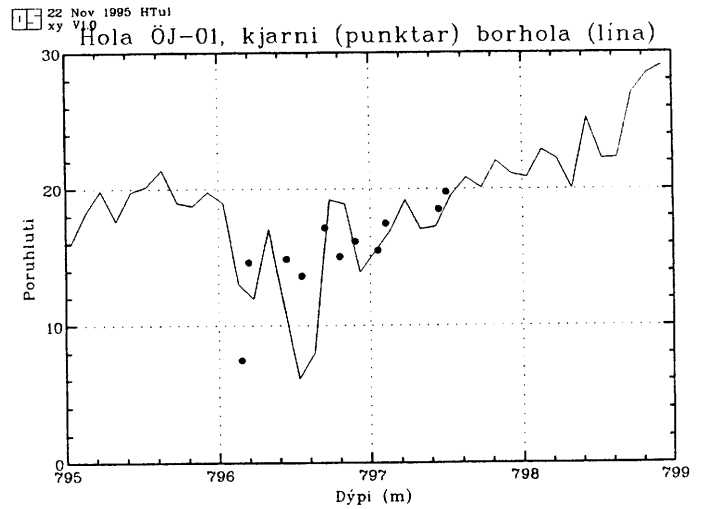
Mynd 10. Tíðnidreifing 16" viðnáms í túffi, fersku og ummynduðu basalti, breksfu, innskotum og öllu bergi, og 64" viðnáms í öllu bergi, í ÖJ-1.



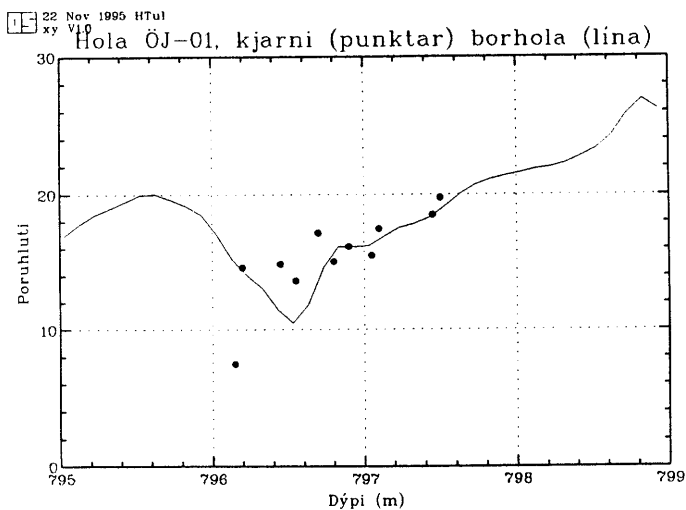
Mynd 10. (frh) Tíðnidreifing 16'' viðnáms í túffi, fersku og ummynduðu basalti, breksú, innskotum og öllu bergi, og 64'' viðnáms í öllu bergi, í ÖJ-1.



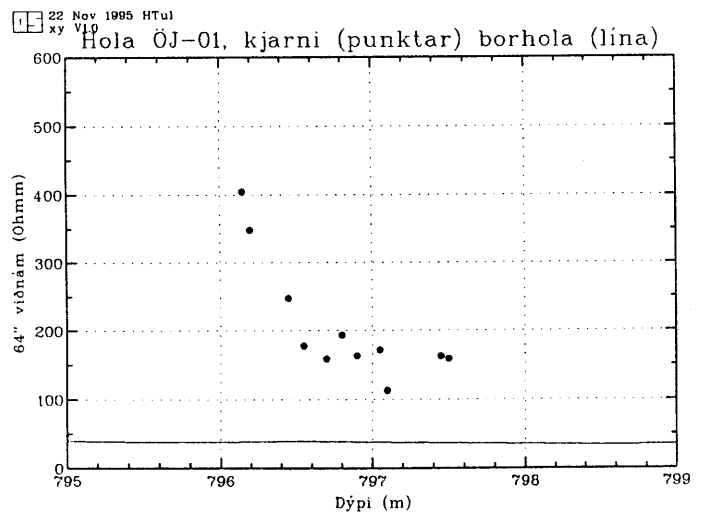
Mynd 11. Meðalgildi poruhluta og viðnáms fyrir jarðlög við hölu ÖJ-1.



Mynd 12. Samanburður á virkum poruhluta í kjarnasýnum og mældum poruhluta skv. nifteindamælingu.



Mynd 13. Samanburður á virkum poruhluta í kjarnasýnum og mældum poruhluta skv. nifteindamælingu, súð mæling.



Mynd 14. Samanburður á viðnámi kjarnasýna og 64" viðnámsferils í hölu.

5. UMMYNDUN

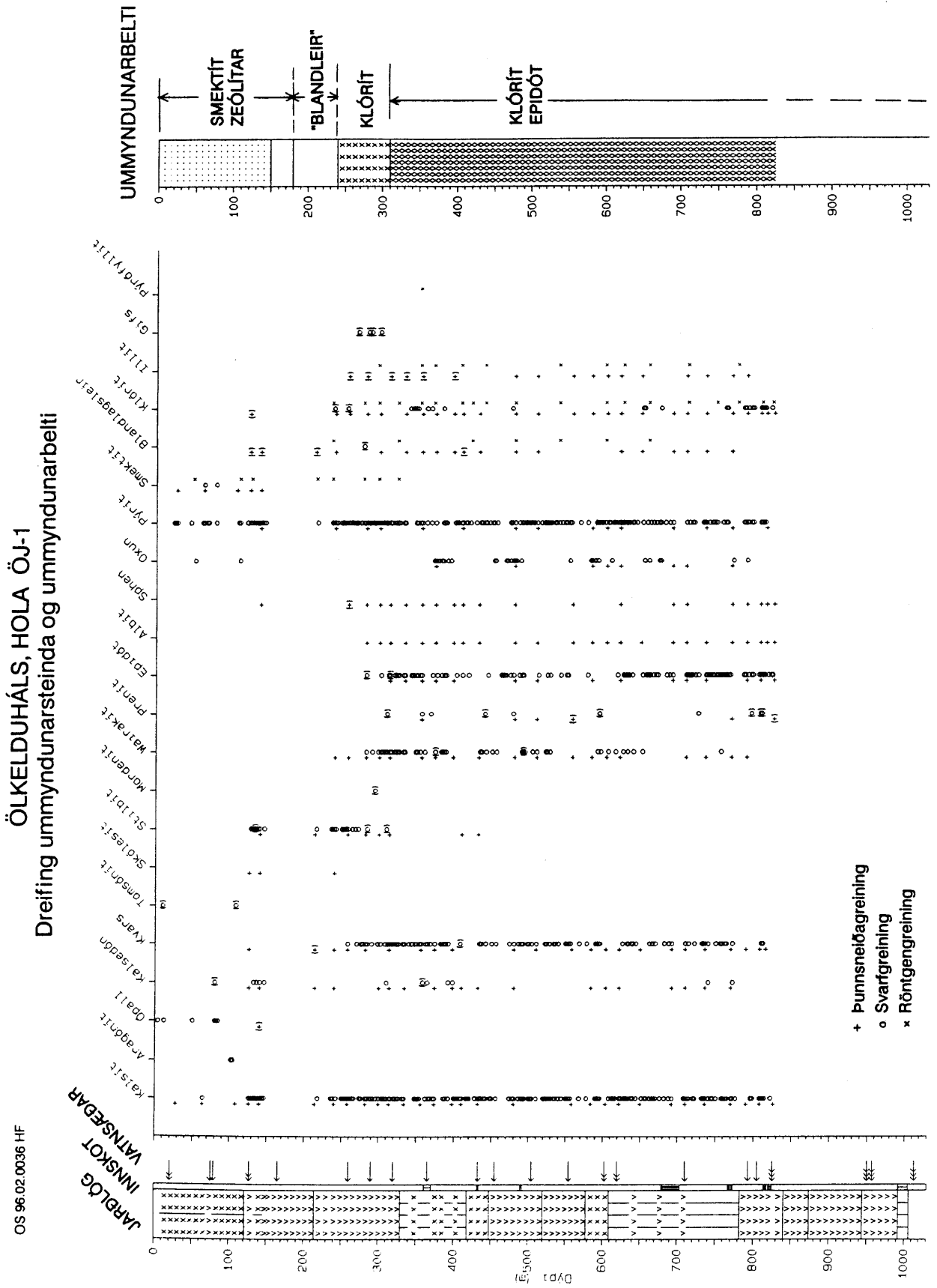
5.1 Greiningaaðferðir og tilgangur

Sömu aðferðum var beitt við greiningu á ummyndun í holu ÖJ-1 og holum á Nesjavöllum (NG-6 til NJ-18), og er því vísað til skýrslna um Nesjavallaholur umlýsingar á greiningaraðferðum. Dreifing ummyndunarsteinda er sýnd á mynd 15, og eru mismunandi táknotuð fyrir hverja greiningaraðferð, eins og venja er. Við mat á aldri ummyndunar var fyrst og fremst stuðst við yfirprentun yngri ummyndunarsteinda á eldri, hvort heldur var í holu- eða sprungufyllingum, eða í bergmassanum sjálfum. Skrá yfir þunnsneiðar er sýnd í töflu 4 með röntgengreiningum á leir og útfellingum.

Ummyndun skipar veigamikinn sess í rannsókn á jarðfræði borholunnar, því hún gefur á marga vegu upplýsingar um þróun jarðhitakerfisins og stöðu þess nú og gefur auk þess, ef tengd er við jarðfræðistrúktúra, vísbendingar um ráðandi lekastrúktúra. Áður en að beinni túlkun á ummyndun kemur, verður afmörkuðum gögnum fyrst lýst, svo sem bergumyndun, dreifingu ummyndunarsteinda og útfellingaröðum í holrými bergsins.

Tafla 4. Þunnsneiðar og röntgengreiningar í ÖJ-1.

Þunnsneiðar		XRD-útfellingar	XRD-leir	Þunnsneiðar		XRD-útfellingar	XRD-leir
Dýpi (m)	Númer	Dýpi (m)	Dýpi (m)	Dýpi (m)	Númer	Dýpi (m)	Dýpi (m)
70	14223	85	6	848	14242		
84	14224	56	186	880	14243	886	886
100	14225	84	288				892
140	14226	98	348	896	14244	924	920
174	14227	186	482	1002	14245	932	1002
186	14228	216	502	1044	14246	1020	1044
196	14229	246	60	1066	14247		
		(390)		1128	14248		
		394	702	1144	14249		
		(400)		1146	14250		
234	14231	434	790	1244	14251		
270	14232	506		1284	14252	1284	1284
392	14233	512		1356	14253	1306	1300
506	14234	(532)		1400	14254	1316	1358
		(536-538)		1430	14255	1364	1400
584	14235	550		1454	14256		
594	14236			1498	14257		1500
(660)	14237			1598	14258		
686	14238			1598	14258		1600
728	14239			1724	14259		1726
760	14240			1746	14260		1746
776	14241			1814	14261		1800



Mynd 15. Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti ÖJ-1.
(Sjá skýringar á jarðlagasniði á mynd 7).

5.2 Bergummyndun

Á mynd 16 er sýnd bergummyndun með dýpi í holu ÖJ-1. Í Bitrumynduninni er gler að hluta til ummyndað, og algerlega ummyndað þegar komið er niður fyrir þá myndun. Glerið hefur að mestu farið yfir í leir en einnig finnast vísbendingar um ummyndun þess yfir í sphen og svo kalsít, sérstaklega þar sem kalsítvirknin er mikil. Ummyndun ólivíns virðist svipuð og glers, en þar sem lítið er um ólivín í berginu er ummyndun þess verr ákvörðuð. Allt ólivín neðan Bitrumyndunar er ummyndað yfir í leir og kalsít. Upphaf ummyndunar pýroxens er á um 140 m dýpi þar sem leirumyndun þess hefst. Pýroxen er töluvert ummyndað neðan um 270 m dýpis, og í þunnneiðum á um 320 m og svo milli 700-750 m dýpis er pýroxen algerlega ummyndað. Pýroxen breytist aðallega yfir í leir, en einnig að nokkru leyti í sphen. Kalsítummyndun pýroxen er nokkuð algeng neðan 400 m dýpis, einkum þar sem kalsítæðar eru algengar. Fyrstu merki plagíóklas ummyndunar er rétt neðan Bitrumyndunar þar sem örfínar leirsprungur sjást kljúfa kristallana. Ummyndun plagíóklas verður svo meira áberandi neðan 240 m dýpis þar sem svarf tók aftur að koma upp eftir að það hafði vantað frá um 140 m dýpi. Leir, kalsít og albt eru algengustu ummyndunarsteindir plagíóklasa, en einnig sést ummyndun þess yfir í kvars, wairakít, illft, epidót og sphen. Ummyndun málmisins (magnetít/ilmenít) yfir í sphen sést fyrst á um 140 m dýpi, og er víðast hvar sjáanleg niður holuna. Hún er alger á sama hátt og plagíóklas og pýroxen á 700-750 m dýpi.

Eins og áður er getið er kalsít áberandi útfelling og sem bergummyndun. Bergummyndun við æðaveggi þar sem kalsít er ráðandi er víða nokkuð sérstök. Auk kalsítummyndunar bergsins er þar áberandi ummyndun pýroxen yfir í nokkuð sterk-pleókrófskan leir (líklega blandleir). Eftirtektarvert er að málmurinn virðist þar með öllu ótruflaður af ummynduninni. Í nokkrum tilvika var athugað hvort pýrft fylgdi kalsíti í og við þessar æðar, og reyndist svo ekki vera. Annars staðar, einkum þar sem epidót er tengt kalsíti verður vart við ummyndun málmisins yfir í sphen við sprungujaðrana. Þetta gætu verið vísbendingar um að fyrrnefndu æðarnar séu yngri en þær síðarnefndu.

Í lok fyrsta boráfangs var dælt upp miklu magni botnfalls, sem síðar kom í ljós í víddarmælingu að var líklega ættað frá 160 m niður að 200 m dýpi. Þegar bleytt var í svarfsýnunum eftir þurrkun reyndust þau þenjast og splundrast, ekki ósvipað og þegar bleytt er upp í svarfsýnum af rauðum tertferum millilögum. Ekki er ljóst á þessari stundu hvað veldur, en þetta tengist væntanlega óstöðugum leir sem þenst og skorpnar auðveldlega. Þetta þyrfti að kanna frekar í framtíðinni, því berglög með slíka ummyndun gætu reynst varhugaverð í borun.

5.3 Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti

Mynd 15 sýnir dreifingu ummyndunarsteinda, og eru þær táknaðar á myndinni eftir greiningaraðaðferð. Á sömu mynd er sýnt einfaldað jarðlagasnið, staðsetning líklegra innskota og skipting ummyndunar í belti. Þá eru vatnsæðar einnig sýndar vegna samhengis við ummyndunina. Kalsít finnst í nánast allri holunni, verður mjög algengt neðan Bitrumyndunar. Eins og nánar verður getið í kaflanum um tímavensl útfellinga, þá er kalsít af nokkrum gerðum; ofarlega í holunni sést leirborið kalsít, sums staðar verður vart við stöngullaga kalsít (dogtooth), og á það einkum við kalsít sem fallið hefur út árla í lífi jarðhitakerfisins. Algengasta kalsít er þó vel kristallað kalsít sem fyllir út í glufurnar. Á stöku stað sér einnig í tágakennt kalsít, sem virðist einskorða sig við æðafyllingar. Það sem kanna þarf sérstaklega í framtíðinni, og talið er að geti ef til vill varpað ljósi á tilurð eða myndun kalsíts, er könnun á því hvort súlfíð (pýrft) hafi myndast samtímis því eða ekki. Slík könnun gæti leitt í ljós hvort kalsítið hafi fallið út í (heitara) uppstreymi

eða sem (kaldara) innstreymi inn í jarðhitakerfið. **Aragonít** sem oftast finnst við efri mörk háhitakerfa, greindist aðeins í einu sýni á um 100 m dýpi. Gulleitur **ópall** er auðkenndur í glufum Bitrumyndunar. **Kalsedón** finnst í nokkru magni í allri holunni. Það sem einkennir kalsedón er jöfn lagþykkt þess í holrýminu auk smákríttullunar. **Víða**, einkum í neðri hluta holunnar, hefur kalsedon umkrystallast í kvars, en er samt áfram kallað kalsedón bæði til að leggja áherslu á uppruna þess og svo líka til að gera tímalega greinarmun á því og kvarsí sem kristallast seinna. **Kvars** greinist fyrst rétt neðan Bitrumyndunar (128 m), og síðan nær samfelld neðan um 250 m dýpis. **Zeólítar** finnast aðalega ofan 500 m, nema háhitazeólítinn wairakít. **Vísbendingar** um *thomsónít* fundust á tveimur stöðum innan Bitrumyndunar. **Skólesít** greindist í þunnsneiðum á um 130-150 m dýpi og síðan í einu sýni á 250 m dýpi. **Stilbít** er algengasta geislasteinstegundin og finnst aðallega frá um 130 m dýpi niður á rúmlega 300 m dýpi. Stilbít finnst einnig nokkuð óvænt í tveimur þunnsneiðum á 410-430 m dýpi. Ef dreifing annarra steinda er skoðuð, kemur í ljós að á þessu dýptarbili hverfur kvars og wairakít nær alveg og epidót er tiltölulega sjaldgæft. Þarna virðist því vera staðbundin minni ummyndun. **Wairakít** greinist fyrst neðan skoltapsbeltisins á um 230 m dýpi og er fremur algeng niður að botni svarfheimtu, og greinist vel í þunnsneiðum. **Prenít** er ekki algeng steind í borholunni, en hún greinist best í þunnsneiðum. Lauslegur samanburður við holur á Nesjavöllum bendir til að prent sé nokkru sjaldgæfara á Ölkelduhálssvæðinu. **Epidót** greinist fyrst á 310 m dýpi, og finnst nokkuð samfelld niður fyrir 800 m dýpi. Eins og frekar verður lýst í kafla 5.4 hér að neðan um tímavensl útfellinga, er epidót oftast tengt kalsíti, og sterkar vísbendingar eru um að það myndist á kostnað þess í holrýmum. Fyrstu merki um **albít**, sem ummyndun á plagíóklas, finnst á 280 m dýpi, og finnst frá því dýpi í nær öllum þunnsneiðum af bergi niður á botn holunnar. **Sphen** er í flestum tilvikum bergumyndun, en finnst einnig sem ummyndun leirs (klóríts).

Nokkuð af **oxun** sést víða í holunni, aðallega neðan 300 m dýpis. Þunnsneiðagreining sýndi að hún er a.m.k. að hluta til gömul, þar sem hún tengist æðafyllingum af smákorna kvarsí (kalsedon), og verður fjallað um þennan þátt síðar. **Pýrít**, sem notað er hér sem samnefni fyrir súlfíð, er algengt í berginu. Könnun á afstæðu magni þess er sýnt á mynd 21. Þar er a.m.k. í sumum tilfella ágætt samræmi á milli vatnslektar og magns pýríts. Pýrít er oft erfitt að setja í röðunarsæti þar sem það hefur þann eiginleika að geta kristallast nær hvar sem er. Fjórir gerðir leirsteinda voru greindar í svarfinu með röntgen, þunnsneiðagreiningu, og að hluta til í víðsjá. **Smektít** greinist frá yfirborði og niður á 320 m dýpi. Smektít sem umbreytt hefur í blandleir eða klórít er auðgreinanlegt í þunnsneiðum neðar í holunni sem leirskán við jaðra holrýmis, en ekki er tekið tillit til þess í leirgreiningunum. Efstu vísbendingar um **blandleir** greinast rétt neðan við Bitrumyndun neðan 130 m dýpis á grundvelli þunnsneiðagreininga, en í röntgen greinist það ekki fyrr en í fyrstu sýnum sem upp koma eftir svarflausa dýptarbilið frá 140 m í 240 m dýpi. Blandlag greinist í a.m.k. helmingi röntgensýna niður á um 700 m dýpi, en ekki þar fyrir neðan. Í þunnsneiðum eru vísbendingar um blandlag enn neðar.

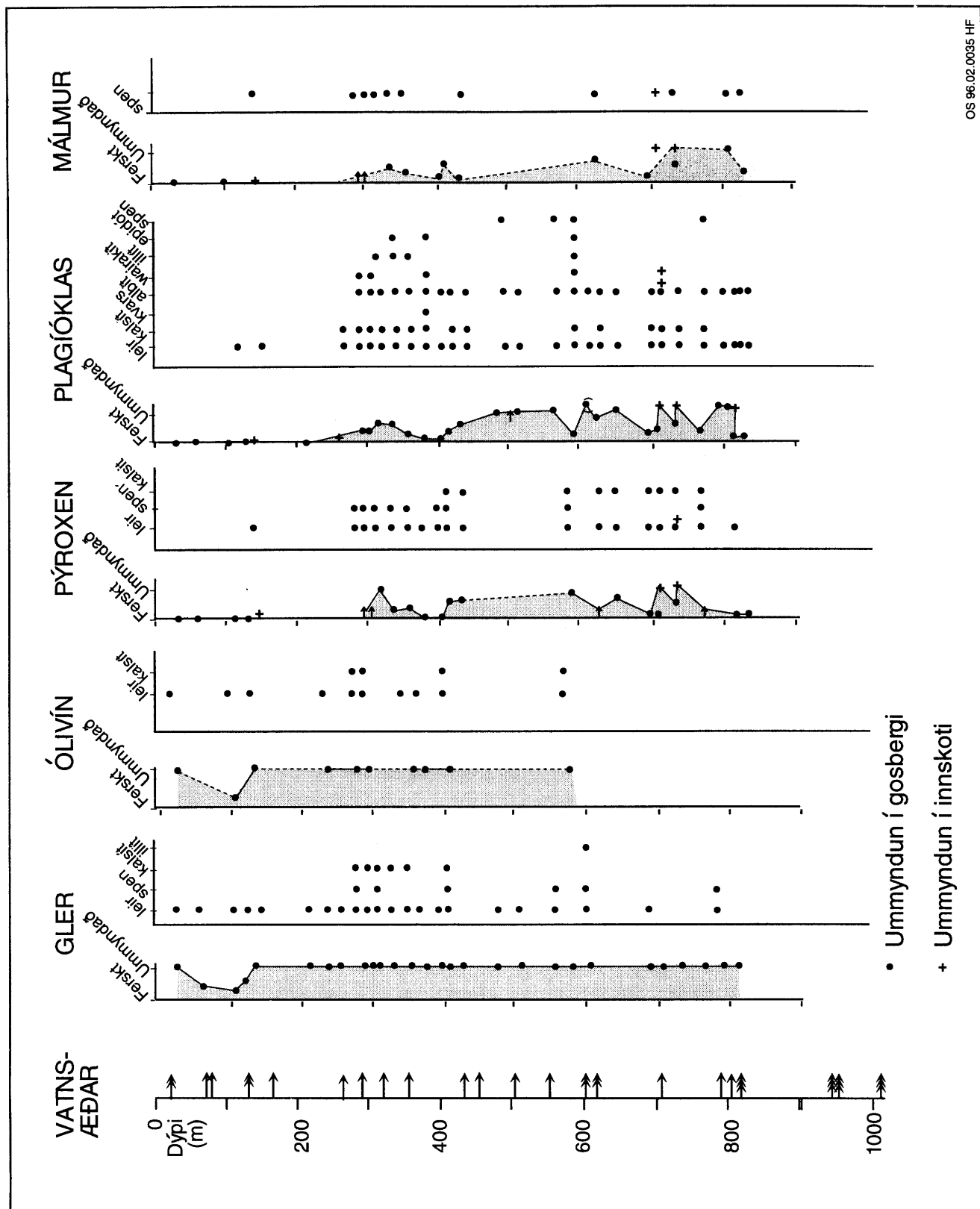
Vísbendingar um **klórít** koma fram í þunnsneið rétt neðan Bitrumyndunar, og fyrsta sýni sem berst upp neðan skoltapsónunnar á 240 m greinist klórít í röntgen og er klórít í öllum sýnum þaðan og allt niður á botn holunnar. Klórít er auðgreinanlegt í þunnsneiðum á sama dýptarbili. Tilvera illíts í svo miklu magni í Ölkelduhálsholunni kom nokkuð á óvart, þar sem sú steind hefur yfirleitt tengst ísúru og súru bergi, eins og vel sannaðist á Nesjavöllum. Erfitt er að greina hvort um illít eða serísít er að ræða, enda líkar steindir bæði í röntgen og þunnsneiðum. Í röntgengreiningum sýndi tilvera illíts sig sem stöðugur 10 Angström toppur í gegnum allar leirhremmingar (hitun, glýcol). Í þunnsneið er steindin nær ópleókróísk, tágakennd og stundum sveipmynduð. Vegna smæðar einstakra kristalla er erfitt að meta nákvæmar optíska eiginleika

steindarinnar. Eins og getið er um í kaflanum um tímavensl útfellinga virðist illt koma sem ákveðinn útfellinga- og bergumyndunarfasi. Gifs var greint með semingi í smásjá í þremur sýnum á dýptarbilinu 270-300 m dýpi. Því svipar til kalsíts, nema að það hefur mun skarpara kleifnihorn. Í einni leirgreiningu komu fram toppar sem benda til **pýrophyllíts** ($\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$), sem er steind sem höfundur veit ekki til að hafi verið greind hér á landi. Hún er aftur á móti algeng í jarðhitakerfum t.d. á Filippseyjum (Agnes Reyes, 1990) og tengist þar einkum súrum jarðhita.

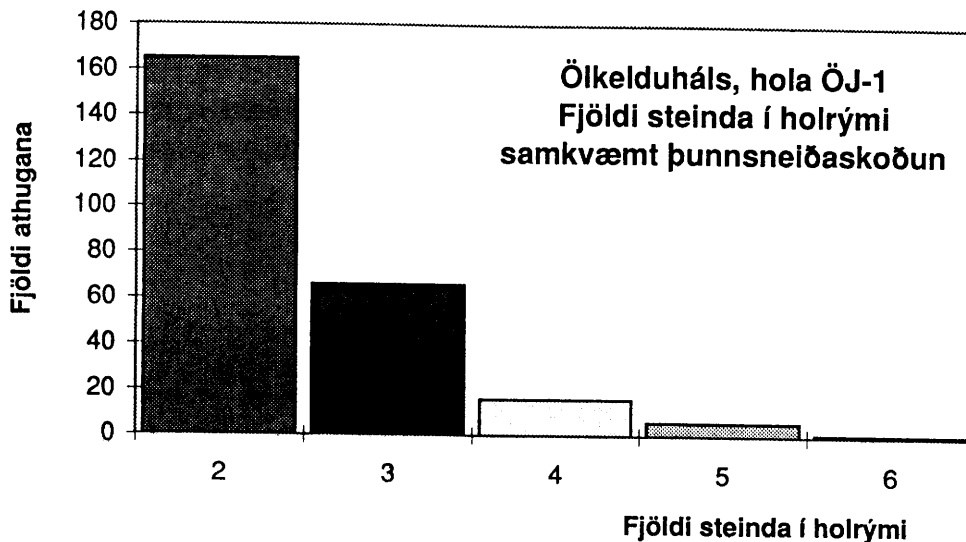
Hægra megin á mynd 15 er sýnd hefðbundin skipting ummyndunarinnar í belti. Nokkur vandkvæði eru á nákvæmri staðsetningu beltaskila vegna skorts á svarfsýnum frá um 140 m niður á um 240 m dýpi. Vísbendingar eru nokkrar um að blandlagsbeltið sé við eða nærri neðri mörkum Bitrumyndunar eða þar rétt fyrir neðan. Má þar nefna að í þunnsneiðum á því dýpi er leirinn orðinn gróffjæðraður og hápleókrófskur, og slær jafnvel þar yfir í klórítlegan leir. Kvars finnst einnig á svipuðu dýpi. Neðri mörk smektít-zeólítabeltisins eru sett á um 180 m dýpi. **Blandleirsbeltið** sést ekki beint í svarfinu, þar sem klórít er orðið ráðandi er svarf tekur að birtast á yfirborði af um 240 m dýpi. Bandleirsbeltið er því sett innan skoltapshluta holunnar og neðra borð þess er við ca. 240 m dýpi. **Klórítbeltið** nær frá 240 m og niður að 310 m dýpi þar sem epidót birtist. Vísbendingar um epidót-amfibólbelti fundust ekki.

5.4 Tímavensl útfellinga

Töluverð reynsla er komin á áreiðanleik steindaraða í holrými bergsins í jarðhitakerfum. Svo virðist vera sem íslenskt berg sé nokkuð sérstakt um háan upphaflegan poruhluta sem að mestu leyti myndast sem gasblöðrur í gosbergi. Annars staðar, svo sem á andesítvæðum við Kyrrahafið eða Kenýa, virðist mun minna af holufyllingum í berginu. Upphaflegur poruhluti þar er því bæði mun minni og ef til vill annars konar en í íslensku bergi (basalti). Röðun steinda er best greind í þunnsneiðum, þótt sumar raðir greinist vel í smásjóni. Á mynd 17 er stöplarit sem sýnir fjölda steinda í holrýmum sem skoðuð voru. Samtals voru kannaðar um 260 holufyllingar sem höfðu 2 eða fleiri steindir. Voru tæplega 170 þeirra sem höfðu 2 steindir, rúmlega 60 sem höfðu 3 steindir og um einn tugur sem hafði 4 steindir. Í nokkrum holrýmum voru fleiri lagskiptingar, allt upp í áttföld. Könnun á þeim leiddi aftur á móti í ljós að flestar þeirra höfðu að einhverjum hluta endurtekningu á sömu steindum í tví- eða þrígang. Ekki er ljóst hvað því veldur, hvort um sé að ræða sérstaka kristöllun (líkt og límonít), óvenjulegur þverskurður holrýmishins eða eitthvað annað. Það einkenni er þó að um er að ræða sömu steindir og finnast í holrýmum á sama dýpi.



Mynd 16. Dreifing ummyndunarsteinda í ÖJ-1.



Mynd 17. Stöplarit sem sýnir fjölda steinda í holrými holu ÖJ-1.

Á mynd 18 er sett fram röðun steinda yfir hvert 100 m dýptarbil í holunni neðan við Bitrumyndunina sem er aðskilin frá öðrum myndunum með mislægi. Helstu atriði önnur er varða röðunina eru eftirfarandi, og vísa númerin til dálkanna á mynd 18:

1. Elstu útfellingarnar er límonít, fínfjæðra leir, sem liggja næst vegg holrýmisins.
2. Ofan 500 m dýpis verður vart stakra stöngullaga kalsít kristalla (dogtooth), og er bæði kristallögunin og lega í tímaröðinni sérstök. Á milli 300-400 m dýpis greindist þetta kalsít einnig en ekki var þar unnt að aðskilja það frá fyrra tímaskeiði.
3. Innan þessa tímaskeiðs er kalsedón og oxun mest áberandi en einnig kemur þar fyrir pýrít. Kalsedón hefur í flestum tilvikum breytst yfir í kvars en þekkist sem það fyrrnefnda á jafnri lagþykkt innan holrýmisins, og oft sem smákrystallað kvars, en það síðarnefnda er einkum sérkenni sprungufyllinga.
4. Zeólítar greinast hér aðallega ofan 400 m dýpis, og er stílbít ráðandi.
5. Grófkristallaður leir (blandlag-klórít) er einkennandi. Þar sem zeólítar eru til staðar liggur leirinn ýmist undir eða ofaná þeim. Augljóst er þó að leirinn er yngri en zeólítarnir þar sem víðast sést að leirinn þrengir sér inn í kristalstrúktúr zeólítans. Svipað hefur einnig sést víða í holum á Nesjavöllum.
6. Kvars er nokkuð áberandi á þessu tímaskeiði neðan um 300 m dýpis. Kvarsið sem hér um ræðir einkennist mest af kristalstönglum sem greinir það frá "kalsedóninu" á þriðja skeiði. Sums staðar (einkum í efri hluta) koma fram fjaðraðar leifar kristalla (pseudomorph) í kvarsinu, sem bendir til að það hafi sums staðar amk. myndast á kostnað eldri zeólíta.
7. Annað lag af gróffjæðra leir (blandlagi, klóríti) leggst ofan á kvars, og greinist það aðallega á 300-500 m og 700-800 m dýpi. Það er ekki eins áberandi útfellingafasi og fyrra skeið gróffjæðra leirsins. Sums staðar, þar sem kvars er ekki til staðar, sést síðara leirskeiðið leggjast beint ofan á það fyrra.

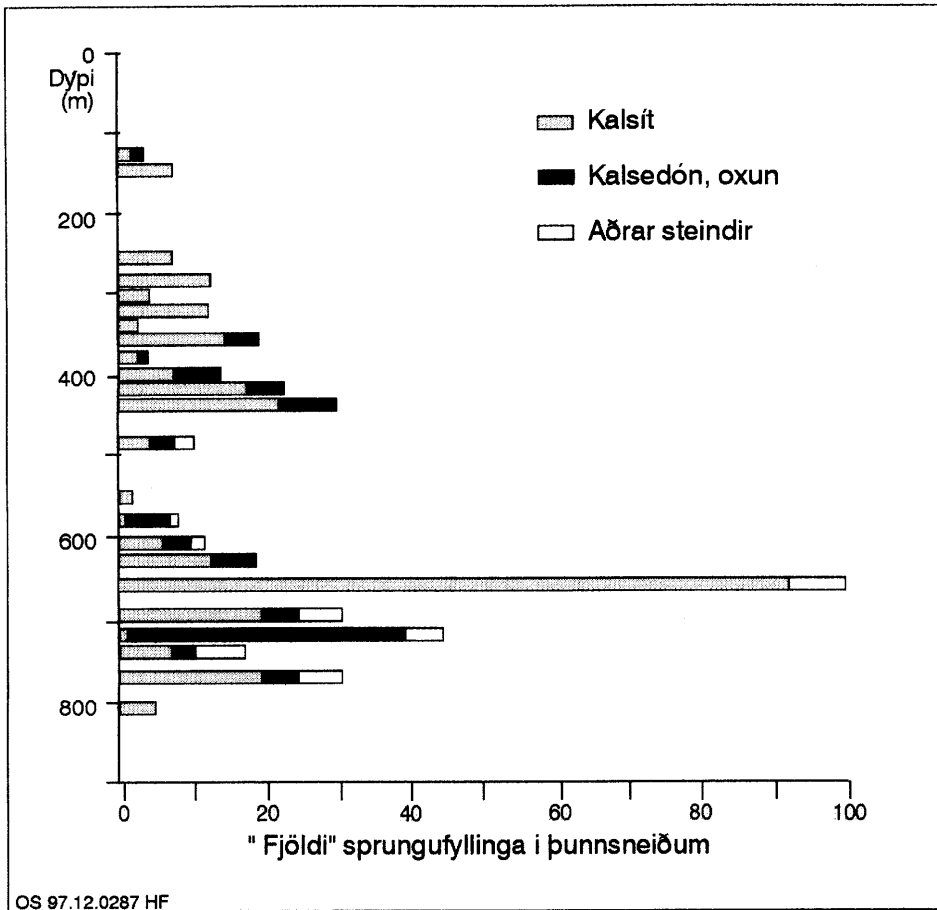
8. Wairakít kemur víða fyrir á 300-800 m dýpi og sést leggjast ofan á leirinn og sums staðar beint ofan á kvarzið.
9. Meginhluti alls kalsíts tengist líklega þessu tímasteiði og greinist mjög vel í blöðrum, þar sem það leggst ofan á eldri útfellingar. Í sprungum gegnir stundum öðru máli þar sem kalsít er einrátt og tímavensl við aðrar steindir óþekkt. Einræði kalsítsins í sprungunum gæti bent til hraðrar útfellingar þess. Eldra útfellingaskeið smákorna kvars (kalsedón) og oxunar virðist aðallega tengjast kalsítæðunum (sbr. mynd 16), og verður það atriði rakið frekar hér á eftir. Kalsít hefur þann eiginleika að troða sér inn á milli steindategunda, sérstaklega þar sem kalsítvirknin er mest og er ákaflega varasamt að taka röðunarsæti kalsíts trúanlegt þar. Bergumyndun við kalsítæðar er mikil í sumum tilvika eins og minnst er á í kafla 5.2. Ekki er ljóst hvort sú ummyndun hafi orðið meðan á kalsítútfellingunum stóð, eða hvort hún tengist síðari ummyndun. Einnig vekur eftirtekt að súlfíð virðist ekki vera mikill fylgifyskur kalsíts eins og víða er í öðrum jarðhitakerfum.
10. Þær ummyndunarsteindir sem einkenna þetta tímabil eru einkum illít, epidót, og líklega sphen. Sérkenni þessara steinda er m.a. að þær umbreyta að hluta til eldri útfellingum. Illít virðist einkum koma fyrir sem ummyndun (replacement) á wairakít kristöllum og svo sem ummyndun (replacement) á kalsíti. Í einu tilviki má sjá kristöllum illíts myndast í kjölfar grófkristallaðs klóríts. Illít sést einnig koma fram sem bergumyndun (sbr. mynd 16). Myndun epidóts í holu ÖJ-1 virðist einkum koma fyrir þar sem kalsít er til staðar. Það sem einkennir epidótið sums staðar er að það fylgir eftir kleyfniflötum kalsítsins, og hefur jafnvel sveigt það og afbakað (deformation), þ.e. að kalsítið hefur auðsjáanlega myndast á undan epidótinu. Í kjarnanum má greina æð þar sem epidót hefur endurunnið kalsít að hluta til en er fjær dregur æðinni verður kalsítið einráðara. Þannig sér maður tengsl á milli lektar og myndunar epidóts (e.t.v. hitamunur). Ef kalsítið er grannt skodað, virðist sem það sé sums staðar götött, og er ekki lokað fyrir það skotið að það hafi eitthvað leystst upp, þótt ekki sé útilokað að þunnsneiðagerðin eigi þar einhvern þátt. Mögulega tengist sphenumyndun í bergi, og/eða í útfellingum (sérstaklega í gróffjæðra leir), tengist þessum tímafasa þar sem sphen virðist fremur algengt þar sem epidót er áberandi.

Sprungufyllingar eru, eins og áður er getið, mjög algengar í svarfsýnum í holunni, og í raun mun algengari en almennt gerist t.d. á Nesjavöllum. Fjöldi æða var lauslega talinn í þunnsneiðum og einnig metið hvaða útfellingar væru þar ríkjandi. Kalsít er, eins og mynd 19 sýnir, langalgengasta útfellingin, en þar næst kalsedón og oxun, sem eru eldri en kalsít. Einnig koma fyrir aðrar steindir í minna mæli. Ef niðurstöður eru bornar saman við áður nefnda röðun steinda, er nokkuð augljóst að sprungufyllingar tengjast aðallega tveimur tímasteiðum, annars vegar skeiði 3 og hins vegar skeiði 9. Síðari tíma ummyndun kalsíts yfir í epidót og illít tengist einnig væntanlega sömu sprungufyllingum. Þetta bendir eindregið til að borholan liggi nærri sprungu og/eða misgengi, sem um langan tíma hefur verið vel vatnsleiðandi.

Dýpl / holi	TÍMI											NÚTIÐ		
	PÁTIÐ													
0-130 m	Mistægi / ummyndun	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	fínjaðra leir	>leirborð kalsít	>kalsít
130-200 m	fínjaðra leir	>leirborð kalsít	>Kalsædon (+kalsít)	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít (+pýrít)	>illit				
200-300 m														
300-400 m	fínjaðra leir + límorít + kalsít (dogtooth) + pýrít	>kalsædon	>kalsædon + pýrít	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít + pýrít	>illit				
400-500m	Límorít +fínjaðra leir	>kalsít (dogtooth)	>kalsædon	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít	>U-epíðót + sphen (bergumyndun) +U-illit		>prent		
500-600 m			>Kalsædon +oxun +pýrít	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít	>illit +epíðót +sphen				
600-700 m			>kalsædon +oxun +pýrít	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít	>U-epíðót +pýrít				
700-800 m	Límorít +kalsít	>kalsædon +pýrít +oxun	>kalsædon +pýrít +oxun	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít	>U-epíðót +U-illit		>prent		
800-900 m		>kalsædon	>kalsædon	>zedítt	>grófjaðra leir	>kvars	>grófjaðra leir	>walrakt	>kalsít (+pýrít?)	>U-epíðót				

SKÝRINGAR: Steind A.> steind B = Steind A eikri en steind B // Steind A + steind B = Afstæð aklurabó óvlas // u-steind A = Steind A mynduð á kostnað annarrar (útfellinga)steindar

Mynd 18. Röðun steinda í ÖJ-1 yfir hvert 100 m dýptarbil.



Mynd 19. "Fjöldi" sprungufyllinga í þunnsneiðum.

5.5 Vökvabólur

Vökvainnlyksa er vökvi sem lokast hefur inni í kristal, annað hvort þegar kristallinn er að myndast (prímer) eða í sprungum, sem komið hafa í kristalinn eftir að hann myndaðist (sekúnder). Vökvinn, er jarðhitavökvinn sem streymdi um bergið, þegar innlyksan myndaðist. Á tiltölulega einfaldan hátt er unnt að mæla nákvæmlega þann hita sem ríkti við kristalinn er innlyksan varð til. Í þessari rannsókn voru teknar útfellingar á tveimur dýptarbilum, annars vegar í kjarna sem tekinn var á um 795 m dýpi, og hins vegar í svarfkornum af um 620 m dýpi. Auðveldast reyndist að finna vökvabólur í kjarnanum, en tafsamara að leita þeirra í svarfinu. Mestur hluti vökvainnlyksanna fannst í kalsíti, enda er það ein algengasta útfellingin í kerfinu. Nokkrar vökvabólur reyndust vera í kvarsi, og nokkrar voru í wairkakíti. Þær síðastnefndu reyndust óstöðugar og ekki unnt að endurtaka mælingar vegna þess að vökvi sleppur út við hitun. Langflestar vökvabólanna reyndust vera sekúnderar, þ.e. myndaðar eftir að steindin féll út úr vökv-anum. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á mynd 26. Flestar mælingar úr kjarnasýnum féllu á hitabilið frá um 260-290°C með hápunkti við 270-275°C. Aðeins ein innlyksa fannst í þessum sýnum sem gaf hita við 210-215°C. Fremur fáar innlyksur fundust í útfellingum af um 620 m dýpi, og dreifðust á milli 250-300°C, en nokkrar reyndust hópa sig milli 205-215°C hita. Nið-

urstaðan er því sú að meginhluti innlyksanna reynist hópa sig við eldra og heitara tímaskeið jarðhitakerfisins, og er það í takt við ríkjandi ummyndunarmynstur, en veikari vísbendingar eru um síðara jarðhitaskeiðið sem lýsir núverandi hita. Vert er að geta þess að núverandi berghiti eins og hann er áætlaður út frá hitamælingum er 5-15°C lægri en hann mælist lægstur í vökvabólum. Líta ber á þessa mælingu sem forkönnun á vökvabólum í Ölkelduhálskerfinu, og er æskilegt að fleiri mælingar verði gerðar, sérstaklega í efri hluta holunnar.

6. EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS

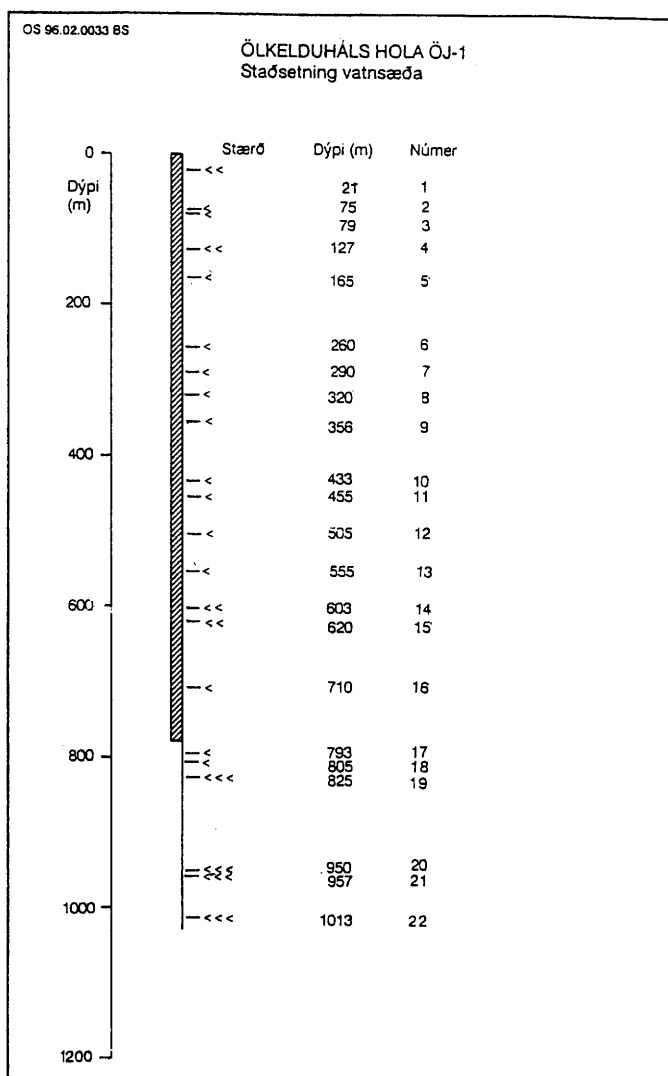
6.1 Staðsetning vatnsæða

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

Alls fundust vísbendingar um 22 vatnsæðar í holu ÖJ-1 og eru 6 þeirra í vinnsluhlutanum. Helstu vinnsluæðarnar eru á 825, 950, 957 og 1010 m dýpi. Við æðina á 825 m kom fram algjört skoltap og var borað til botns með fullu skoltapi. Allar þessar æðar eru mjög vel opnar og er erfitt að gera upp á milli þeirra, þótt ýmislegt benti til þess að neðsta æðin sé sú opnasta.

Á mynd 20 er sýnd staðsetning vatnsæðanna og afstæð stærð þeirra samkvæmt mati skýrsluhöfunda á tiltækum gögnum, en hér á eftir er lýst helstu einkennum hverrar æðar og jarðfræðilegra aðstæðna. Dýptartölur eru miðaðar við drifborð Jötuns, sem var 6,86 m ofan við kjallarabrún.

1. **21 m** Minnst er á í borskýrslum höggbors að vatn hafi komið í holuna á þessu dýpi (12 m skv. höggborsdýpi en það er um 9 m ofan við dýptarskala Jötunsholu). Æðin kemur fram í bólstrabergi. Á þessum stað verður vart við mögulegan zeólít og ópahnúða. Æðin sést í hitamælingu, sem gerð var í höggborsholunni áður en hún var fódruð. Hiti æðarinnar var þá um 7°C, en er væntanlega breytilegur eftir árstíma. Skolvatnsholurnar tvær, sem boraðar voru við borplanið vinna úr þessum leiðara. Mældur hiti í þeim holum var í júní 1995 á bilinu 5-6°C.
2. **75 m** Æðin kemur fram í hitamælingu í höggborsholu. Æðin er í túfflagi á milli bólstrabergslaga, þ.e. á lagskilum innan Bitrumóbergsins. Svarfsýni af þessu dýpi eru af mun ummyndaðra og útfellingarfakara bergi. Vatnshiti æðarinnar er um 35°C.
3. **79 m** Um 2 l/s skoltap kom í holuna um leið og borað var niður úr höggborsfóðringu (79-85 m). Æðin sést í hitamælingum. Hún kemur fram á lagskilum túffs og bólstraberg, og er líklegast nátengd æðinni í 75 m dýpi þar sem hún er innan sama lags.
4. **127 m** Hitamælingar sýna æð á þessu dýpi og kemur hún fram í mikið ummynduðu túffi á mótum jökulbergslags og móbergstúffs. Æðin liggur á skilum milli Bitrumóbergsins og eldri myndunar fyrir neðan. Vera má að þessi lagskil séu vel vatnsleiðandi. Ef horft er á kort af ummyndun á yfirborði verður víða vart jarðhita á yfirborði við þessi jarðlagaskil. Algert skoltap kom í borun á 146 m dýpi, en engar hitamælingar sýna nokkurn vott af vatnsæð þar. Líklega á skoltapið rætur sínar að rekja til þess að æðin í 127 m hefur opnast. Hiti æðarinnar er um 35°C og tilheyrir hún væntanlega sama vatnskerfi og æðarnar á 75 og 79 m dýpi.
5. **165 m** Kælipunktur kemur fram í hitamælingu eftir að öryggisfóðring var steyppt. Þetta bendir til þess að vatn hafi tapast út í jarðlögina á þessu dýpi. Hins vegar var borað í algeru skoltapi á þessu dýpi og því ekki neinar upplýsingar til um hvort leki hafi aukist þarna. Jarðlagamælingar benda til að borað sé þar í gegnum basaltlög innan móbergsmýndunar og mælast þrír skápar nærri þessu dýpi (161, 164 og 167 m), sem gætu verið vísbendingar um lekt. Lektin er því líklegast tengd lagskilum innan móbergsmýndunar (e.t.v. basalteitlar innan móbergsmýndunar). Þegar komið var í fóðringardýpi sýndu hitamælingar að holan



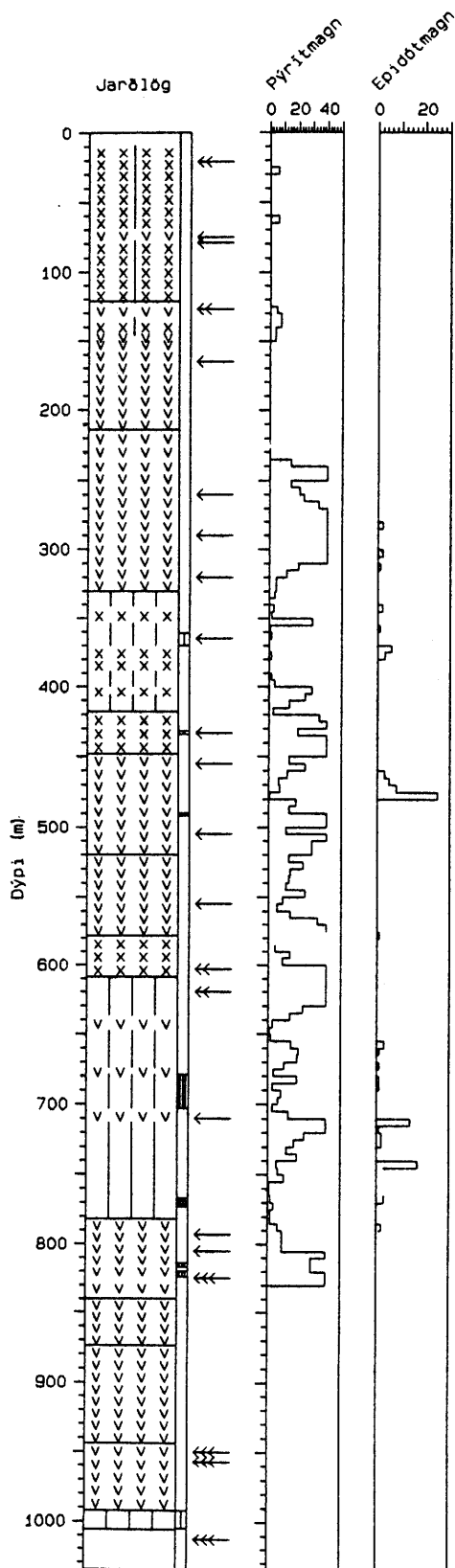
Mynd 20. Staðsetning vatnsæða í holu ÖJ-1.

var nánast þétt neðan 127 m vatnsæðarinnar. Berghiti vex einnig hratt með dýpi þegar komið er niður úr Bitrumynduninni. Æðin á 165 m verður því að teljast smáæð. Hiti hennar er um 75°C.

6. **256 m** Þessi æð kemur fram sem áberandi kælipunktur í mörgum hitamælingum. Kælipunkturinn virðist birtast á bilinu frá 255-265 m dýpi. Æðin er, að því er virðist, innan einhæfs túffs. Á 254-260 m dýpi verða sprungufyllingar algengar. Ummyndun er nokkuð mótsagnakennd þar sem þar fer saman klórít og stilbít. Borhraði er hærri á bilinu 255-260 m og langhæstur á bilinu 256-257 m og vottar þar einnig fyrir smáskáp. Líklegt er að æðin komi fram við "lóðrétta" sprungu, þar sem ekki sjást neinar vísbendingar um lagaskil. Hiti er um 145°C.
7. **290 m** Áberandi kælipunktur sést á þessu dýpi í mörgum hitamælingum, svipaður að stærð og við æðina á 260 m dýpi. Á 300 m dýpi varð algert skoltap í 5 mínútur. Þýrft er mjög algengt á dýptarbilinu frá um 260 m niður á um 320 m dýpi. Sprungufyllingar eru nokkuð algengar í þunnarneidum af 258 og 282 m dýpi, og eru þær aðallega kalsít. Hiti er

um 155°C.

8. **320 m** Áberandi kælipunktur í hitamælingum. Þýrt er ekki algengt á þessu dýpi, en áberandi aukning er á ummyndun bergs, sem greinist í þunnsneið af 334 m dýpi. Æðin kemur fram í móbergstúffi og er borhraði hár á dýptarbilinu frá um 310-326 m dýpi, og samsvarar það útvíkkun í holuvídd og toppar koma fram í gammamælingu á sama dýptarbili sem bent gætu til ummyndunar við vatnsæð. Hiti er um 165°C.
9. **356 m** Kælipunktur kemur fram í hitamælingum á 350-360 m dýpi. Fyrsta skoltapið (4,5 l/s) í þessum áfanga varð á dýptarbilinu frá 340-353 m dýpi og jókst óverulega (1 l/s) frá 353 til 380 m dýpis. Margar kalsítsprungur sáust í þunnsneið af þessu dýpi. Þá var þarna óvenju hár borhraði og einnig sést toppur í náttúrulegu gamma. Æðin kemur líklegast fram við jaðar basalts og þunns túfflags. Hiti er um 175°C.
10. **433 m** Áberandi kælipunktur koma fram í hitamælingum á um 435 m dýpi. Þýrt er áberandi. Í þunnsneið af 432 m dýpi kemur fram mikill fjöldi sprungufyllinga sem að miklu leyti er kalsít en einnig nokkuð um kasledon. Líklegast er æðin á 433 m dýpi því þar kemur fram mjög skarpur og áberandi gammatoppur. Æði virðist koma fram við lagskil afar ummyndaðs túfflags og þunns þétts basaltlags. Ummyndun basaltlagsins er tiltölulega lítil miðað við ummyndun túffsins, og er því mögulegt að basaltið sé innskot. Æðin gæti því verið tengd innskoti. Hiti er um 188°C.
11. **455 m** Á þessu dýpi varð vart við kælipunkta í hitamælingum. Æðin kemur líklegast fram við jaðra á þunnu basaltlagi við túfflag. Basaltlagið gefur sterka svörun í nifteindamælingu, auk smátöpps í viðámsmælingu. Hiti er áætlaður 191°C.
12. **505 m** Áberandi kælipunktur sem kemur fram í upphitunamælingu eftir steypingu vinnslufóðringu, en er ekki ljós í öðrum mælingum. Skoltapsaukning (1,5 l/s) mælist á dýptarbilinu frá 496-506 m. Ef um æð er að ræða kemur hún fram í þunnu breksúlagi innan túffmyndunar. Hiti er 195°C.
13. **555 m** Ákveðinn kælipunktur kemur fram í hitamælingum eftir að vinnslufóðring var steyppt. 1 l/s skoltapsaukning verður á dýptarbilinu frá 550-574 m. Ef um æð er að ræða kemur hún líklega við jaðra basaltlags og túffs. Berghiti er áætlaður 196°C.
14. **603 m** Áberandi kælipunktur í hitamælingum. Á 604-615 m dýpi verður 13 l/s skoltapsaukning. Á 603 m dýpi mælist tiltölulega hár gammatoppur (og annar á 606 m). Æðin er við jaðar túffs og basaltbreksfú.
15. **620 m** Áberandi kælipunktur í upphitun eftir fóðringu og einnig sem brot í hitamælingu í áðælingu fyrir fóðringu. Æðin er líklega við jaðar basaltlags og túffs. Hiti er um 197°C.
16. **710 m** Þessi æð liggur dýpst skv. hitamælingum sem gerðar voru þegar borað hafði verið fyrir vinnslufóðringu (781 m). Skoltapsaukning (2 l/s) verður á dýptarbilinu frá 689-702 m dýpi. Gammamæling sýnir hátt útslag, sérstaklega á 710 m dýpi. Hár borhraði er á 704-708 m dýpi. Æðin kemur fram við eða nokkrum metrum neðan við basaltinnskot, og er mögulega tengt því. Berghiti er um 198°C.
17. **793 m** Skoltap kom í holuna við þetta dýpi (um 23 l/s). Æðin er mögulega tengd þunnu fínkorna basaltinnskoti.



Mynd 21. Afstætt magn pýrríts og epidóts í holu ÖJ-1. (Sjá skýringar á mynd 7).

18. 805 m Æðina má greina í hitamælingu sem innstreymi í holuna í ádælingu. Æðin virðist vera innan móbergstúffs um 10 m ofan við basaltinnskot.
19. 825 m Algert skoltap verður í 825 m, og fellur það mjög vel saman við hitamælingu í borlok þar sem streymir inn í holuna í ádælingu. Innstreymið var áætlað um 9 l/s, og blandaðist það ádælingunni og streymdi áfram niður holuna. Trúlega eru þarna tvær æðar á um 2 m bili. Mjög líklega eru æðarnar við jaðra á basaltinnskotum. Mikil óregla kemur fram í gamma og nifteinda- og viðnámsmælingunum, sem bendir til að innstreymi úr æðinni (e.t.v. gas) hafi þessi truflandi áhrif á mælingarnar. Hiti æðarinnar er 198°C.
20. 950 m Áberandi hitastökk er í hitamælingu vegna innflæðis heitara vatns inn í holuna í ádælingu. Borað var í algeru skoltapi. Áberandi skápur kemur fram í 951 m dýpi sem mögulega er réttari staðsetning æðarinnar, og þar er einnig hár borhraði. Hugsanlega eru jarðlagaskil á milli móbergsmýndana á um 944 m dýpi, sem sést í stökkbreytingu í gammamælingu, þar sem myndunin fyrir neðan gefur hærra útslag.
21. 957 m Hitamælingar sýndu innstreymi um þessa æð þegar dælt var á holuna í lok borunar. Áætlað samanlagt innstreymi um æðina á 950 m og þessa var um 15 l/s, samanborið við 9 l/s úr æðinni á 825 m dýpi. Nifteindamælingar benda til hás poruhluta. Einnig sést óveruleg hækkun í gamma. Hiti er sá sami og á æðunum hér að ofan eða 198°C.
22. 1013 m Allt vatn sem dælt var á holuna í lok borunar og innstreymið um æðarnar á 825, 950 og 957 m dýpi streymdi út um æð neðan 1010 m dýpis. Frá um 1010 m dýpi og niður á botn holunnar á 1035 m dýpi var mikið hrun í holunni, sem ekki tókst að mylja.

Var auðséð út frá víddarmælingu að mikil skápamyndun var í holunni á þessum stað og stöðugt hrun. Hitamælingar sýndu að ádæling fór niður á botn holunnar. Mjög líklega er hrunið rakið til vatnsæðarinnar, og líklegt að þessi langi hrunkafla bendi til þess að æðin liggji nokkuð samhliða holunni þ.e. lóðrétt. Leiðarinn situr nú á toppi hrunsins á 1013 m dýpi, og er hér gengið út frá því að æðin sé þar.

Pýrftaukning hefur stundum verið notuð sem stuðningsgögn við staðsetningu vatnsæða. Á mynd 21 er sýnt einfaldað jarðlagasnið, vatnsæðar, og svo mat á pýrft- og epidótmagni (talning á svarfspjaldi). Þokkalegt samræmi er á milli hárra pýrftgilda og vatnsæða, þótt ekki sé það einhlítt, t.d. er pýrft fátítt við æðarnar á 320, 365, 555, og 793 m dýpi. Samanburður á sams konar athugunum í holum á Nesjavöllum virðast benda til að pýrft sé mun algengara í ÖJ-1 (ofan 1000 m dýpis) og að pýrfttopparnir nái yfir stærra dýptarbil. Hugsanlega gæti þetta bent til að æðarnar sem skila af sér pýrftinu liggja ef til vill meira samhliða holunni en þvert á hana. Erfitt er að alhæfa að svo komnu máli, t.d. virðist basaltrfka móbergið á milli 330 og 420 m dýpi vera fremur pýrftsnautt, sem bendir til að jarðlögin geti haft áhrif á pýrftmagnið. Tengsl vatnsæða við epidót eru nokkuð óljósari, en þó falla æðar saman við epidóttoppa nærri æðunum á 365 og 710 m dýpi. Svo virðist sem lítil fylgni sé á milli mikils pýrftmagns annars vegar og epidóts hins vegar, og er það, að kanna nánar samspil kalsíts, pýrfts, einn hlutur í eftirfylgni þegar kemur að borun næstu holna á Ölkelduhálssvæði.

Í töflu 5 gefur að líta tilraun til að tengja vatnsæðar við jarðfræði í holuveggjunum. Svo virðist sem lagskil bæði innan móbergsmýndana og svo á milli þeirra geti verið meginlekastaðirnir. Tektonískar sprungur gætu skýrt tvo lekastaði og innskot eiga mögulegan þátt í að skýra allt að 6 æðar. Óvissa er nokkur eins og framsetning gagnanna ber með sér.

6.2 Vatnsleiðni

Vatnsleiðni við holuna var fyrst könnuð 11. janúar 1995 strax að aflokinni kjarnatöku. Borun vinnsluhluta holunnar var þá rétt hafin, holan 799 m djúp og opin á um 21 m kafla. Vitað var um vatnsæð nálægt botni holunnar, þar sem skoltap hafði mælst um 25 l/s fyrir kjarnatökuna. Eftir upptekt kjarnarörsins var ádæling á holuna stöðvuð og fylgst með lækkun vatnsborðs í henni næstu 60 mínúturnar. Miðað við seinni upplýsingar úr holunni má ætla að vatnsborðið hefði náð jafnvægi á um 350 m dýpi (mynd 22). Það vatnsborð, ásamt eðlisþunga kaldrar vatnsúlu ($> 18^{\circ}\text{C}$), gefur þrýstinginn á æðinni á 793 m um 43,1 bar. Vatnsleiðni þessarar æðar má áætla út frá lækkun vatnsborðsins um $kh/\mu = 0,16 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$ miðað við að ádælingin hafi verið um 11,2 l/s.

Vatnsleiðni holunnar var næst könnuð með þrepaðælingu við lok 3. áfanga í borun hennar er holan var 1035 m djúp. Þrepaðælingin hófst að kvöldi 21. janúar 1995 og stóð fram yfir miðnættið. Rúmlega 20 m botnfall var í holunni, en hætta varð borun þarna að sinni vegna aðstæðna er áður höfðu komið fram. Búið var að setja leiðara í holuna og er gangi þrepaðælingarinnar lýst í viðauka V-4. Millirennslí var þá í holunni og streymdi inn í hana úr æðum á um 824 m dýpi og 950-960 m dýpi og niður til botns holunnar á 1013 m dýpi. Samkvæmt úrvinnslu hitamælinga, sem gerðar voru samhliða mælingum á þrýstingi meðan á þrepaðælingu stóð, virðist innrennslíð lítið breytast þó ádælingu væri breytt milli 9,9 l/s og 27, 3 l/s. Innstreymið var áætlað um 9,1 l/s úr æðinni á 824 m dýpi og um 15,2 l/s úr æðunum á 950-960 m, eða alls um 24,3 l/s. Í þrepaðælingunni tók því botnæðin við rúmum 51 l/s án þess að þrýstingur breyttist mikið í holunni.

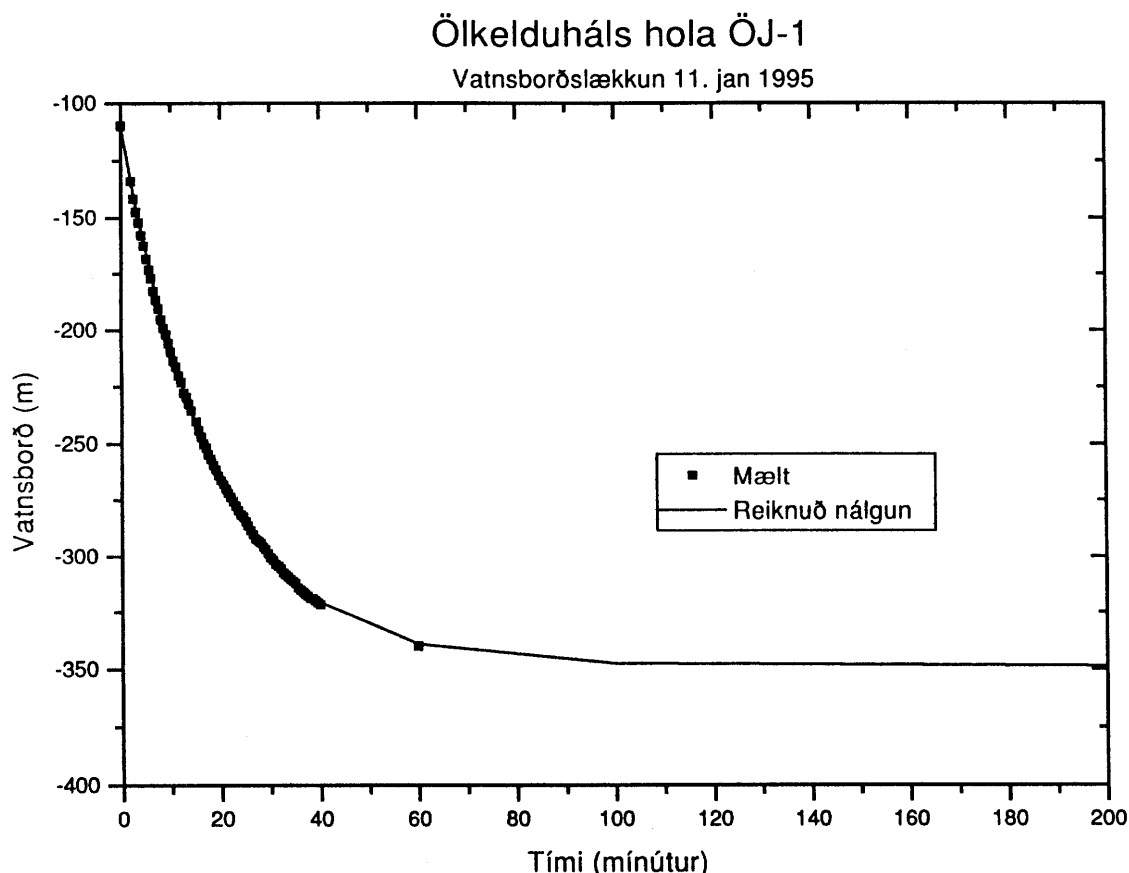
Tafla 5. Jarðfræðileg tengsl vatnsæða í ÖJ-1.

Dýpi (m)	Lagskil innan móbergsmýndunar	Lagskil milli myndana	Sprungu (lóðrétt)	Innskot
21	x			
75	x			
79	x			
127		x		
165	x			
260			x?	
290				
320	x?	x? (lagskil í 330 m)		
365	x			
433	x	x? (lagskil í 418 m)		x?
455	x	x (lagskil í 448 m)		
505	x	x? (lagskil í 520 m)		
555	x			
603	x	x? (lagskil milli hraunlagasyrpu og móbergsmýndunar á 609 m)		
620	x			
710				x?(nokkrum metrum neðan líklegs basaltinnskots)
793		x? (skil á milli hraunlagamyndunar og móbergsmýndunar á 783 m dýpi)		x
805				x? innskot 10 m ofar í holunni
825				x?
950		x		
1013-1035			x	

Í þrepadælingunni var fylgst með breytingum á þrýstingi fyrir breytta ádælingu á 780 m dýpi. Hann breyttist þar mjög lítið meðan á prófuninni stóð og sú breyting sem sást var öfugt við það sem búast mátti við (mynd 23). Þannig sýndi þrýstimælirinn þrýstingslækkun þegar dæling var aukin, en hækkun er hún var minnkuð. Því voru einnig mældir þrýstingsstiglar í holunni þegar ádæling í hverju þrepi hafði staðið í rúman klukkutíma. Greinilegt var af mælingunum á þrýstingsstíglunum að þrýstimælirinn varð fyrir verulegum truflunum í vinnsluhluta holunnar, en sýndi eðlilega hegðun uppi í fódraða hluta hennar. Talið var í fyrstu að gas í innstreymisæðunum gæti orsakað þetta, en síðari mælingar við upphitun og blástur hafa ekki bent til meira gass í þeim en hiti þeirra segir til um. Þegar þrýstingsstíglarnir úr fódraða hluta holunnar eru framlengdir niður, þá skerast þeir við botn holunnar við tæplega 65 bar þrýsting.

Þrýstingur á 790 m dýpi var um 43,1 bar og við botn holunnar á 1013 m um 65 bar. Einnig er vitað að innstreymi æða á 824 m og 950-960 m rann niður holuna. Þrýstingur þeirra er því hærri en 46,5 bar og 59,3 bar. Ekki var hægt að meta vatnsleiðnina út frá þrepadælingunni, en ljóst var að hún var töluvert hærri en á Nesjavöllum.

Vatnsleiðnin var að lokum könnuð, þegar fylgst var með þrýstingsjöfnun holunnar, þegar lokað var fyrir blástur hennar 21. september 1995. Þrýstimælir var á um 1000 m dýpi í holunni og breyttist þrýstingur þar aðeins um 0,4 bar á athugunartímanum (sjá viðauka V-5). Rennsli úr holunni fyrir lokun var um 33 kg/s og var breytingin í samræmi við það sem blástursmælingar höfðu bent til. Túlkun þrýstingsjöfnunar í holunni benti til hárrar vatnsleiðni ($(kh/\mu = 22,7$



Mynd 22. Vatnsborðslækkun 11. janúar 1995 í ÖJ-1.

$\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$) og öflugs sprungustreymis næst holunni. Vatnsleiðnin sem metin er fyrir holu ÖJ-1 er tæpri stærðargráðu hærri en sambærilegar mælingar gefa fyrir holur á Nesjavöllum ($kh/\mu = (2-8) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$).

6.3 Þrýstingur á vatnsæðum

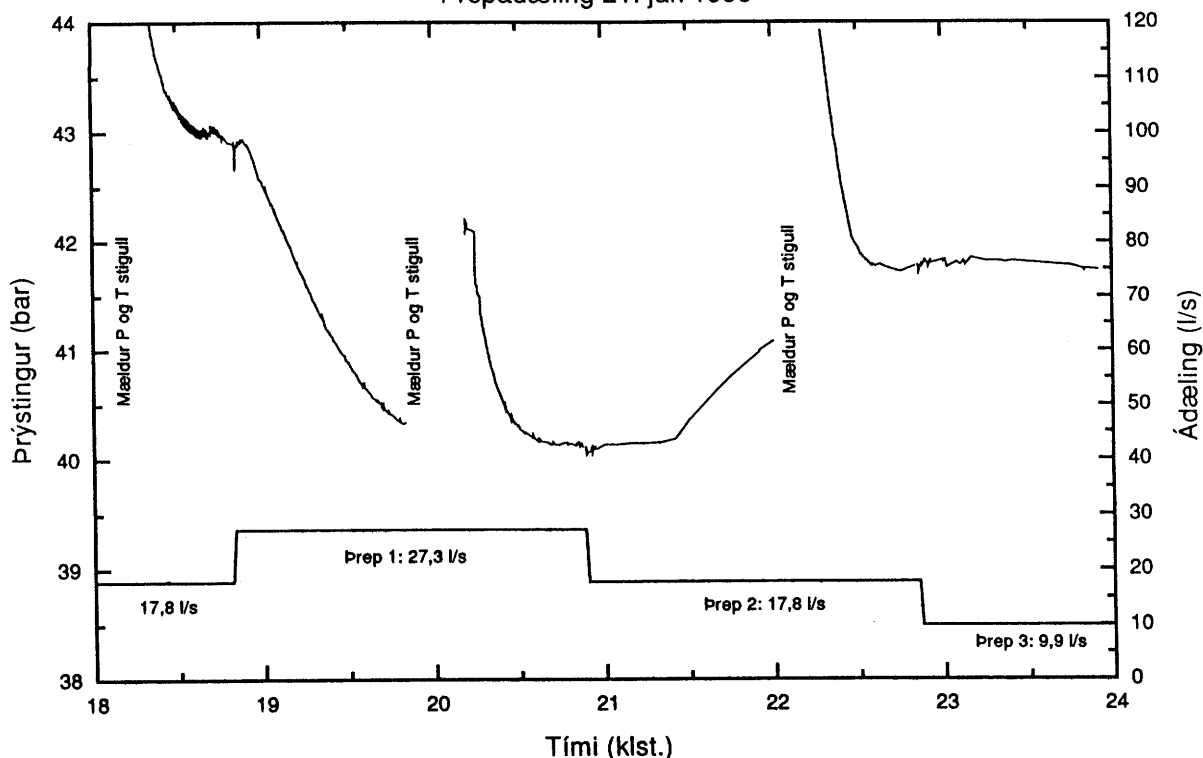
Frá upphafi borunar ÖJ-1 var leitast við að ákvarða þrýsting vatnsæða jafnóðum og borverkinu miðaði áfram og flokka æðarnar í vatnskerfi. Í höggborsholunni fundust tvær æðar. Sú efri var á 21 m dýpi (miðað við drifborð), en dýpri æðin var á 75 m dýpi. Þrýstingur efri æðarinnar lyfti vatnsborði í 20 m dýpi, en æðin í 75 m er heldur lægri í þrýstingi sem sést best á því að niðurrennsli var í höggborsholunni þegar komið var í botn. Efri æðin tilheyrir köldu grunnvatnskerfi, og var vitneskjan um þessa æð notuð til að staðsetja og bora tvær skolvatnsholur rétt við borplan Jötuns. Hittu báðar holurnar á æðar á svipuðu dýpi og með svipuðum þrýstingi og æðin í ÖJ-1.

Helsta vatnsæð í borun fyrir öryggisfóðringu reyndist vera á 127 m dýpi. Vatnsborð hennar mældist á 40 m dýpi. Æðin tengist um 35°C volgu vatnskerfi og tilheyrir æðin á 75 m dýpi trúlega þessu sama kerfi.

Erfiðlega gekk að ákvarða þrýsting þeirra vatnsæða, sem fram komu í borun fyrir vinnslufóðringu. Opnustu æðarnar á þessu dýptarbili (309-781 m) voru trúlega á 603 og 620 m dýpi. Ekki

Ölkelduháls hola ÖJ-1

Prepadæling 21. jan 1995



Mynd 23. Prepadæling 21. janúar 1995 í ÖJ-1.

tókst að mæla stöðuvatnsborð æðanna, en hins vegar var ljóst að það var langtum neðar en vatnsborð volga grunnvatnskerfisins, og jafnvel neðan 300 m. Þessa lági þrýstingur í jarðhitakerfinu kom nokkuð á óvart en var staðfestur eftir að borun vinnsluhlutans hófst. Þrýstingur við vinnsluæðarnar hélst stöðugur í upphitun holunnar eftir borun. Því er ekki hægt á grundvelli mælinganna að gera upp á milli æðanna hvað lekt áhrærir. Samtúlkun hita- og þrýstimælinga bendir þó til að mesta lektin sé annað hvort við botnæðina (1013 m) eða við æðarnar á 950-957 m. Mældur þrýstingur við botnæðina er 64 bar og fór vatnsborð í upphitun eftir borun upp í 274 m dýpi.

Mynd 24 dregur saman upplýsingar um þrýsting vatnskerfanna þriggja sem hola ÖJ-1 sker. Til að framlengja ferlana út frá mælipunktum er reiknaður þrýstingur vatnssúlu, sem fylgir áætluðum berghita við holuna. Reiknigildin eru birt í töflu 6. Á myndinni kemur skýrt fram hversu lágur þrýstingur hitakerfisins er miðað við efri grunnvatnskerfin. Lóðrétt lekt skilanna milli kerfanna eru því mjög þétt og má líta á dýptarbilið frá 150-300 sem þakberg jarðhitakerfisins.

Tafla 6. Ölkelduháls hola ÖJ-1. Áætlaður berghiti og þrýstingur.

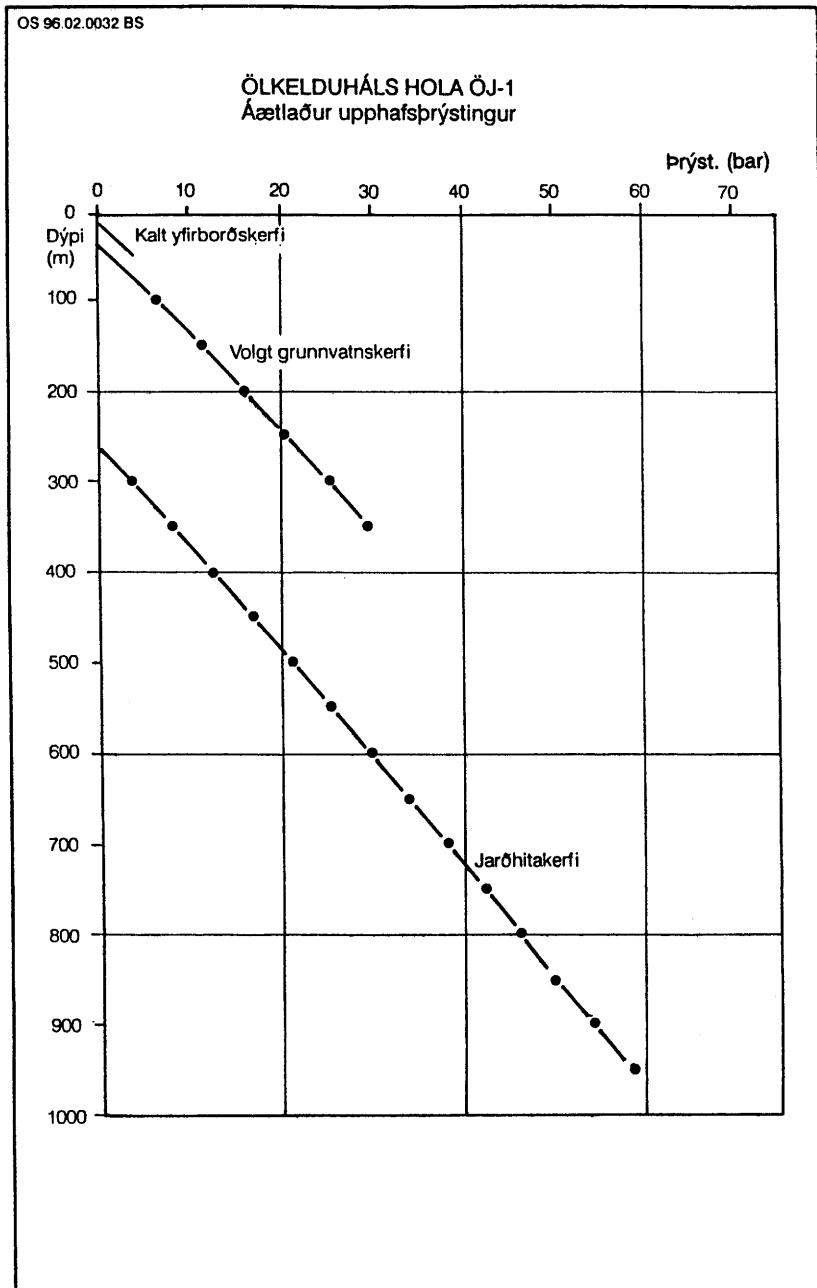
Dýpi (m)	Berghiti (°C)	Þrýst. á vatnsæðum (bar)	Dýpi (m)	Berghiti (°C)	Þrýst. á vatnsæðum (bar)
20	7,5	0	350	172,8	8,37
30	19,3	0,98	400	184	12,74
40	31,0	1,96	450	191	17,06
50	33,5	0,97	500	195	21,34
60	35	1,95	550	196	25,62
70	35	2,93	600	197	29,89
80	35	3,90	650	197,5	34,15
100	35	5,86	700	198	38,42
120	35	7,81	750	198	42,69
140	51,3	9,76	800	198	46,95
160	72,2	11,68	850	198	51,22
180	92,6	13,58	900	198	55,49
200	113	15,46	950	198	59,77
250	141	20,06	1000	198	64,04
300	159,0	3,90	1050	198	68,32

6.4 Berghiti

Upphitun holu ÖJ-1 eftir borun gekk hratt fyrir sig og var hiti í vinnsluhlutanum kominn í jafnvægi innan fárra daga og stóð í tæpum 200°C. Uppi í vinnslufóðringunni gekk upphitunin hægar, en var nærri jafnvægi í síðustu hitamælingunni í upphitun, sem gerð var fimm mánuðum eftir að borun lauk. Vatnsborð í holunni var þá á 274 m og fylgdi hiti suðumarksferli fyrstu eitt hundrað metrana eða svo. Telja verður að sú mæling sýni nánast berghita neðan 400 m dýpis. Til að ákvarða hitann í efstu 400 m er stuðst við tvær mælingar. Sú fyrri var gerð þegar höggborinn var kominn í botn á 70 m, en sú síðari og sú sem gefur bestar upplýsingar um hitann grunnt við holuna var gerð í holunni í byrjun janúar 1994, eftir tveggja vikna borhlé. Vinnslufóðring var þá komin í holuna og steipt að hluta. Þessar hitamælingar og áætlaður berghiti á grundvelli þeirra eru sýndar á mynd 25, en berghitinn er einnig skráður á 50 m fresti í töflu 6.

Megindrættirnir í berghitaferlinum bera þess merki að holan er í tengslum við þrjú vatnskerfi. Efst er kalda grunnvatnskerfið með hita um 7°C, þá tekur við 35°C volgt kerfi yfir dýptarbilið 50-150 m. Þar er komið í þakið yfir jarðhitakerfinu og hækkar hiti hratt með dýpi. Hiti í jarðhitakerfinu er rétt tæpar 200°C og breytist lítið sem ekkert frá 400 m dýpi og niður í holubotn. Þessi jafni hiti í kerfinu ber vott um góða lóðrétta lekt og öfluga hræringu í kerfinu.

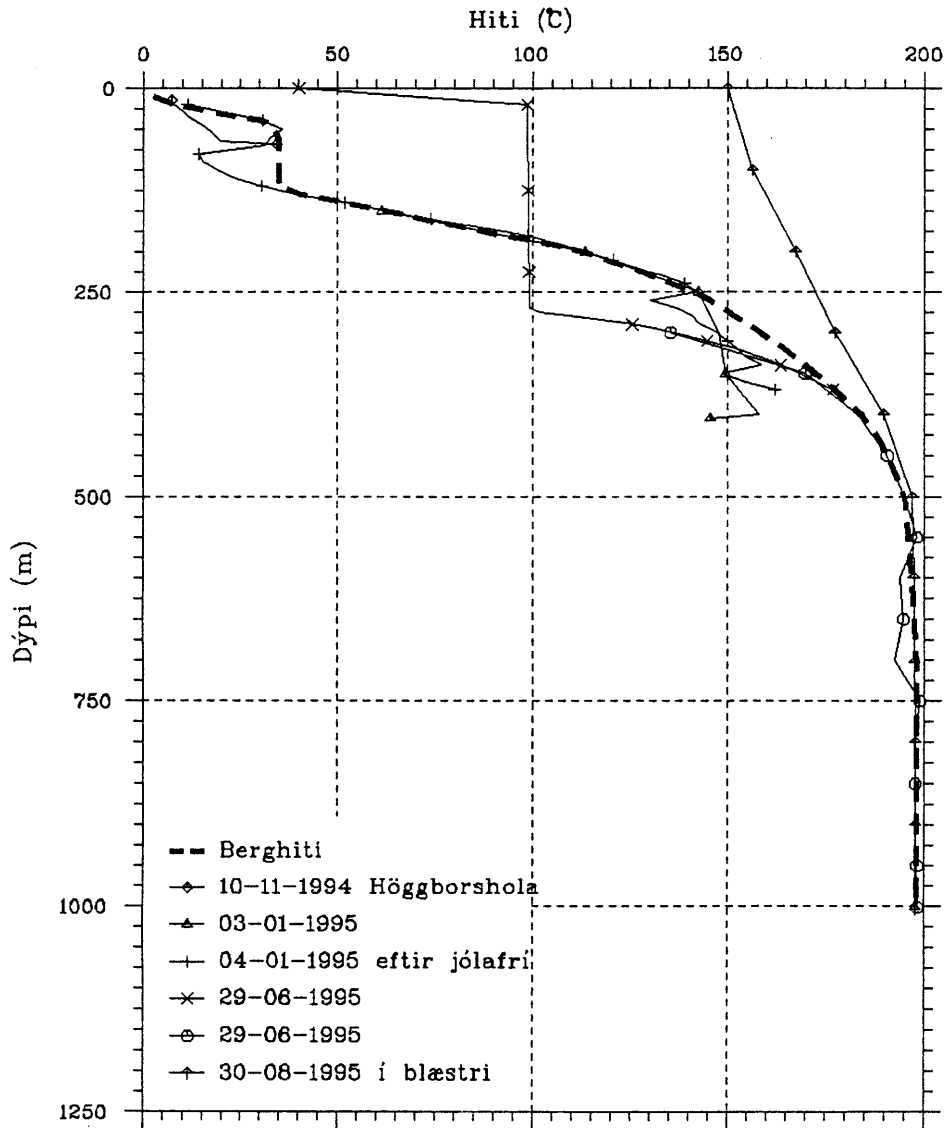
Athuganir á ummyndun bergs við holu ÖJ-1 sýna að berghiti hefur í fyrndinni verið mun hærri en hann er í dag. Á mynd 26 er sýndur annars vegar hiti áætlaður út frá ummyndun í vökvaþólumælingum og hins vegar sá berghiti sem hitamælingar í holunni gefa.



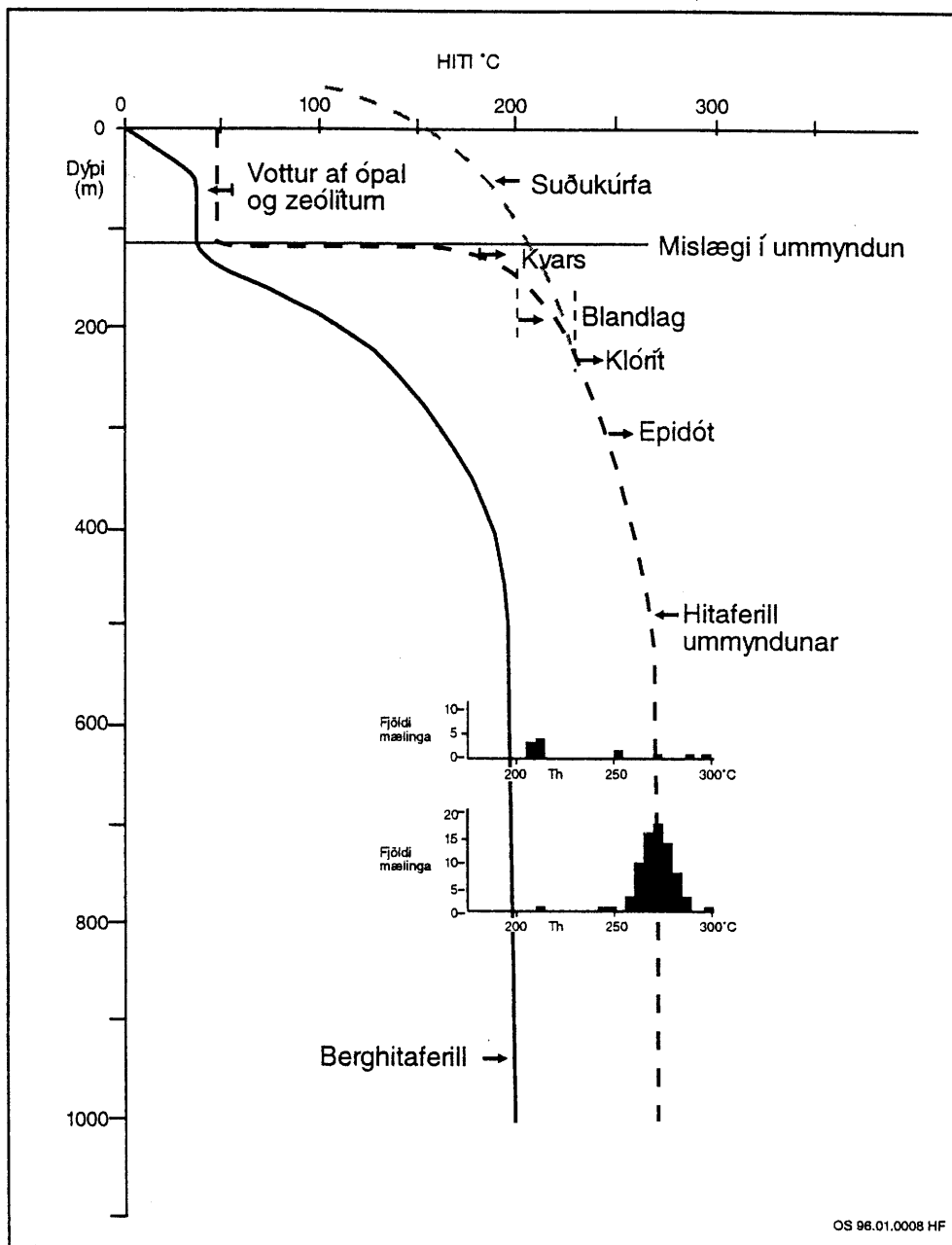
Mynd 24. Áætlaður upphafsþrýstingur í holu ÖJ-1.

18 Dec 1995 bs
L= 85101 Oracle

Ölfusvatn ÖJ-01 Grafningshreppur Árnessýsla



Mynd 25. Áætlaður berghiti samkvæmt hitamælingum í ÖJ-1



Mynd 26. Ummyndunarhiti, vökvabólumælingar, og berghiti.

7. AFL OG AFKÖST

7.1 Upphitun og upphleyping

Eftir að borun holunnar lauk 23. janúar 1995 var komið fyrir blástursbúnaði við holuna. Hún var síðan látin hitna upp fram í júlí þegar undirbúningur upphleypingar hófst. Þá var vatnsborð í holunni á um 274 m dýpi. Lofti var dælt á holutoppinn og stóð holan síðan undir þrýstingi í um 4 vikur. Tafla 7 sýnir yfirlit yfir toppþrýsting þennan tíma. Þegar loftinu var hleypt af holunni þann 9. ágúst kom hún í blástur.

Tafla 7. Loftdæling á holu ÖJ-1 í júlí til ágúst 1995.

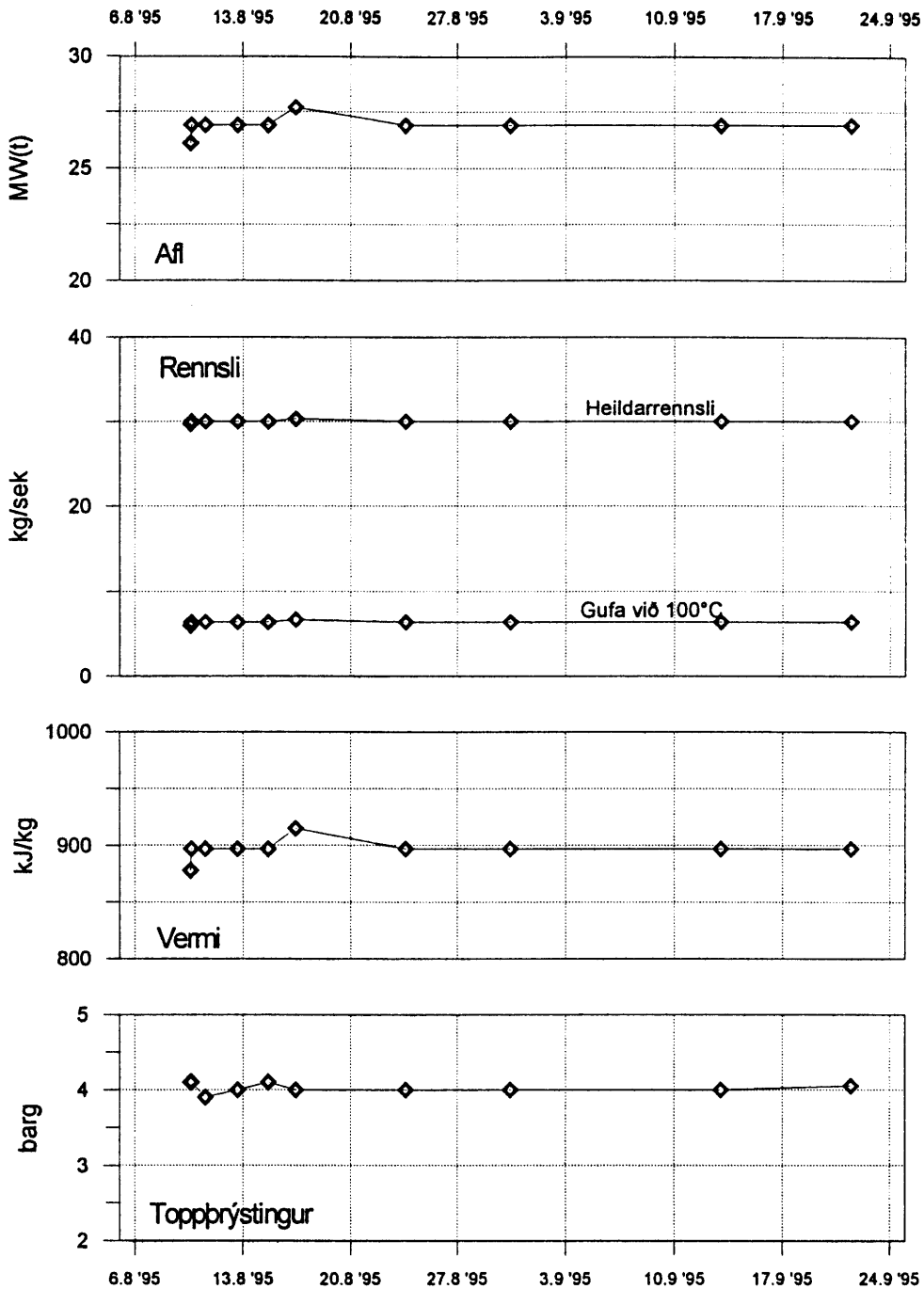
Dags.	Tími	Þrýstingur bar	Athugasemd
950711	10:00		Byrjað að dæla lofti
950712		28,0	Í gangi
950713	10:00	38,0	
950713	14:00	40,5	Dæla stöðvuð, hafði gengið í 26-29 klst.
950717	10:00	38,5	
950723	18:00	37,0	
950731		34,3	
950808		32,0	
950809	14:00	32,0	Upphleyping

7.2 Mælingar á affli og afköstum

Hola ÖJ-1 blés stöðugt frá 9. ágúst til 21. september 1995 eða í 43 daga. Allan tímann blés holan í gegnum 161 mm stút og var 150 mm blenda höfð við legglokann. Fylgst var með affli og afköstum holunnar og eru niðurstöður sýndar í töflu 8 og á mynd 27. Holutoppþrýstingur var einungis um 4 bar þann tíma sem holan blés og heildarrennslið um 30 kg/s. Vermis holunnar reiknaðist 880 - 900 kJ/kg sem samsvarar 206 - 210 °C sem er lítið eitt hærri hita en mældist í holunni. Í varmaaffli gefur holan um 27 MW miðað við 4 bar holutoppþrýsting.

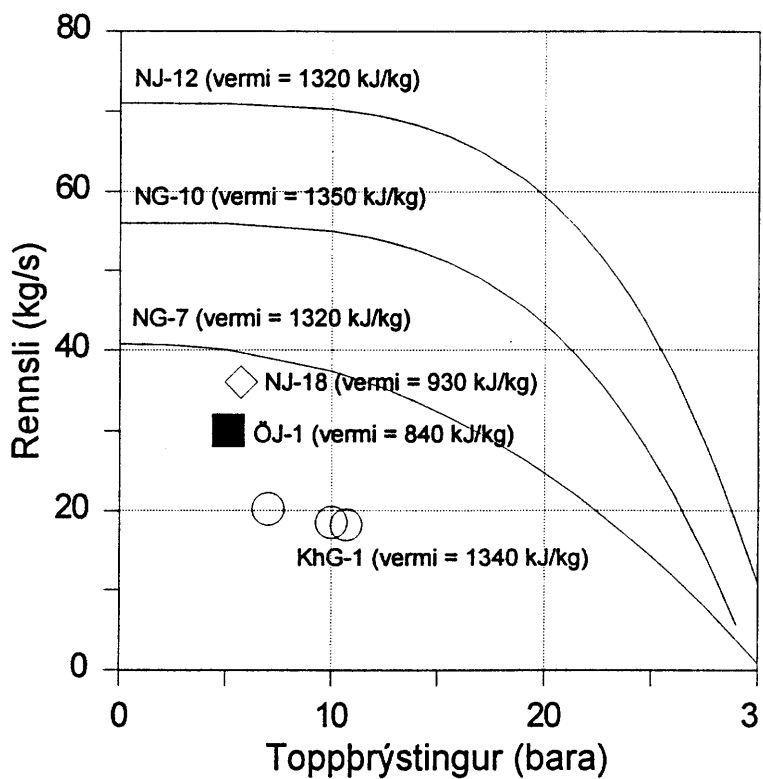
Tafla 8. Afmælingar á holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði í ágúst og september 1995.

Dagsetning	Po (barg)	Stútmæling		Vatnsmæling		Heildarrennsli		Rennsliv. 100°C		Varma- afi (MWth)
		De (mm)	Pc (barg)	Vh (mm)	rennsli (l/s)	Q (kf/s)	Ho (kJ/kg)	Gufa (kg/s)	Vatn (kg/s)	
09.08.95 14:23	4,1	161	0,40	200	24,68	29,7	878	6,0	23,6	26,1
09.08.95 14:42	4,1	161	0,40	200	24,68	29,7	878	6,0	23,8	26,1
09.08.95 15:50	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
10.08.95 13:40	3,9	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
12.08.95 15:40	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
14.08.95 15:20	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
16.08.95 10:20	4,0	161	0,50	200	24,68	30,3	915	6,7	23,6	27,7
23.08.95 14:20	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
30.08.95 10:30	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
13.09.95 00:00	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
21.09.95 11:00	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9



Mynd 27. Afmælingar á holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði í ágúst og september 1995.

Á mynd 28 eru afköst holu ÖJ-1 borin saman við afköst lágvermiborhola á Nesjavöllum og holu KhG-1 við Kolviðarhól. Þar sést að holu ÖJ-1 svipar til NJ-18 á Nesjavöllum, nema hvað vermið er lægra. Holan á Ölkelduhálssvæði blés einungis við einn holutoppþrýsting en við lokun holunnar í lok blásturstímans fór þrýstingur hæst í tæp 7 bar.



Mynd 28. Samanburður gagna frá holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði og holu KhG-1 við Kolviðarhól við afiferla lágvermihola á Nesjavöllum.

8. EFNASAMSETNING JARÐHITAVÖKVA

8.1 Almennt

Rannsóknir á efnainnihaldi borholuvökva miða aðallega að því að skilgreina efnainnihald vatns og gufu, segja fyrir um jafnvægisþita vökvans sem rennur um holuna, meta jafnvægisástand milli vatns og bergs, kanna útfellingahættu og aðra vinnslueiginleika auk þess að kanna breytingar á efnainnihaldi sem verða með vinnslu og skýra orsök þeirra. Á blásturstíma ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði voru tekin 6 sýni til efnagreininga, nokkuð jafndreifð yfir blásturstímabilið. Öll sýnin utan eitt voru tekin með sýnatökuskilju við holutopp, en daginn sem holunni var lokað var einnig tekið sýni af vatni sem soðið hafði í 100°C í hljóðdeyfi. Tafla 9 sýnir yfirlit yfir þau sýni sem safnað var.

Tafla 9. Yfirlit um sýni safnað úr holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

Sýni	Dags.	Dagar frá upphafi bl.	Söfnunar-þrýst.abs.	Hiti °C	gas/kg.cond. óþétt. v/°C	Vermi kJ/kg
95-5114	16.08.95	7	4,5	148	0,49/20	915
95-5201	23.08.95	14	4,4	147	0,102/34	897
95-5202	30.08.95	21	4,4	147	0,263/20	897
95-5211	13.09.95	35	4,5	148	0,5/24	897
95-5213	21.09.95	43	4,4	147	0,5/33	897
95-5214	21.09.95	43	1,0	100	-	-

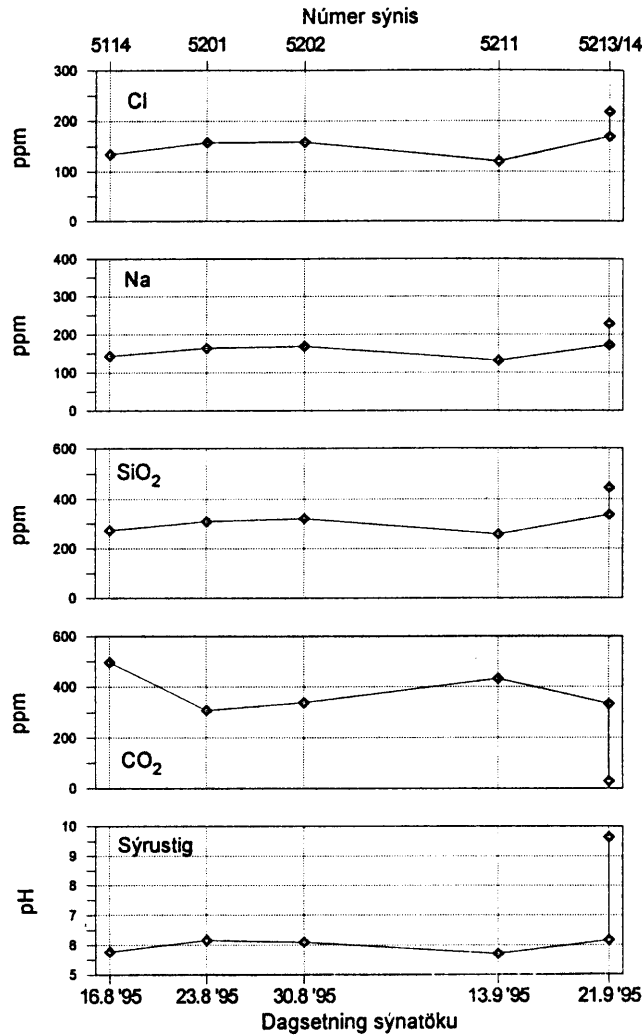
8.2 Efnasamsetning og breyting með tíma

Þar sem langur tími leið frá því að borun holunnar lauk þar til að henni var hleypt upp, voru áhrif kælivatns sem notað er við borun hverfandi, og því litlar breytingar á efnasamsetningu einstaka sýna, eins og sést í töflu 10 sem sýnir niðurstöður efnagreininga, þar sem vatn og gufa hefur verið reiknuð saman í einn vatnsfasa. Notast var við vermið 843 kJ/kg, en það samsvarar þeim mældum hita í holunni, 198°C. Í töflunni er einnig efnasamsetning vatns sem soðið hefur í 100 °C (sýni 95-5214).

Tafla 10. Efnasamsetning djúpvatns, vermi vatns 843 kJ/kg.

Dags.	Sýni númer	Hitast. (°C)	Sýrust. pH/25°	CO ₂ (mg/kg)	H ₂ S (mg/kg)	SiO ₂ (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	Cl (mg/kg)	F (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)
06.08.95	5114	198	5,76	497	48,1	273	144	14,6	1,34	0,0108	46,7	134	0,81	0,026	0,647
23.08.95	5201	198	6,14	309	30,1	310	164	19,4	1,34	0,0072	47,0	158	0,78	0,027	0,662
30.08.95	5202	198	6,10	338	31,5	321	169	18,3	1,41	0,0018	34,2	158	0,81	0,024	0,681
13.09.95	5211	198	5,70	432	122,5	257	132	13,1	1,17	0,0188		120	0,58	0,072	0,548
21.09.95	5213	198	6,16	333	32,9	337	172	17,1	1,37	0,0062	33,6	170	0,79	0,037	0,678
21.09.95	5214	100	9,60	28	13,4	446	229	22,9	2,04	0,0020	47,1	218	1,06	0,020	0,875

Á mynd 29 er styrkur valinna efna sýndur sem fall af tíma. Eitt sýni (95-5211) sker sig helst úr, en grunur leikur á að sýnatakan sé gölluð.



Mynd 29. Breyting á styrk nokkurra efna með tíma.

8.3 Mat á hita

Efnasamsetningu vatns og gufu má nota til að meta við hvaða hitastig jafnvægi hafi ríkt milli vökva og bergs og þar með meta innstreymishita í holuna. Aðallega hefur verið stuðst við styrk kísils og alkalmálma í vatnsfasa til að meta hita, en einnig styrk ýmissa gastegunda í gufu. Jafnvægi bergs og vatns næst tiltölulega fljótt ef hiti er yfir 250 °C og gefa hitamælar oft þann hita sem ríkir við innstreymi í holuna. Kísill er yfirleitt fljótari að ná jafnvægi við berg en alkalmálmur.

Til eru mismunandi kvarðanir fyrir kísilhita og alkalfhita. Hér hefur verið notast við kvörðun Stefáns Arnórssonar o.fl. (1983) fyrir alkalfhita og kvörðun Fournier og Potter (1982) fyrir kísilhita.

Gashitamælar byggja á efnajafnvægi bergs og styrks gastegunda í gufu. Vegna mismunandi leysanleika gastegunda í gufu geta fleiri þættir haft áhrif á styrk gastegundanna en hiti. Þannig getur mismunur í útreiknuðu hitastigi gashitamæla gefið til kynna aðskilnað fasa og massahluta soðins vatns í flæðinu.

Niðurstöður efnahitamæla fyrir holu ÖJ-1 á Ölkelduhállssvæði eru gefnir í töflu 11. Sýndir eru reikningar fyrir 3 sýni, og er samræmi gott, bæði milli einstakra sýna og milli efnahitamæla. Meðalhitastig reiknast $218 \pm 6^\circ\text{C}$, sem er óvenju gott samræmi. Þetta hitastig er hins vegar 20°C herra en hitastig mældist við innstreymi í holuna.

Tafla 11. Útreiknaður efnahiti í holu ÖJ-1 á Ölkelduhálsi.

Sýni númer	Kvarts t(°C)	Na/k t(°C)	CO ₂ t(°C)	H ₂ S t(°C)
95-5201	211	226	210	221
95-5202	213	217	223	224
95-5213	216	208	223	225

Skýringar við töflu:

$$t(^{\circ}\text{C}) \text{ Kvarz} = -42,198 + 0,28831(\text{SiO}_2) - 3,6686 \times 10^{-4} (\text{SiO}_2)^2 + 3,1665 \times 10^{-7} (\text{SiO}_2)^3 + 77,034 \log (\text{SiO}_2) \quad (0-330^{\circ}\text{C}) \quad \text{Þar sem styrkur er í mg/kg. Fournier og Potter (1982)}$$

$$t(^{\circ}\text{C}) \text{ Na/K} = 933/(0,993 + \log \text{Na/K}) - 273,15 \quad \text{Þar sem styrkur er í ppm. Stefán Arnórsson o.fl. (1983)}$$

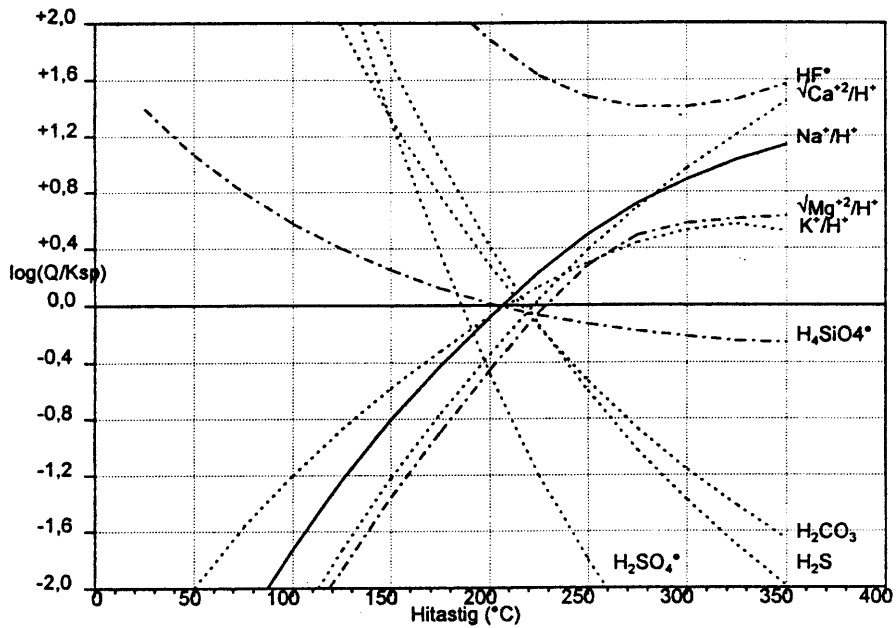
$$t(^{\circ}\text{C}) \text{ CO}_2 = -44,1 + 269,25 Q - 76,88 Q^2 + 9,52 Q^3. \quad \text{Þar sem Q er } \log \text{CO}_2 \text{ (mmole/kg). Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson (1985)}$$

$$t(^{\circ}\text{C}) \text{ H}_2\text{S} = 173,2 + 65,04 \log \text{H}_2\text{S}. \quad \text{Styrkur í mmole/kg. Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson (1985)}$$

Ef fullkomið jafnvægi ríkir milli vökva og bergs, ættu flest aðalefni vökvans að sýna jafnvægi við eitt og sama hitastig. Það hitastig þar sem styrkur eða hlutfall efna í sýninu (Q_{sp}) er það sama og fræðilega gildið (K_{sp}) er kallað jafnvægishitastig. Mynd 30 sýnir niðurstöður slíkra reikninga á sýni 95-5213 fyrir 9 efni eða efnahlutföll sem hafa reynst vel við íslenskar aðstæður. Jafnvægishitinn ($\log(Q_{sp}/K_{sp}) = 0$) er á bilinu $185 - 230^\circ\text{C}$ fyrir 8 af efnunum, það nífunda sýnir ekkert jafnvægi. Þetta tiltölulega þrönga hitasvið bendir til þess að í jarðhitakerfinu sem hola ÖJ-1 tekur vatn úr, sé efnafræðilegt jafnvægisástand milli bergs og vatns.

8.4 Samsætumælingar

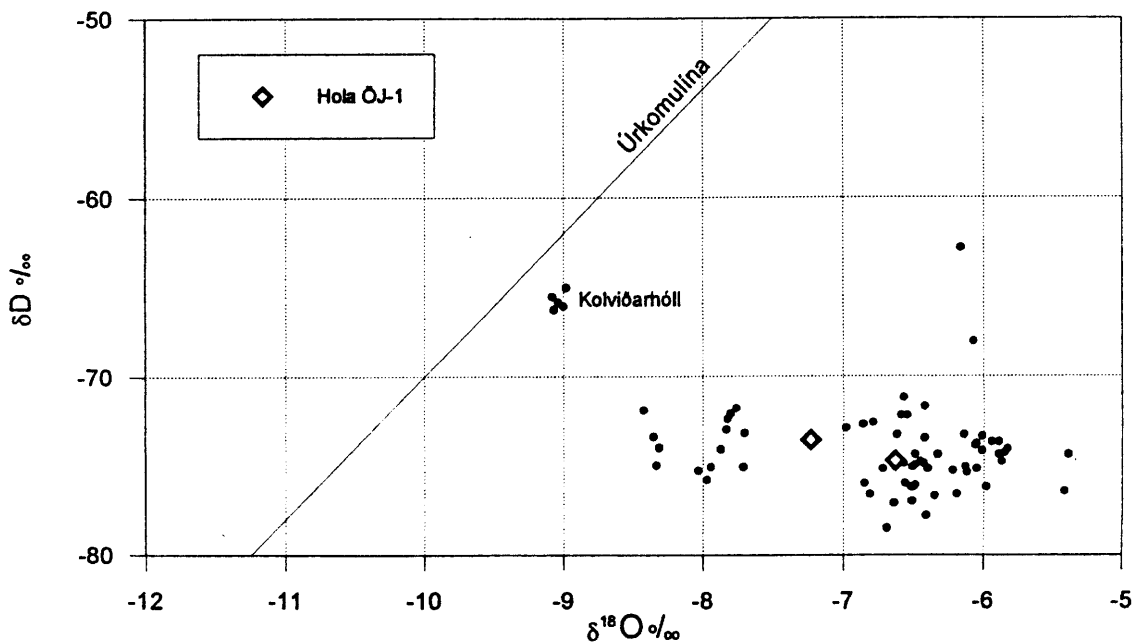
Mælingar á samsætum súrefnis og vetnis hafa víða verið notaðar til að kanna uppruna jarðhita-vökva og skildleika milli svæða. Á blásturstíma ÖJ-1 voru sýni tvívegis tekin til greininga á þessum samsætum. Niðurstaða mælinga er sýnd í töflu 12 og á mynd 31 ásamt niðurstöðum samsætumælinga frá Nesjavöllum og Kolviðarhóli. Sýnin frá ÖJ-1 hafa svipuð gildi og sýni frá Nesjavöllum, en Kolviðarhóll sker sig aftur á móti úr.



Mynd 30. Efnajafnvægi fyrir holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

Tafla 12. Niðurstöður samsætumælinga í holu ÖJ-1

Sýni	Gufuhluti	$\delta^{18} \text{‰(g)}$	$\delta^{18} \text{‰(v)}$	$\delta^{18} \text{‰}$	$\delta\text{D} \text{‰(g)}$	$\delta\text{D} \text{‰(v)}$	$\delta\text{D} \text{‰}$
95-5202	0,21	-9,47	-5,88	-6,63	-84,4	-72,2	-74,76
95-5211	0,21	-9,44	-6,64	-7,23	-81,8	-71,4	-73,58



Mynd 31. Niðurstöður samsætumælinga í holu ÖJ-1 samanborið við mælingar frá Nesjavöllum og Kolviðarhóli.

8.5 Vinnsloeiginleikar jarðhitavökvans

Vinnsloeiginleikar jarðhitavökva stjórnast helst af tveimur þáttum, annars vegar hvort hætt sé við útfellingum í borholum eða vinnslurásum og hins vegar hvort taka þurfi tillit til styrks gass í gufu við vinnsluna.

Í töflu 13 er sýnd efnasamsetning og heildarmagn gass í gufu við 100°C. Heildarstyrkurinn er lágur (0,4%), svipað því lágsta sem mælist á Nesjavöllum (0,4 - 0,9%), og verulega lægra en mældist í holu KhG-1 við Kolviðarhól (0,7%). Stærsti hluti gassins er koldíoxíð (CO₂) um 90% af gasinu. Hlutur brennisteinsvetnis er einnig töluverður og eru þessar tvær gastegundir eru yfir 99% af gasi í gufu.

Tafla 13. Gas í gufu við 100 °C og samsetning þess.
(nd merkir að styrkur er ekki mælanlegur).

Samsetning gass í gufu (%)			
Númer	95-5201	95-5202	95-5213
CO ₂	91,4	84,2	92,0
H ₂ S	7,8	15,2	7,8
H ₂	0,7	0,1	0,1
CH ₄	nd	nd	nd
O ₂	nd	nd	nd
N ₂	0,2	0,5	0,1
AR	nd	nd	nd
Gas í gufu (þyngdar %)			
Heildargas	0,38	0,42	0,41

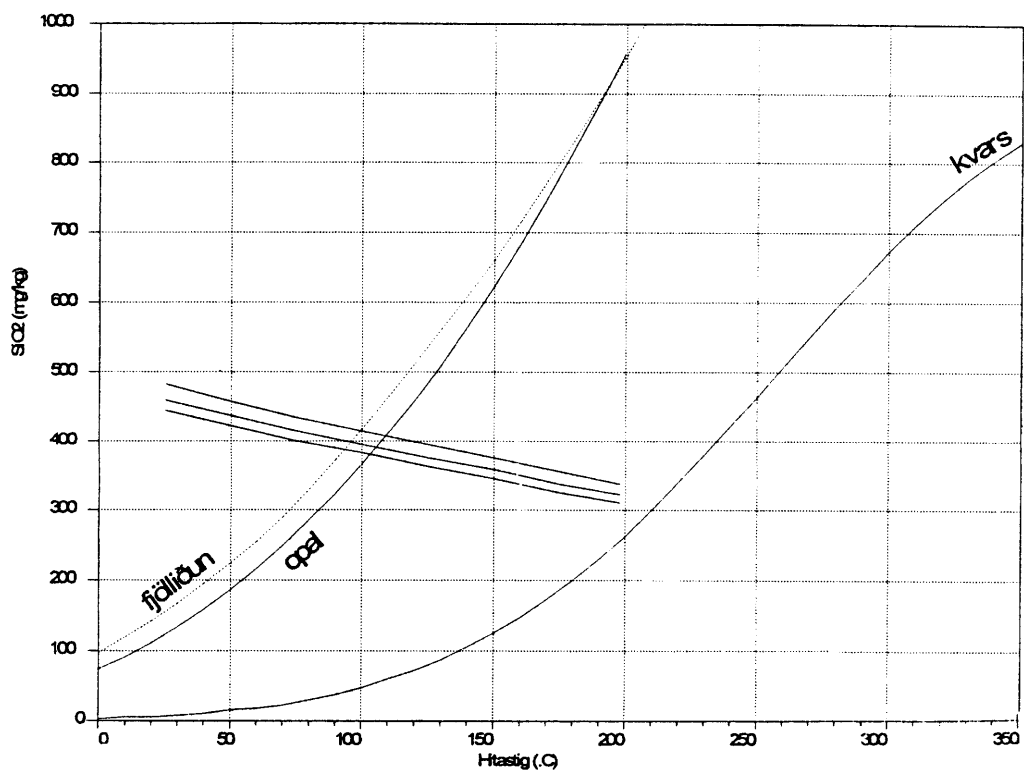
Þær útfellingar sem helst má búast við í jarðhitavatni eru kísill og kalk. Kísil (SiO₂) er aðalefni í jarðhitavatni og stjórnast styrkur hans í djúpvatni af uppleysanleika kvars. Við suðu eykst styrkur kísils í þeim vökva sem eftir er og hiti vatnsins lækkar. Þá er hætt við að kísillinn fari að falla út úr vatninu og mynda ópal á þípuveggi og annað sem vatnið kemst í snertingu við. Þau mörk þar sem kísill getur byrjað að myndast eru kölluð ópalmettunarmörk, og í töflu 14 er sýnt við hvaða hitastig og þrýsting þau reiknast fyrir 3 sýni úr holu ÖJ-1. Á árinu 1995 voru gerðar tilraunir á Nesjavöllum til að kanna við hvaða aðstæður kísill fellur út úr jarðhitavatni (Trausti Hauksson, 1996). Fyrsta stig í útfellingu er myndun fjölliða, þ.e. að kísilmólekúlin fara að tengjast saman í vatninu. Þessi mörk eru jafnframt sýnd í töflu 14, en tilraunin og reynslan frá Nesjavöllum sýna að kísill fer ekki að falla út þó svo að fjölliður myndist.

Mynd 32 sýnir niðurstöðurnar úr töflu 14. Þar er dreginn upp uppleysanleiki kvars, ópalmettunarmörk eins og þau eru almennt notuð og fjölliðunarmörk fyrir vatn frá Nesjavöllum. Inn á myndina eru dregnar línur fyrir breytingar á styrk kísils í sýnunum í töflu 12 við suðu frá djúphita (198°C).

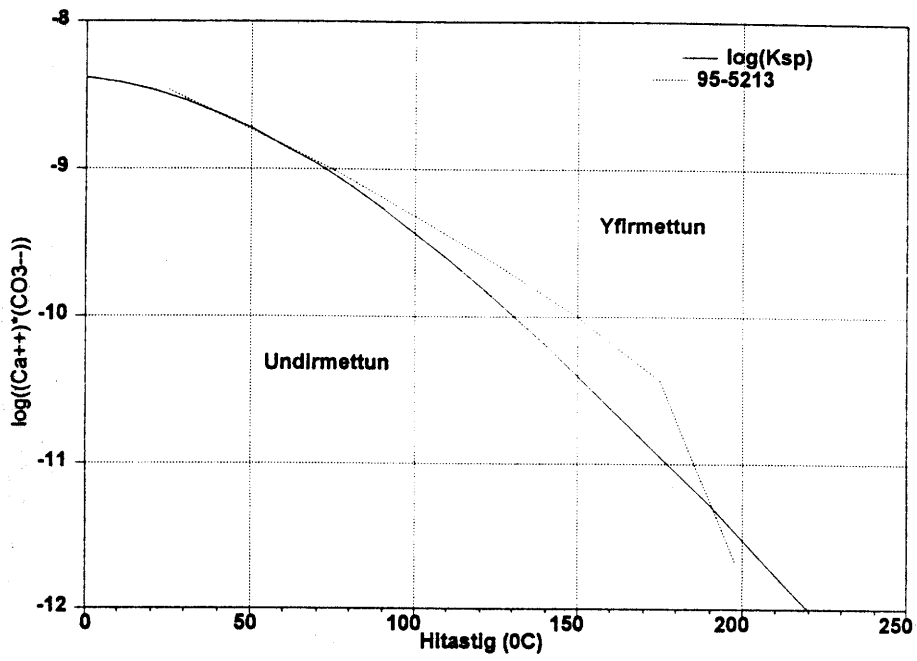
Útfelling kalsíts er stundum samfara suðu og kælingu jarðhitavökva. Á mynd 33 er sýndur leysanleiki kalsíts með hita. Jafnframt eru sýndar niðurstöður reikninga á einu sýni frá ÖJ-1. Þar sést hvaða breytingar verða á mettnarástandi vatnsins með tilliti til kalsíts við suðu. Á myndinni kemur fram að kalsítt er í jafnvægi við það hitastig sem vatnið hefur við vatnsæðina í holunni. Við suðu verður dálítt yfirmettun (hætta á útfellingum), sem nær hámarki við 175°C en fer síðan minnkandi þar til jafnvægi er aftur náð við 80°C.

Tafla 14. Ópalmettun og fjölliðunarmörk fyrir sýni úr ÖJ-1.

Sýni númer	SiO ₂ (ppm)	Ópalmettun		Fjölliðunarmörk	
		t(°C)	P(bara)	t(°C)	P(bara)
95-5201	310	103	1,1	93	0,77
95-5202	321	106	1,2	96	0,86
95-5213	337	110	1,4	99	0,96



Mynd 32. Upplýsanleiki kfsils sem fall af hita. Strikin á myndinni sýna breytingar á kfsilstyrk í holu ÖJ-1 við suðu.



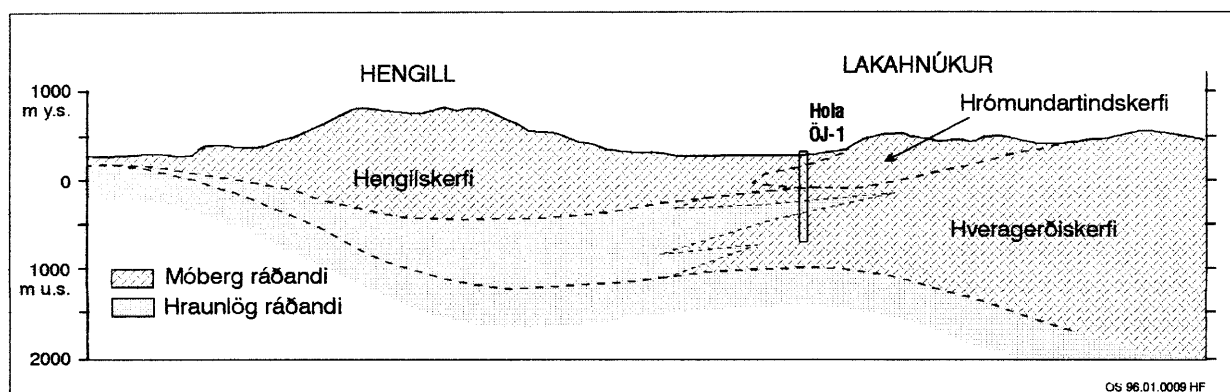
Mynd 33. Uppleysanleiki kalsíts sem fall af hita og breytingar á jónamargfeldi sýnis frá ÖJ-1.

9. JARÐHITAKERFIÐ VIÐ ÖLKELDUHÁLS

Borun holu ÖJ-1 er fyrsta beina könnunin á jarðhitakerfinu á Ölkelduhálsi. Áður hafa verið gerðar ýtarlegar yfirborðsrannsóknir á svæðinu. Í þessum kafla verða dregnar saman nokkrar af helstu upplýsingum um innri gerð jarðhitakerfisins sem fengust við borun holu ÖJ-1 og þær bornar saman við fyrri hugmyndir um kerfið. Minna skal þó á, að hér er aðeins byggt á gögnum úr einni holu, og því erfitt að láta þá túlkun ná um svæðið í heild, slíkt verður að bíða uns fleiri rannsóknarholur hafa verið boraðar á Ölkelduhálssvæðinu.

9.1 Jarðlagastaffinn

Í borholunni var jarðlögum skipt upp í einingar á grundvelli berggerðar og uppruna. Stundum var erfitt að sannreyna skiptinguna, og verður að bíða þess að fleiri holur verði boraðar. Samkvæmt kortlagningu á yfirborði virðist jarðlagastaffli á Ölkelduhálsi eiga rætur sínar að rekja til þriggja eldstöðvakerfa: Yngst eru Hengils- og Hrómundartindskerfin, en elstur er berglagastaffli sem tilheyrir Hveragerðiseldstöðinni (Knútur Árnason o.fl. 1986). Bitra, sem er yngsta myndunin í borholunni, er talin vera hluti af upphleðslu Hengilskerfisins. Birtumyndunin varð til í eldgosi undir lok síðasta jökulskeiðs. Hún nær niður á 124 m dýpi. Síðan koma þrjár móbergsmyndanir niður á um 418 m dýpi. Sú efsta, sem er fremur stakdflótt ólivín-þóleíft (127-212 m) gæti samsvarað móberginu í Ölkelduhnúk, sem er strjálflótt (Kristján Sæmundsson pers. uppl.), en ekki hefur verið gerð tilraun til að tengja fleiri myndanir við yfirborð. Neðan 418 m dýpis koma myndanir sem eru mun þóleíftskari og þar getur verið komið í Hveragerðiseldstöðina. Kjarnabútar af tæplega 800 m dýpi voru segulmældir og sýndu þeir veika normal segulstefnu, en það bendir til að staffinn a.m.k. niður á það dýpi er á segultímaskeiði Bruhnes eða yngri en 700.000 ár, og er það í samræmi við það, að segulskilin, sem ná upp í rúmlega 100 m hæð rétt austan Hveragerðis sveigist niður á við inn undir Hengil. Þverskurður jarðlaga frá Ölkelduhálsi til vesturs í gegnum holuna og til Hengils er sýndur á mynd 34 og er þar sett fram hugmynd um, hvernig jarðlög tengjast hverri eldstöð fyrir sig. Sama túlkunaráðferð er notuð hér og á Nesjavöllum sem er sú, að staffli móbergsmyndana í borholum bendi til hraðrar staðbundinnar upphleðslu, en að hraunlagastaffli sé vísbending um upphleðslu í lægðum utan eiginlegra gosvirknisvæða. Á þann hátt er unnt að samræma að hraunlög neðan um 400 m dýpis (m u.s.) í berggrunni Nesjavalla séu komin frá Hveragerðiseldstöðinni. Á sama hátt má gera því skóna að efra borð hraunlagabunkans sem er ráðandi neðan um 1000 m dýpis í borholum við Hveragerði geti verið botninn á upphleðslu Hveragerðiseldstöðvarinnar.



Mynd 34. Þverskurður jarðlaga frá Ölkelduhálsi í gegn um holu ÖJ-1 til Hengils.

9.2 Jarðhitavirkni á Ölkelduhálsi

Bitrumyndunin er gegnsósa af köldu og volgu vatni, en neðan hennar er þétt ummyndað berg þar sem hiti vex hratt uns komið er í jarðhitakerfið. Í holu ÖJ-1 finnst kerfið á um 300-400 m dýpi og er hiti þar um 200°C. Jarðhitakerfið við holu ÖJ-1 virðist vera dæmigert hræringarkerfi þar sem berghiti breytist lítið sem ekkert með dýpi a.m.k svo djúpt sem holan nær (1000 m). Það kemur hins vegar á óvart hversu djúpt er á kerfið við holuna, enda mikil jarðhitavirkni í nágrenni hennar. Skýrist þetta af því að holan er í útjaðri Bitrunnar, en yfirborðsjarðhitann er fyrst og fremst að finna utan þess svæðis sem sú myndun er talin hylja. Bitran hefur augljóslega orðið til eftir að jarðhitavirknin á svæðinu náði hámarki og hefur virknin ekki náð að brjóta sér leið upp í gegn. Yfirborðskortlagning og athuganir á ummyndun borsvarfs úr holunni sýna að Bitran er ferskleg myndun sem liggur yfir mjög ummynduðu bergi. Jökulbergslagið og móbergsmyndunin neðan Bitru sýna sömu háhituummyndun og fram kemur neðar í berglagastaflanum. Þetta atriði er mjög þýðingarmikið, þar sem það sýnir að mesta jarðhitavirknin á svæðinu hefur verið eftir tilurð móbergsmyndunarinnar og jökulbergsins, en fyrir myndun Bitrunnar. Jarðhitinn á Ölkelduhálsi hefur samkvæmt þessu verið í hámarki á síðustu ísöld. Jökulbergslagið sést á yfirborði þar sem Bitrumynduninni sleppir (Kristján Sæmundsson, pers. uppl.). Fróðlegt væri að athuga þetta nánar og hvort móbergsmyndunin undir jökulberginu tengist móberginu í Ölkelduhjúki. Ef svo reynist vera bendir það til þess að jarðhitavirknin á Ölkelduhálsi hafir verið í hámarki eftir að myndun Ölkelduhjúks. Illft (serisft) er óvenju áberandi útfelling á hápunkti jarðhitavirkninnar, gæti bent til kvikuvirkni.

9.3 Hiti í jarðhitakerfinu

Hitamælingar í holu ÖJ-1 sýna að berghiti við holuna er rétt um 200°C frá 400 m dýpi og niður undir holubotn á rúmlega 1000 m dýpi. Þetta er mun lægri hiti en rannsóknir á hveragasi gáfu til kynna áður en boranir hófust á Ölkelduhálsi. Samkvæmt þeim rannsóknum mátti búast við hita um eða yfir 300°C, þegar komið væri vel ofan í jarðhitakerfið (Gretar Ívarsson, 1996). Ámóta ósamræmi kemur einnig fram þegar mældur hiti er borinn saman við ummyndun jarðlaganna sem holan liggur um. Athuganir á ummyndun bergsins leiða í ljós að hún hefur orðið til við mun hærri hita en nú mælist þar sem klórft og epídot eru ríkjandi ummyndunarsteindir. Tilvist þeirra er talið öruggt merki um myndunarhita yfir 240°C, eða langt yfir því sem mælist í holunni. Samkvæmt þessu hefur svæðið, sem borað var í, kólnað verulega frá því jarðhitavirknin var í hámarki á síðasta jökulskeiði. Einu vísbendingarnar um lægri ummyndunarhita fengust úr athugunum á vökvabólum í útfellingum í borsvarfi úr holu ÖJ-1, þar sem nokkrar vökvabólur sem greindar voru, virðast hafa myndast við hita á bilinu 205-215°C, eða aðeins yfir núverandi berghita. Þetta voru hins vegar mjög fáar vökvabólur og varla nægjanlega margar til að staðfesta lægri hitamörk þeirra. Það hversu fáar vökvabólur virðast hafa myndast við núverandi berghita bendir til þess að kæling jarðhitakerfisins sé nýtilkomin. Niðurstaðan er sú að ummyndun berglaganna við holu ÖJ-1 ber lítil sem engin merki um kælingu, sem bendir til þess að kólnun svæðisins í um 200°C sé tiltölulega ungt fyrirbrigði.

9.4 Samanburður á efnasamsetningu borholuvökva og hveragufu

Kæling í svæðinu þar sem borað var er haldbær skýring á ósamræminu milli mælds hita og ummyndunar. Vísitæk kæling skýrir ekki ósamræmið milli mælds hita og þess hita sem reiknast út frá gasstyrks og gassamsetningu í hverum og gufuaugum á svæðinu. Til að skoða þetta nánar var gerður samanburður á fyrri athugunum á gasi úr hverum og gufuaugum á svæðinu annars vegar og efnasamsetningu borholuvökvans úr holu ÖJ-1 hins vegar.

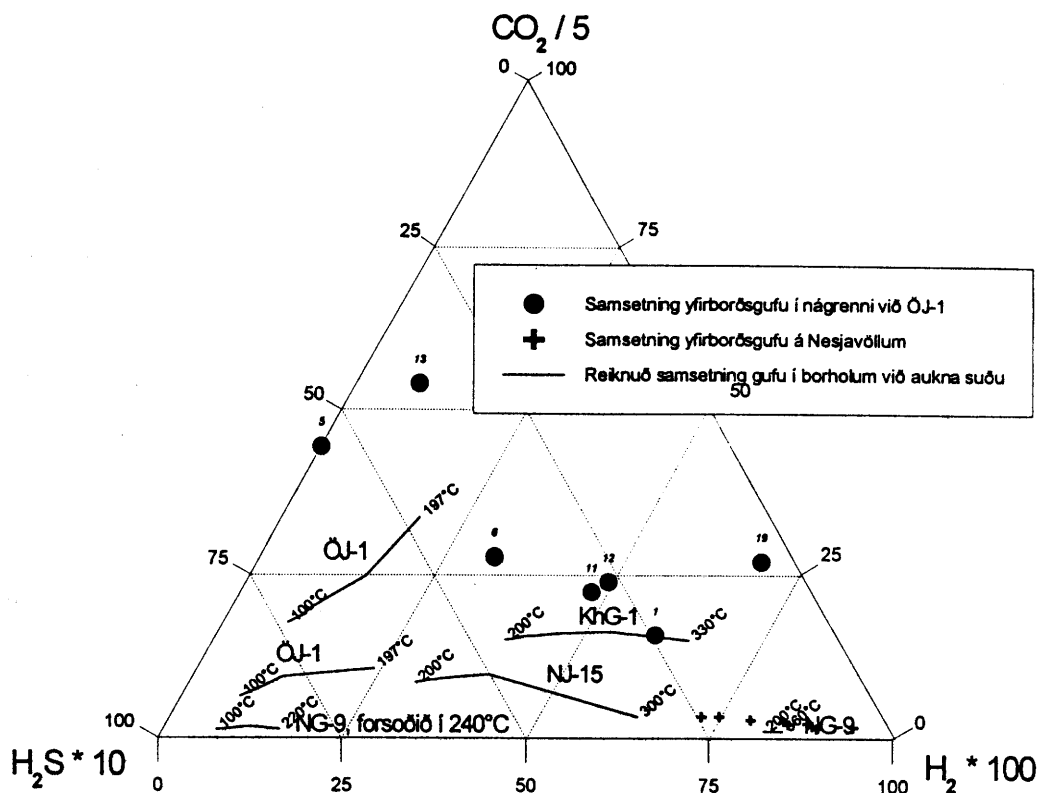
Ýtarlegar rannsóknir liggja fyrir á samsetningu gufu úr hverum og gufuaugum á Ölkelduháls-svæðinu (Gretar Ívarsson, 1996). Þær leiddu í ljós að styrkur gastegunda í gufu á jarðhitabeltinu sem liggur til suðausturs frá Henglinum fer yfirleitt lækkandi er fjær dregur Henglinum, sérstaklega vetni (H_2), en nær þó staðbundnu hámarki vestan við Ölkelduhnúk, en hola ÖJ-1 er á því svæði.

Líklegt hitastig í jarðhitakerfinu var reiknað út frá efnasamsetningu gufunnar, og benda reikningarnir til þess að búast megi við um og yfir $300^\circ C$ hita undir Ölkelduháls-svæðinu. Þessi niðurstaða vísar all verulega frá þeim hitagildum sem mælst hafa í holu ÖJ-1, en þar er hiti á bilinu $180 - 200^\circ C$ á $500 - 1000$ m dýpi, og í blæstri streymdi $198^\circ C$ heitt vatn inn í holuna neðan 1000 m dýpis. Því þarf að svara þeirri spurningu, hvort gögn hafi verið ranglega túlkuð eða hola ÖJ-1 hafi ekki náð inn í jarðhitakerfið þar sem yfirborðsgufan myndast.

Vatn inniheldur mikinn fjölda frumefna og efnasambanda. Við suðu sitja langflest þessara efna eftir í vatnsfasanum, en fáein dreifast milli vatnsfasans og gufufasans. Mismunandi eðliseiginleikar valda því að dreifing einstakra efna er ólík, og ræðst hún einnig af suðuhitastigi. Helstu gastegundir í jarðhitagufu er koldíoxíð (CO_2), brennisteinsvetni (H_2S) og vetni (H_2), og er venjulega langmest af því fyrst talda en minnst af vetninu. Á mynd 35 eru hlutföll þessara efna sýnd á þrífyrningsgrafi, og eru gastegundirnar margfaldaðar með föstum til að aðgreina betur einstök gildi. Gashlutföll í gufu úr gufuaugum í næsta nágrenni við holu ÖJ-1 eru sýndir með punktum, en sömu hlutföll úr gufuaugum á Nesjavallasvæðinu (í Köldulaugagili og Nesjalaugagili) eru sýnd með krossum. Á grafinu kemur fram að hlutur vetnis er meiri á Nesjavallasvæðinu heldur en á Ölkelduháls-svæði, og einnig kemur fram að á því síðarnefnda er hlutur vetnis nokkuð breytilegur innan svæðisins, en CO_2/H_2S hlutfallið er nokkuð stöðugt.

Til þess að kanna hvort samband er milli gufu á yfirborði og þeirra jarðhitageyma sem borholur ná í er unnt að reikna hver samsetning gufu er við mismunandi hitastig, ef efnasamsetning og vermi jarðhitavökvans er þekkt. Á þrífyrningsgrafinu eru teiknaðir ferlar sem sýna hvernig gashlutföll í gufu breytast í einstaka holum með lækkandi suðuhita. Þar kemur fram að gashlutföll í gufu frá NG-9 á Nesjavöllum eru þau sömu og í gufuaugunum í Nesjalaugagili og Köldulaugagili. Á mynd 35 er einnig sýndur ferill fyrir gas í NJ-15 á Nesjavöllum. Þessi hola er fjær hverasvæðinu og auk þess með lægra vermi en hola NG-9, enda vísar ferill NJ-15 frá efnasamsetningu yfirborðsgufu. Þá eru sýndir reiknaðir ferlar fyrir 2 sýni úr ÖJ-1 og kemur þar fram að það er engin samsvörun milli djúpvatns í ÖJ-1 og yfirborðsgufu í nágrenninu, hlutfall H_2S er mun hærra í gufu frá holunni heldur en greinist í yfirborðsgufu.

Eins og áður sagði leitar vetni frekast og brennisteinsvetni síst yfir í gufufasa þegar jarðhitavatn sýður. Af þessu leiðir að jafnframt því sem að gasstyrkur lækkar í jarðhitavatni við suðu þá hækkar hlutfallið H_2S/CO_2 og H_2S/H_2 í vatninu. Þetta má sjá á mynd 35 þar sem reiknaður er ferill fyrir NG-9, þar sem djúpvatnið sýður fyrst í $240^\circ C$ og verður þá H_2S/H_2 hlutfallið í gufu sem myndast er það vatn sýður mun lægra en í upphafsgufu, en er svipað og reiknast í ÖJ-1. Það vatn sem fæst úr holu ÖJ-1 ber því merki þess að hafa soðið áður, hitastig vatnsins er lágt, styrkur gas er lágur, og hlutur brennisteinsvetnis af heildargasstyrk er hár. Því er ekki óeðlilegt að álykta að hola ÖJ-1 hafi hitt á sprungu þar sem soðið og afgasað vatn streymir aftur inn í jarðhitakerfið. Efnasamsetning vatnsins bendir eindregið til þess að það sé kólnandi, efnahitamælur sýna um $220^\circ C$, en í holunni er það $198^\circ C$.



Mynd 35. Þrífyrningsgraf fyrir gas á Hengilssvæði.

9.5 Lokaorð

Þær niðurstöður sem fengist hafa við borun ÖJ-1 breyta ekki þeirri túlkun að á Ölkelduháls-svæði sé að finna jarðhitakerfi þar sem hitastig er um og yfir 300°C. Vatnskerfið sem hola ÖJ-1 tengist er hins vegar kaldara en aðaljarðhitakerfið og veldur því líklega staðbundin kæling í nágrenni holunnar. Þetta var túlkad á þann hátt að hitastig væri þarna verulega lægra en umhverfis. Viðnámsmælingar styðja þá túlkun að kælingin sé mjög staðbundin, því í þeirri viðnámsmælingu, sem gerð var næst þeim stað sem hola ÖJ-1 var síðar boruð, kemur fram lágt viðnám innan háviðnámslagsins, sem lýsir háhitakerfinu. Í öðrum viðnámsmælingum á Ölkelduháls-svæðinu, er háviðnámið samfellt svo djúpt sem mælingar skyggjast. Við túlkun viðnámsmælinganna var þetta staðbundna lágviðnám skýrt á þann hátt að um væri að ræða kælt berg vegna niðurrennsli grunnavats um sprungur (Knútur Árnason, 1993). Jafnvel var talið hugsanlegt að þessar sprungurnar hefðu opnast í skjálftavirkninni á svæðinu á síðustu árum. Gögn sem fengust við borun ÖJ-1 falla að nokkru að þessari túlkun, en ekki að öllu leyti þó. Þannig er auðvelt er að hugsa sér niðurrennsli á köldu grunnavatni um lóðréttar sprungur þegar horft er til þrýstiastands vatnskerfanna sem hola ÖJ-1 liggur um. Þannig er sjálft jarðhitakerfið undirþrýst með tilliti til yfirliggjandi grunnavatnskerfis Bitrunnar sem nemur um 20 bar. Skjálftavirkni er mikil á svæðinu og líklegt að einhverjar hreyfingar séu á sprungum, enda þótt beinar mælingar liggi ekki fyrir. Þá benda athuganir á ummyndun til þess að kæling svæðisins sé tiltölulega ungt fyrirbæri. Efnainnihald vökvans bendir hins vegar til þess að kælingin sé heldur flóknara fyrirbæri og að vökvinn sem renni um sprungurnar í nágrenni holu ÖJ-1 og veldur kælingunni, sé ekki kalt grunnavatn, heldur soðið og afgasað jarðhitavatn.

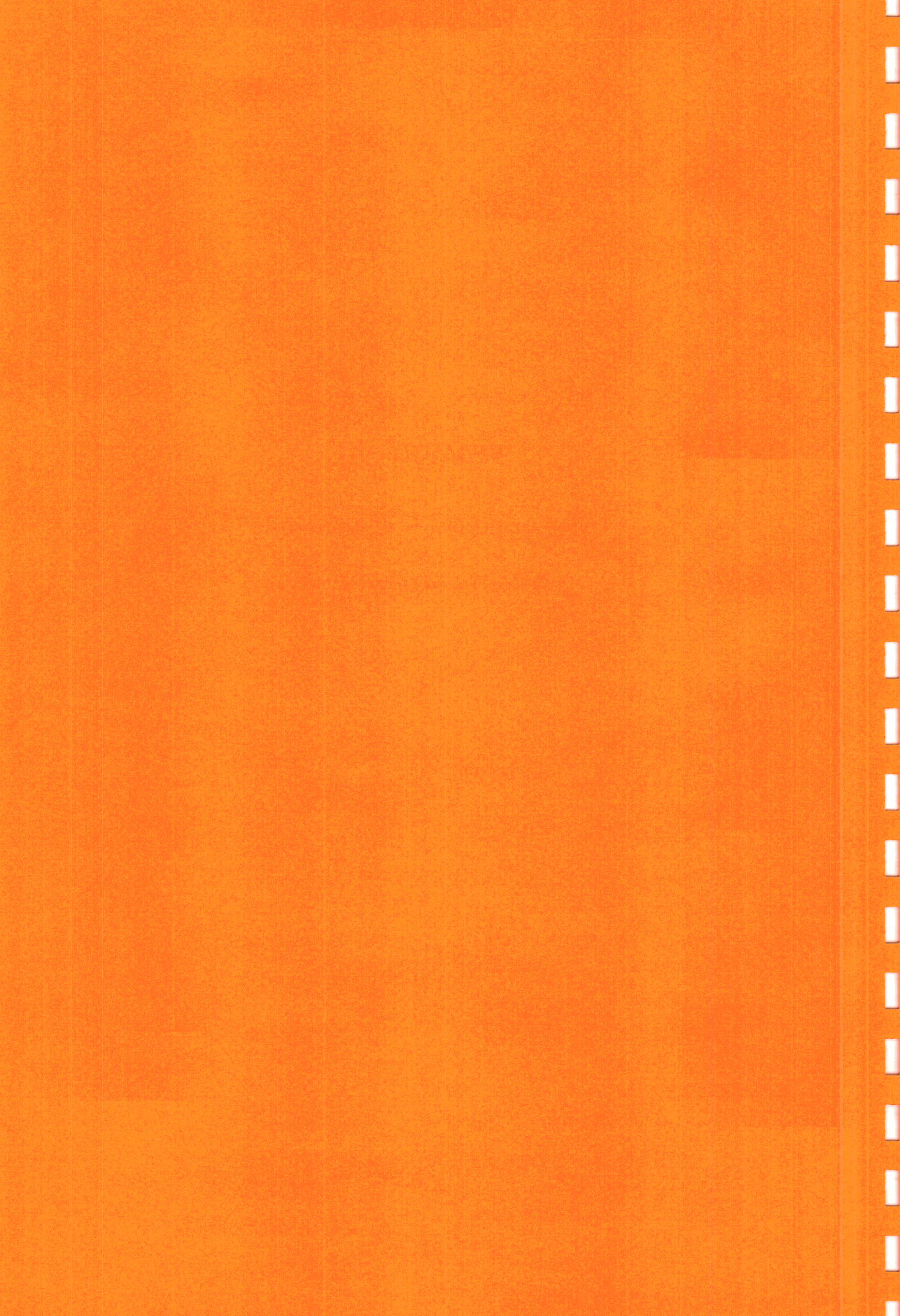
Hvort sem orsök kælingarinnar er niðurstreymi á köldu grunnvatni eða afgösuðu jarðhitavatni, hníga sterk rök að því að kælingin sé bundin við sprungur í næsta nágrenni holu ÖJ-1. Staðsetning næstu rannsóknarholna á svæðinu mun taka mið af þessu og munu þær því verða staðsettar nokkuð frá holu ÖJ-1 til að sem dreifðastar upplýsingar fáiist um vinnslueiginleika jarðhitasvæðisins á Ölkelduhálsi.

10. HEIMILDIR

- Benedikt Steingrímsson og Einar Gunnlaugsson, 1993. Staðsetning rannsóknarhola við Ölkelduháls. Hitaveita Reykjavíkur, greinargerð, júlí 1993.
- Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðrún Sverrisdóttir, Helga Tulinius, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1996. Nesjavellir, hola NJ-14. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86028/JHD-08. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Niels Springer og Jan Andersen, DGU, 1995. Well: ÖJ-1. Conventional and special core analysis. For Orkustofnun. DGU Service raport no. 59.
- Einar Gunnlaugsson, 1994. Borun rannsóknarholu á Ölkelduhálsi. Mat á áhrifum framkvæmdarinnar á umhverfið. Skýrsla Hitaveitu Reykjavíkur.
- Fournier, R.O. og Potter, R.W., 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. Geothermal Resources Council Bulletin, Nov. 1982: 3-9.
- Gretar Ívarsson, 1996: Jarðhitagas á Hengilssvæðo. Söfnun og greining 1993 - 1995. Hitaveitu Reykjavíkur, skýrsla.
- Knútur Árnason, 1993: Jarðhiti á Ölkelduhállssvæði. Viðnámsmælingar 1991 og 1992. Orkustofnun, OS-93037/JHD-10. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík Georgsson og Snorri Páll Snorrason, 1986. Nesjavellir. Jarðfræði- og jarðeðlisfræðilæg könnun 1985. Orkustofnun, OS-86014/JHD-02. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Reyes Agnes, 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. Journ. of Volcanology and Geothermal Research, 43: 279-309.
- Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson and Hörður Svavarsson, 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 567-577.
- Stefán Arnórsson and Einar Gunnlaugsson, 1985. New gas geothermometers for geothermal exploration - Calibration and application. Geochim. Cosmochim. Acta, 49: 1307-1325.
- Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson, Sigurður Benediktsson, Einar Gunnlaugsson og Benedikt Steingrímsson, 1994. Rannsóknarhola á Ölkelduhálsi. Hönnun og verklýsing. Orkustofnun, OS-94009/JHD-04 B. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Trausti Hauksson, 1996: Kísilútfellingar úr háhitavatni. Rannsóknir á hraða kísilútfellinga í iðustreymi. Hitaveita Reykjavíkur, skýrsla.

VIÐAUKI V-1

Tafla V1-1: Yfirlit um mælingar í ÖJ-1
og
Jarðlagasnið og mælingar (frumgögn)



DAGS	SVUNTA	Mæling	Dýpi frá (m)	Dýpi til (m)	Athugasemdir
1994-11-10	15325	Hiti	15	68	"Höggborshola"
1994-12-08	15469	Hiti	0	296	"Mælt niður í stöngum"
1994-12-08	15470	Hiti	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt "eftir upptekt"
1994-12-08	15471	Vídd X hluti	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15527	Vídd Y hluti	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15472	Nifteindir	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15473	Gamma	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15474	Viðnám 16"	75	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15475	Viðnám 64"	75	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15476	Sjálfspenna	75	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt
1994-12-08	15477	Hiti	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt "eftir upptekt"
1994-12-08	15508	Hiti	0	296	"Mælt upp í stöngum"
1994-12-10	15481	Hiti	0	271.5	Steypingu lauk kl. 05:00 "eftir steypingu"
1994-12-10	15482	Hiti	0	271.5	Steypingu lauk kl. 05:00 "eftir steypingu"
1994-12-10	15483	CBL	0	260	Steypingu lauk kl. 05:00
1994-12-17	15512	Hiti	60	769	"Niður í stöngum" Utanádæling 18 l/s frá 15:30
1994-12-17	15513	Hiti	60	769	"Upp í stöngum" Utanádæling 18 l/s frá 15:30
1994-12-17	15514	Hiti	180	781	Eftir upptekt mælir settist í 330 m
1994-12-17	15524	Hiti	769	769	"Mælt í 769 m" Utanádæling 18 l/s frá kl 15:30
1994-12-18	15515	Hiti	180	780	"niður eftir mæliprógram" dæling tekin af niður í 400 m dýpi
1994-12-18	15516	Hiti	180	781	"upp eftir mæliprógram"
1994-12-18	15517	Nifteindir	300	778	Mælt eftir upptekt.
1994-12-18	15518	Gamma	300	778	Mælt eftir upptekt.
1994-12-18	15519	Vídd X hluti	0	778.5	Mælt eftir upptekt.
1994-12-18	15526	Vídd Y hluti	0	778.5	Mælt eftir upptekt.
1994-12-18	15520	Viðnám 16"	300	780	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
1994-12-18	15521	Viðnám 64"	300	780	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
1994-12-18	15522	Sjálfspenna	300	780	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
1994-12-21	15530	Hiti	272	644	Mælt kl 22-22:30 Vinnslufóðring steipt kl 15.
1994-12-21	15531	Hiti	272	644	Mælt kl 23:10-23:35 Vinnslufóðring steipt kl 15
1994-12-22	15532	Hiti	30	540	Mælt kl 4:30-4:50 Vinnsluf. steipt 21.des kl 15
1994-12-22	15533	Hiti	30	640	Mælt kl 5:30-5:50 Vinnsluf. steipt 21.des kl 15
1994-12-22	15534	Hiti	30	350.2	Mælt kl 7:50-8:10 Fyllt upp milli fóðringa með köldu vatni
1994-12-22	15535	Hiti	30	350	Mælt kl 9:00-9:15 Fyllt upp milli fóðringa með köldu vatni
1994-12-22	15536	Hiti	30	604	Mælt kl 13-13:30 Fóðring steipt 21.des kl 15.
1994-12-22	15537	CBL	0	550	Mælt 15 tímum eftir steypingu vinnslufóðringar
1994-12-22	15538	CBL	0	550	Mælt 16 tímum eftir steypingu vinnslufóðringar
1994-12-29	15546	Hiti	30	230	
1994-12-29	15547	Hiti	200	405	Fyrirstaða í 405 m, væntanlega steypa.
1995-01-03	15554	Hiti	150	405	Fyrirstaða í 405 m, væntanlega steypa.
1995-01-04	15556	Hiti	20	370	"eftir jólafrí"
1995-01-04	15557	Hiti	300	335	"Kl 13:05" Dæling milli fóðringa hófst kl 12:30
1995-01-04	15558	Hiti	300	355	"Kl 13:21" Dæling milli fóðringa frá 12:30
1995-01-04	15559	Hiti	300	340	"Kl 13:40" Dæling milli fóðringa frá 12:30
1995-01-04	15560	Hiti	300	340	"Kl 14:20" Dæling milli fóðringa frá 12:30
1995-01-04	15561	Hiti	50	350	"Kl 15:00" Dæling milli fóðringa frá 12:30

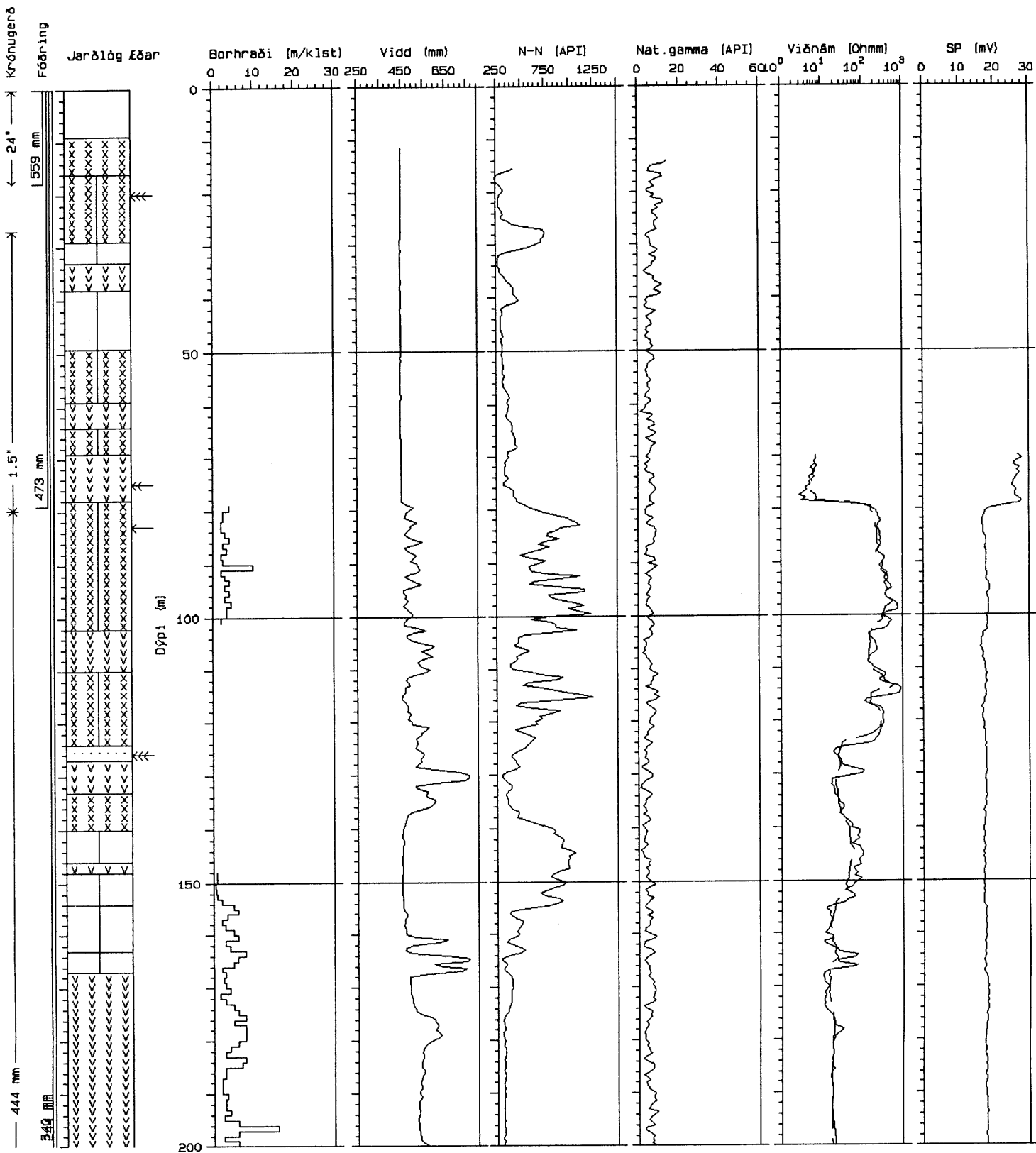
1995-01-05	15562	Hiti	30	370	"eftir seinni steypingu"
1995-01-05	15563	Hiti	30	380	"eftir seinni steypingu"
1995-01-05	15564	CBL	40	350	"eftir seinni steypingu"
1995-01-05	15565	CBL	10	330	"eftir seinni steypingu"
1995-01-10	15581	Hiti	200	790	"ádæling 23 l/s"
1995-01-10	15582	Hiti	700	790	"engin ádæling"
1995-01-11	15631	Hiti	110	590	"Engin ádæling"
1995-01-15	15626	Hiti	371	988	"Ád.18 l/s + 1 í stöngum" síðan kl. 17:00
1995-01-15	15627	Þrýstingur	0	500	"Ád. 18 l/s + 1 í stöngum" síðan kl. 17:00
1995-01-15	15628	Hiti	500	990	"Ád. 9 l/s + 1 í stöngum" síðan kl. 17
1995-01-15	15629	Hiti	360	840	"Ádæling 5 l/s"
1995-01-16	15630	Hiti	385	1007	"Ád. 19 l/s + 1 í stöngum"
1995-01-20	15639	Hiti	330	1009	"Eftir upptekt Ádæl. 19 l/s"
1995-01-20	15640	Vidd X hluti	750	810	Mælt sérstaklega vegna kjarna
1995-01-20	15641	Vidd X hluti	755	810	Endurmælt vegna Y-hluta sem ekkert skánaði
1995-01-20	15642	Vidd X hluti	0	1009	Mælingaprógram
1995-01-20	15643	Gamma	770	810	Mælt vegna kjarna. Loghraði 3 m/mín; Skráning á 10 sm fresti
1995-01-20	15644	Gamma	770	830	Mælt vegna kjarna. Loghraði 3.3 m/mín; Skráning:10 sm fresti
1995-01-20	15645	Gamma	770	840	Mælt vegna kjarna. Loghraði 16 m/mín; Skráning:50 sm fresti
1995-01-20	15646	Gamma	770	1009	Mælingaprógramm: Loghraði 9 m/mín; Skráning:50 sm fresti
1995-01-20	15647	Sjálfspena	760	1009	Mælt niður á 16"-skauti
1995-01-20	15648	Sjálfspena	760	1009	Mælt upp á 64"-skauti
1995-01-20	15649	Viðnám 16"	760	1009	Mælingaprógramm. Straumur 10 mA. Fer í mettun í ca 825 m.
1995-01-20	15650	Viðnám 64"	760	1009	Mælingaprógramm. Straumur 10 mA. Fer í mettun í ca 825 m.
1995-01-20	15651	Sjálfspena	760	840	Mælt niður á 16"-skauti. Loghraði 13; Skráning á 10 sm fresti
1995-01-20	15652	Viðnám 16"	760	840	Straumur 10 mA. Logghraði 13; Skráning á 10 sm fresti. Mettun
1995-01-20	15653	Viðnám 64"	760	840	Straumur 10 mA. Loghraði 13; Skráning á 10 sm fresti. Mettun
1995-01-20	15654	Viðnám 64"	770	840	Straumur 5 mA. Loghraði 15; Skráning á 10 sm fresti.
1995-01-20	15655	Viðnám 16"	770	840	Straumur 5 mA. Loghraði 15; Skráning á 10 sm fresti.
1995-01-20	15656	Viðnám 16"	770	840	Straumur Auto Loghraði 15; Skráning á 50 sm fresti.
1995-01-20	15657	Viðnám 64"	770	840	Straumur Auto Loghraði 15; Skráning á 50 sm fresti.
1995-01-20	15658	Viðnám 16"	770	840	Straumur 1.2 mA Loghraði 15; Skráning á 50 sm fresti.
1995-01-20	15659	Viðnám 64"	770	840	Straumur 1.2 mA Loghraði 15; Skráning á 50 sm fresti.
1995-01-20	15660	Hiti	320	1009	"Eftir mæliprógramm Ádæl. 19 l/s"
1995-01-21	15662	Nifteindir	770	1011	Loggað á 5 m/mín við æðar Mælingaprógram. Mælt eftir viðgerð á mæli.

1995-01-21	15664	Gamma	770	1011	Mælingaprógram. Mælt eftir viðgerð á mæli.
1995-01-21	15666	Gamma	770	830	Vegna kjarna. Skráning á 10 sm fresti
1995-01-21	15667	Nifteindir	770	830	Loghraði 4 m/mín
1995-01-21	15681	Hiti	780	1010	Vegna kjarna. Skráning á 10 sm fresti
1995-01-21	15682	Hiti	780	1010	Loghraði 4 m/mín
1995-01-21	15683	Hiti	780	1010	"Ádæling 17.8 l/s"
1995-01-21	15685	Þrýstingur	300	1010	"Ádæling 27.1 l/s"
1995-01-21	15686	Þrýstingur	780	1010	"Ádæling 17.8 l/s"
1995-01-21	15687	Þrýstingur	780	1010	"Í þrepadælingu" p0121173.dat
1995-01-21	15689	Þrýstingur	780	780	"Í þrepadælingu" p0121195.dat
1995-01-21	15690	Þrýstingur	780	780	"Í þrepadælingu" p0121220.dat
1995-01-21	15691	Þrýstingur	780	780	"Þrepadæling" Rennsli breytt úr 17.8 l/s kl 18:49
1995-01-22	15684	Hiti	780	1010	"Þrepadæling" Rennsli breytt úr 27.3 l/s kl 20:53
1995-01-22	15688	Þrýstingur	308	780	"Þrepadæling" Rennsli breytt úr 17.8 l/s kl 22:51
1995-01-23	15636	Hiti	300	1001	"Ádæling 9.9 l/s"
1995-01-23	15637	Þrýstingur	300	1001	"Í þrepadælingu" p0122002.dat
1995-01-26	15692	Hiti	530	1000	
1995-01-26	15693	Þrýstingur	300	1001	
1995-01-26	15694	Hiti	100	540	
1995-02-08	15702	Hiti	83	530	Hola stóð lokuð en steindauð, engin fýla úr henn
1995-02-08	15703	Þrýstingur	300	1001	Drasl var límt neðan á mæli er hann kom upp. Það fengið BS
1995-02-08	15704	Hiti	500	1001	Ólag á base línu í mæli, líklega penni þar eð hiti o.k. í 500m
1995-03-27	15931	Hiti	300	900	Kuster element. Klukka gekk út á 900 m dýpi.
1995-03-27	15932	Hiti	700	1000	
1995-03-27	15933	Þrýstingur	300	1000	
1995-06-29	16113	Hiti	270	370	Hola stóð lokuð en steindauð, engin fýla úr henn
1995-06-29	16114	Hiti	300	1001	Hola stóð lokuð en steindauð, engin fýla úr henn
1995-06-29	16115	Þrýstingur	0	1001	Hola stóð lokuð en steindauð, engin fýla úr henn
1995-08-30	16256	Hiti	0	1003	"í blæstri" menn HR tóku vatnssýni sama dag
1995-08-30	16257	Þrýstingur	0	1003	"í blæstri" ath að mælir nötrar í botni en ekki í pkt. fyrir ofan
1995-09-21	16348	Þrýstingur	1000	1000	Þrýstijöfnun eftir blástur. Lokað fyrir holu kl 13:46.



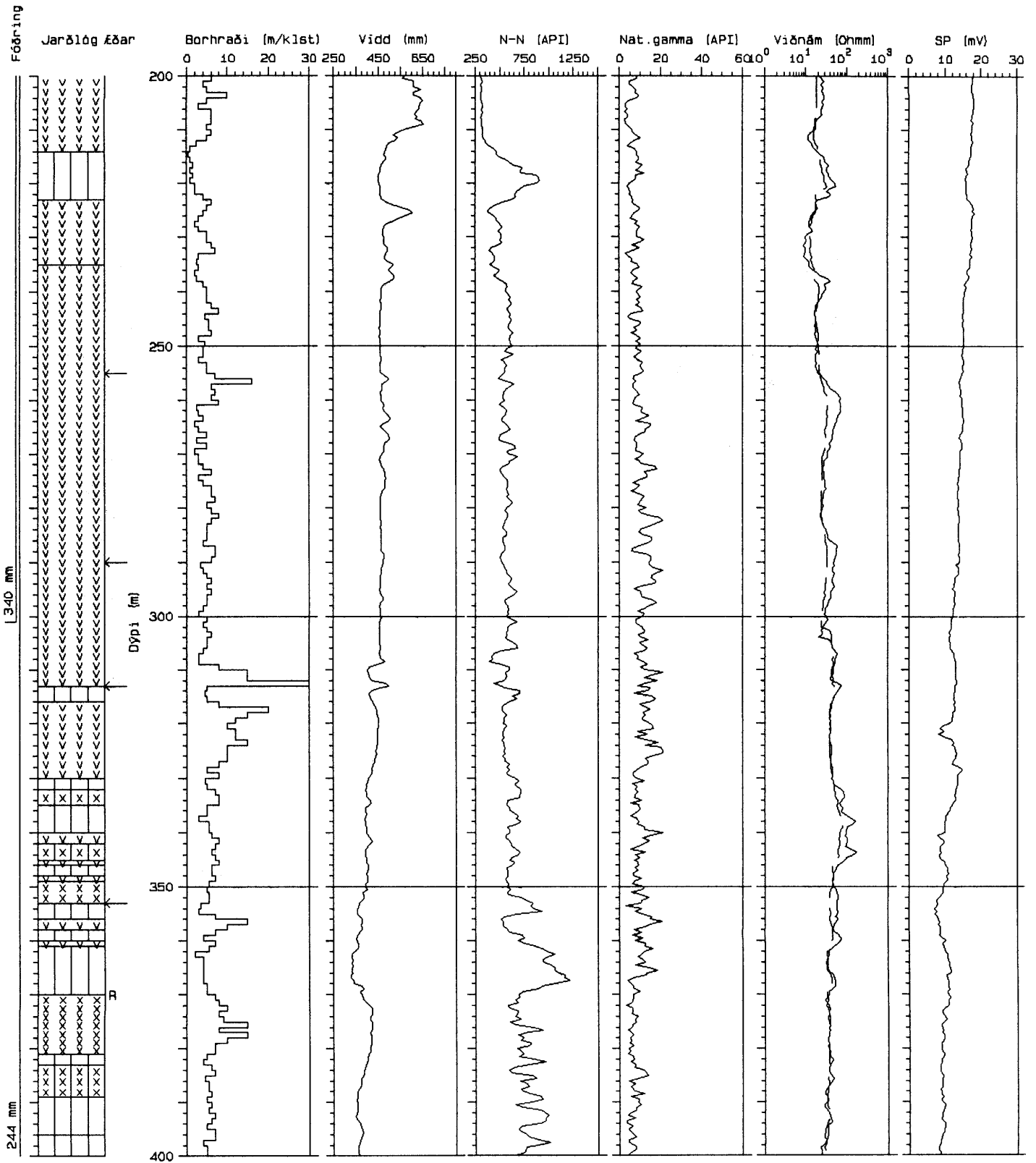
JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ólkelduháls hola ÓJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



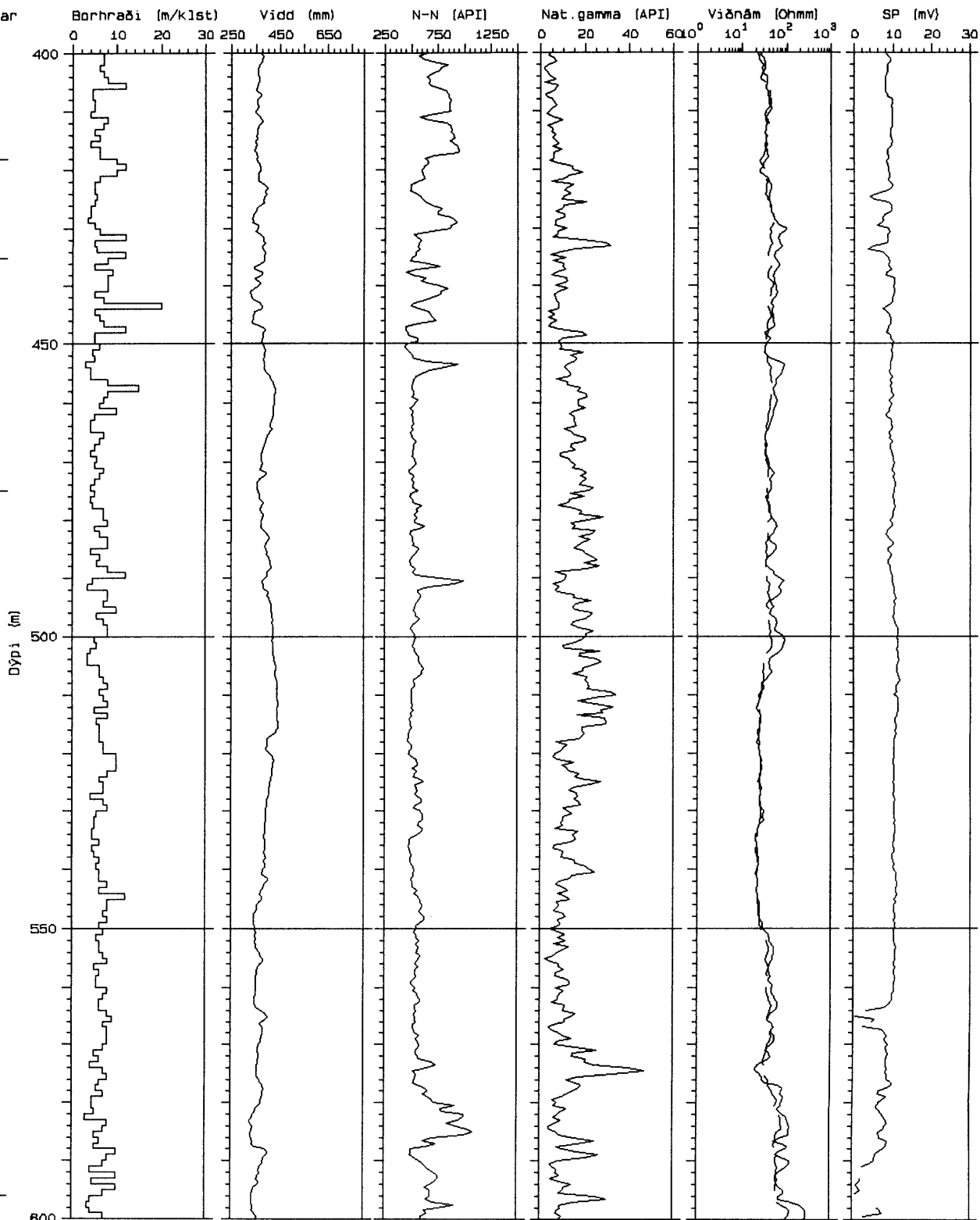
JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar

Króngugerð

Fóðring

Jarðlög Eðar



311 mm J-44

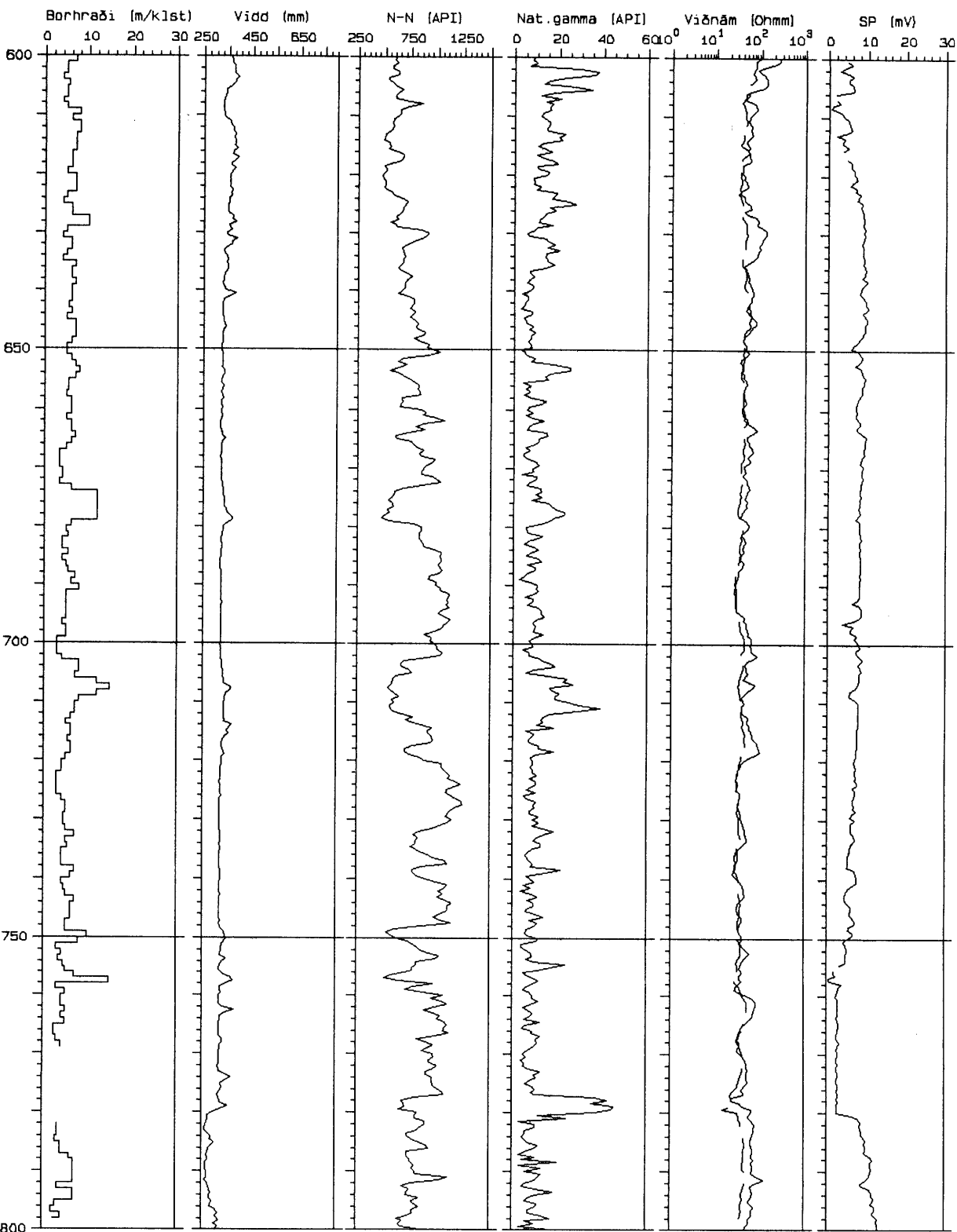
244 mm

JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar

Fóðring

Jarðlög líðar

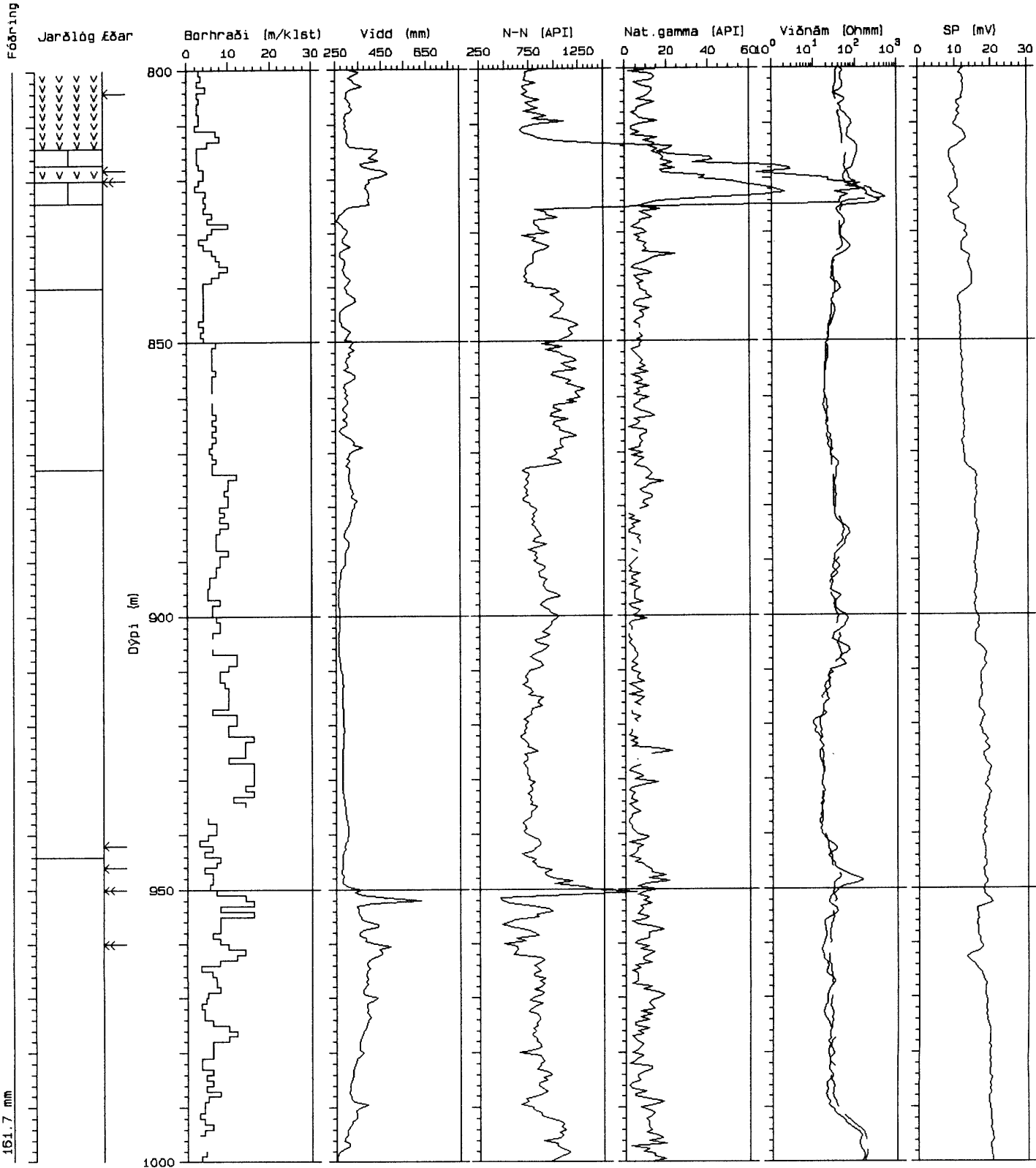


244 mm

161.7 mm

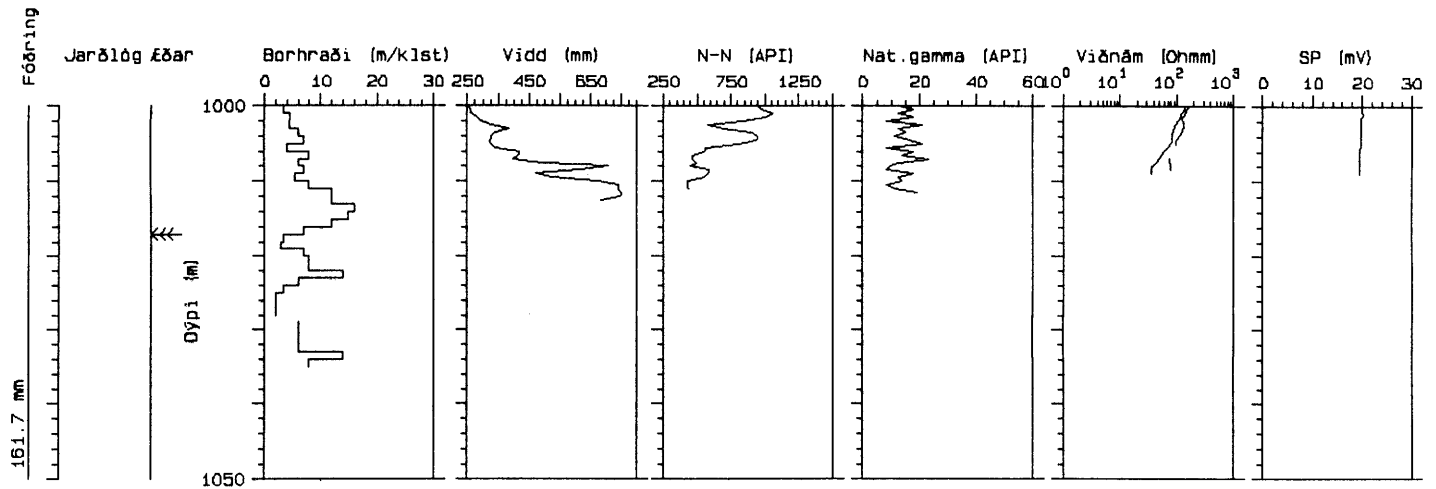
JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar



JHD-FFR/JFR HTUL/HF
15.11.1995 T

Ölkelduháls hola ÖJ-01 Jarðlagasnið og mælingar

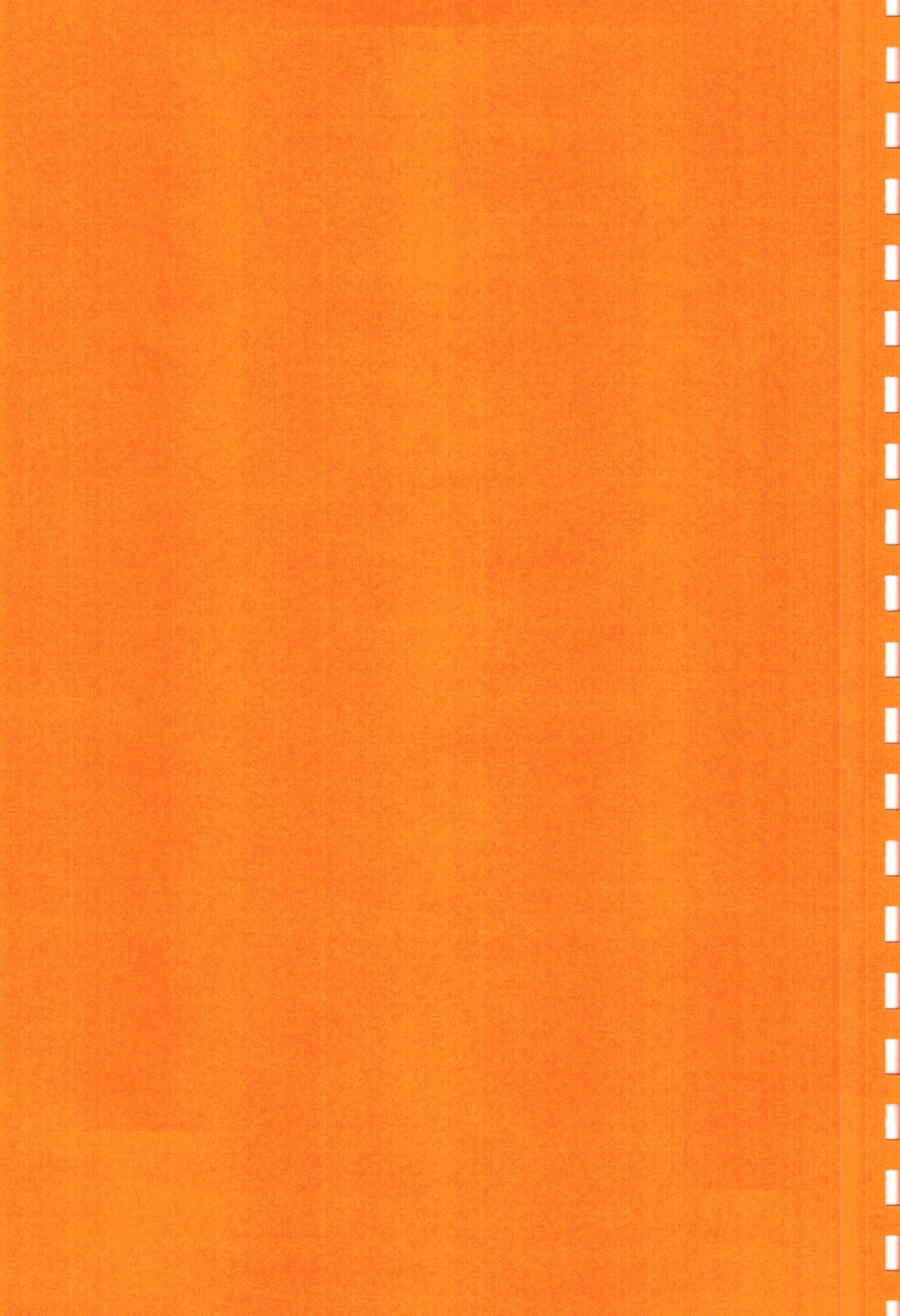


Skýringar við jarðlagasnið

- | | | | |
|--------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Fersklegt fin-meðalkorna basalt | | Basaltrik breksia |
| | Ummyndað fin-meðalkorna basalt | | Túff |
| | Fersklegt meðal-grófkorna basalt | | Fínkornótt set |
| | Fersklegt glerjað basalt | | Svarf vantar |
| | Ummyndað glerjað basalt | | |
| ← : Litill vatnsæð | | ←← : Stór vatnsæð | |
| ←← : Meðal vatnsæð | | | |
| | Innskot | | Upphleðsluberg |
| | Hugsanlegt innskot | | |

VIÐAUKI V-2

Borun holu ÖJ-1 - 1. áfangi





ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 015

Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Dagbjartur Sigursteinsson
Guðlaugur Hermannsson
Hilmar Sigvaldason
Hjalti Franzson
Jósef Hólmjárn
Sigurður Benediktsson

ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI

Hola ÖJ-1, 1. áfangi:

Höggborun og borun fyrir 13 3/8" fóðringu
í 309 m dýpi

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-94056/JHD-33 B

Desember 1994

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. BORSAGA	4
2.1 Forborun ÖJ-1	4
2.2 Borun ÖJ-1, fyrsti áfangi	4
3. JARÐLÖG OG UMMYNDUN	5
3.1 Jarðlög	5
3.2 Ummyndun	6
4. BORHOLUMÆLINGAR	6
5. HEIMILDIR	7

TÖFLUSKRÁ

1 Fóðrunarskýrsla höggborsfóðringar	8
2 Fóðrunarskýrsla 13 3/8" öryggisfóðringar	9
3 Borholumælingar í holu ÖJ-1; 1. áfangi	11

MYNDASKRÁ

1 Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	12
2 Framvinda borunar í 1. áfanga ÖJ-1	13
3 Jarðlög, dæling, skoltap og dæluþrýstingur í borun fyrsta áfanga ÖJ-1	14
4 Steyping fóðurrörs	15
5 Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar	16
6 Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og ummyndun samkvæmt svarfgreiningu	17
7 Jarðlög, vatnsæðar og mögulegur hiti samkvæmt ummyndun í 1. áfanga borunar ÖJ-1	18
8 Hitamælingar í 1. áfanga borunar ÖJ-1	19
9 Steypumæling í 13 3/8" öryggisfóðringu	20

1. INNGANGUR

Á árinu 1986 keypti Hitaveita Reykjavíkur jörðina Ölfusvatn í Grafningi ásamt jarðhitaréttindum, en innan landareignarinnar er að finna jarðhita á Ölkelduhálssvæði í norðaustur hluta háhitasvæðisins, sem kennt er við Hengil. Hitaveitan hefur undanfarin átta ár unnið að rannsókn jarðhitans á Ölkelduhálssvæði og er nú yfirborðskönnun svæðisins lokið. Viðamesti þáttur rannsókna hefur verið TEM-viðnámsmælingar og athuganir á hverum og gufuaugum á svæðinu, en jarðfræði svæðisins hefur einnig verið endurskoðuð.

Næsti áfangi í rannsókn á Ölkelduhálssvæði er nú að hefjast, en það er könnun svæðisins með borunum. Sumarið 1993 var fyrstu rannsóknarholunni valinn staður nyrst á Ölkelduhálssvæði fyrir miðjum Þverárdal rúmlega 2 km suðvestur af Tjarnarhnjúk en um 1 km suðaustan Kýrgils. Staðsetning holunnar er sýnd á mynd 1.

Undirbúningur borunar á Ölkelduhálssvæði hefur staðið meira og minna allt þetta ár. Hönnun holunnar og verklýsing var gerð fyrri part ársins. Vegna nýrra laga varðandi umhverfismál þurfti framkvæmdin að fara í umhverfismat, og átti það líka við um vegagerð inn á svæðið. Endanlegt samþykki skipulagsyfirvalda fyrir boruninni lá fyrir síðastliðið haust, og hófst forborun með höggbor snemma í október. Höggborsholan varð 70 m djúp. Jarðborinn Narfi fóðraði síðan holuna, en flutningur jarðborsins Jötuns á borstað hófst seint í nóvember. Holan ber nafnið ÖJ-1 og stendur Ö fyrir Ölkelduhálssvæði, en J fyrir Jötunn.

Hola ÖJ-1 hefur hnitin $X=658674.65$ og $Y=399118.00$, en hæð borplans (kjallarabrún) er í 360.77 m y.s. Gert er ráð fyrir eftirfarandi hönnun holunnar (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1994):

- a: Forborað verði með höggbor í 70 m og holan fóðruð með API 18 5/8" yfirborðsfóðringu í botn. Þyngd fóðurröranna er 87,5 lb/ft og eru þau soðin saman.
- b: Borað verði með 17 1/2" borkrónu í 300 m og hola síðan fóðruð með API 13 3/8" öryggisfóðringu. Þyngd fóðurröranna er 68 lb/ft og verða þau skrúfuð saman. Fóðringin verður stept í holuna.
- c: Fyrir API 9 5/8" vinnslufóðringu verði borað í 800 m dýpi með 12 1/4" borkrónu. Þyngd fóðurröra er 47 lb/ft. Rörin verða skrúfuð saman og loks stept.
- d: Vinnsluhluti holunnar verði boraður með 8 1/2" borkrónu, og er gert ráð fyrir borun í allt að 2000 m dýpi. Vinnsluhlutinn verður fóðraður með raufuðum leiðara (API 7"; 23 lb/ft), sem hengdur verður neðarlega í vinnslufóðringuna.
- f: Í vinnsluhlutanum er ráðgert að taka 2-3 borkjarna. Kjarnatökustaðir hafa ekki enn verið ákveðnir.

Eftirfarandi skýrsla greinir frá fyrsta áfanga borunar Jötuns, þ.e. borun fyrir öryggisfóðringu og steypingu hennar. Einnig er lauslega greint frá forborun holunnar í 70 m og greint frá athugunum á höggborsholunni. Verkið er unnið samkvæmt rannsóknarsamningi milli Hitaveitu Reykjavíkur og Jarðhitadeildar Orkustofnunar.

2. BORSAGA

2.1 Forborun ÖJ-1

Hola ÖJ-1 var forboruð af Höggbor 3 á tímabilinu frá 10. október til 8. nóvember (1994). Borað var með 24" hamri niður á um 17.8 m dýpi, en þar varð hrun í holunni, svo fódra varð holuna með 22" fódringu til að skerma hrúnið af. Borað var áfram niður í 70 m dýpi með 21,5" hamri. Gekk sú borun áfallalaust að kalla.

Borinn Narfi kom á staðinn um leið og höggborinn hafði lokið borun og fódraði holuna með 18 5/8" fódringu í botn. Sá Narfi einnig um að steypa fódringuna. Steyptist fódringin upp í 12 m dýpi, en þar var vatnsæð, sem gleypiti þá steypu sem að neðan kom. Vitneskjan um þessi lagskil voru nýtt þegar ákveðið var að bora skolvatnsholur < 50 m frá holunni (borverk framkvæmt af Glaumi). Fódringaskýrsla Narfa er sýnd á töflu 1. Tekið skal fram að breytt hefur verið dýptartölum í borholugögnum (svarfgreiningum, vatnsæðum o.s.frv.) í þessari áfangaskýrslu, þar sem miðað er við drifborð Jötuns, en það er um 9 m ofan við holuflangs.

2.2 Borun ÖJ-1, fyrsti áfangi

Á mynd 2 eru sýnd helstu atriði borunar fyrsta áfangans. Samkvæmt því hófst flutningur Jötuns frá Seltjarnarnesi upp á Ölkelduhálssvæði þann 21. nóvember, og þann 28. sama mánaðar var mastur reist. Borun í berg hófst svo um 4 dögum síðar eða 2. desember. Áfanganum lauk er gengið hafði verið frá holutoppi fyrir næsta áfanga borunarinnar sunnudaginn 11. desember.

Borstrengur sem settur var í holuna samanstóð af 17 1/2" krónu (D-27325 S53-J), 2 söbbum, 2 stýringum, 12 kollum og 6 1/2" borstögum.

Skolvökvi var vatn. Í upphafi var aðeins unnt að dæla að bornum um 10 l/s úr annarri kalda vatnsholu Glaums, sem varð til þess að þegar um 23 l/s skoltap varð í 146 m dýpi reyndist ógerningur að koma svarfinu til yfirborðs. Það vandamál var leyst þegar komið var niður á um 236 m dýpi, en þá hafði annarri dælu verið komið fyrir í hinni Glaumsholunni, og samanlögð dælugeta orðin um 25 l/s. Á þeim tíma var einnig búið að ganga frá dælubúnaði úr uppistöðulóninu í ánni um 500 m frá bornum. Er síðastnefnda vatnsöflunarleiðin til taks ef á þarf að halda.

Jötunn hóf borun í berg á 79 m dýpi. Þetta samsvarar 70 m djúpri höggborsholu, en 9 metra munur er á dýptarviðmiðun Jötuns og höggborsins, eins og áður er sagt. Borun var nær samfelld frá 79 m niður á 309 m dýpi. Álag á borkrónu var mjög breytilegt, af fleiri en einni ástæðu: Álag var minnkað vegna ófriðlegrar hegðunar borstrengs þegar borað var í bólstrabergi (bólstrahopp). Álag var einnig minnkað meðan borað var milli 146 m og 236 m dýpis þar sem aðeins var skolað með 5-13 l/s í algjöru skoltapi. Álagið var sem sagt breytilegt, eða frá 1 upp í um 15 tonn.

Á mynd 3 eru sýndar breytingar í skolvatnsdælingu, skoltöp og breytingar í dæluþrýstingi meðan á borun stóð. Dæling var frá um 45 l/s upp í rúma 60 l/s, nema á dýptarbilinu milli 146 og 236 m dýpis þar sem dæling var á bilinu frá 5 til 13 l/s, þar sem vatn til borsins var af skornum skammti eins og fyrr er getið. Dæluþrýstingur var frá um 400 psi upp í 800 niður í 146 m dýpi, ekki mælanlegur þaðan og niður á 236 m dýpi, en neðan þess reyndist hann vera frá rúmlega 600 upp í um 1150 pund (psi).

Skoltap var mælt á 4 klst fresti í borun eins og venja er. Skoltap var tekið um leið og komið var niður úr höggborðsfóðringunni, og reyndist það vera innan við 2 l/s. Í 85 m dýpi mældist skoltapið um 4,75 l/s, sem hélst nokkurn veginn óbreytt niður á 146 m dýpi þar sem algert skoltap varð. Það síðastnefnda reyndist í mælingu á 176 m dýpi vera um 23 l/s, og hélst á milli tæplega 18 l/s og tæplega 24 l/s niður á 309 m dýpi. Jókst skoltap ekki í hreinsun holunnar í borlokum.

Byrjað var á um 270 m dýpi að leita eftir hentugum stað til að setja fóðurrörsendann. Reyndist túff vera ríkjandi og var að lokum ákveðið að stoppa borunina í 309 m dýpi þrátt fyrir að ekki hafi fundist neinn staður kjörinn fyrir fóðurrörsendann. Í borlok reyndist botnfall um 4 m, og var reynt að hreinsa það með vatnsskolun. Við það jókst botnfallið upp í 16 m og við enn frekari skolun fór botnfallið upp í 22 m. Var þá settur geltappi af minni gerðinni og minnkaði botnfallið þá niður í um 17 m. Enn þykkari geltappi af stærri gerðinni var blandaður og hringskolað með honum þrisvar sinnum. Barst upp mikið magn svarfs og hruns, sem að langmestu leyti var túff. Túffið var þeim einkennum gætt að molna auðveldlega í vatni, ekki ósvipað og sést hefur í borun á rauðum setlögum í tertíera staflanum. Þetta hraða rof túffsins var samkvæmt víddarmælingum einna mest ofan 240 m dýpis, en minna þar fyrir neðan, og er líklegt að meiri ummyndun þess þar herði það gegn slíkri molnun. Fóðurrör komust í 301,5 m dýpi, og hefur botnfall í holunni verið a.m.k. 7,5 m í holunni, sem verður að teljast viðunandi miðað við aðstæður.

Á töflu 2 er sýnd fóðrunarskýrsla og á mynd 4 eru dregin upp helstu atriði steypingar. Steyping tókst vel, steypa kom til yfirborðs, þar til eftirdæling hófst, en þá seig yfirborð hennar niður á um 50 m dýpi að því er talið var. Steypingin tók um 41 mínútu og fóru um 50 tonn af sementi. Eðlisþyngd reyndist vera um 1,6, og eðlisþyngd steypunnar sem upp kom reyndist vera 1,56. Beðið var í 2 klst áður en steyppt var að ofan og fóru um 4 tonn af sementi í þann þátt. Eftir hörðnun steypunnar var steypumælt (CBL). Sýndi mælingin að steypan hafði haldið áfram að síga og mældist steypuborð á 25 m dýpi. Steyppt var því í þriðja sinn. Í það fóru 2 tonn af sementi.

Hallamælt var á 110 m og 200 m dýpi, og reyndist halli holunnar frá lóðréttu vera í báðum tilvikum rétt innan við 0,5°.

3. JARÐLÖG OG UMMYNDUN

3.1 Jarðlög

Jarðlög ásamt borhraða og jarðlagamælingum er sýnd á mynd 5. Jarðlögin skiptast í tvær myndanir:

Frá yfirborði niður á 126 m dýpi er móbergsmýndun sem kennd hefur verið við Bitru samkvæmt yfirborðsrannsóknum. Hún er ráðandi bólstraberg. Ofan 50 m eru tvö vel kristölluð lög sem líklega eru basalteitlar. Þrjú túfflög, innan við 10 m þykk, liggja inn á milli bólstrabergseininganna.

Neðra móbergið er ráðandi túff og sér ekki í botninn á því í 309 m dýpi. Á skilum myndanna er um 2 m þykkt jökulbergslag, gráleitt að lit og siltkennt.

Borhraðinn er yfirleitt vel innan við 10 m/klst. Á myndinni eru jarðlagamælingar sýndar. Viðnámsmælingar sýna mjög hátt viðnám innan Bitrumóbergsins en lágt neðan þess nema toppar koma fram í kringum 150 m og afmarkaður toppur í rúmlega 160 m dýpi. Milli 220-230 m dýpis er einnig toppur í viðnámi. Nifteindamælingar sýna svipaða mynd og viðnámið. Gamma mælingin sýnir lítil frávik, nema að sjá má það heldur lækka á mörkum móbergsmýndananna, og að þegar kemur niður fyrir um 220 m dýpi tekur útslag fremur að rísa. Það fyrrnefnda má líklega telja vera vegna munar í efnasamsetningu á móbergsmýndunum, en breytingin neðan 220 m orsakast líklegast af aukinni ummyndun á berginu með dýpi. Víddarmæling sýnir áberandi rof í holunni á milli um 120 m og 220 m dýpis. Þetta rof er mestmegnis vegna lins móbergs. Þegar litið var nánar á móbergið í þurru ástandi og það bleytt á ný, reyndist það springa og verða að leðju, og því auðsjáanlega mjög viðkvæmt fyrir ágangi vatns. Eins og getið var um í borsögunni fyrir ofan reyndist ekki unnt að ná í sýni af jarðlögum á 146-236 m dýpi. Á myndinni er fyllt upp í þá eyðu á grundvelli jarðlagamælinga, og einnig á grundvelli greiningar á hruninu sem varð í holunni í borlokum, sem sýnir ákaflega svipað móbergstúff og það sem neðar kom. Nánar verður fjallað um jarðfræði og mælingar í lokaskýrslu.

3.2 Ummyndun

Á mynd 6 er sýnd dreifing steinda á grundvelli svarfgreiningar. Augljós breyting verður á ummyndun bergsins, frá nær óummyndaðu Bitrumóbergi í vel ummyndað túff neðan þess. Í því fyrrnefnda er vart að sjá ummyndunarsteindir nema í túfflögum, þar sem pýrít (súlfíð) finnst gjarnan og vitnar þar um flæði jarðhitavökva. Í neðra móberginu skiptir gjörsamlega um þar sem allt gler og líklegast plagíóklasinn er ummyndað. Þar sjást steindir eins og pýrít í magni, auk þess sem stílbít og kalsít er algengt. Þegar komið er niður fyrir um 250 m dýpi bætist kvars og wairakít við. Athygli vakti að leir sást ekki mikið í holrými bergsins, sem er með nokkrum öðrum hætti en sést á öðrum háhitasvæðum á þessu dýpi. Þó mátti greina vott af smektítskán rétt ofan 100 m dýpis. Á tveimur stöðum neðan 240 m dýpis sást til gróffjaðra ljósgræns leirs í blöðrum sem gæti reynst vera klórít. Tekin voru nokkur sýni til leir-röntgengreininga af skolvatni. Greiningu þeirra er ekki lokið en fyrstu niðurstöður benda til þess að klórít finnist á rúmlega 230 m dýpi.

Á mynd 7 er sýnd fyrsta nálgun á hitaferli sem greina má á grundvelli ummyndunar. Samkvæmt því er hiti í Bitrumóberginu líklegast innan við 50°C, en hækkar upp fyrir 100°C strax og kemur niður fyrir Bitrumóberg. Kvars, wairakít og líklegt klórít í neðri hluta holunnar gefur vísbendingar um að hiti geti verið kominn upp fyrir 200°C, og jafnvel upp undir 230°C.

4. BORHOLUMÆLINGAR

Í töflu 3 eru skráðar allar borholumælingar, sem gerðar voru í fyrsta áfanga borunar holu ÖJ-1, en einnig kemur þar fram hitamæling, sem gerð var 10. nóvember, þegar verið var að fódra höggborsholuna. Alls teljast þetta fjórtán mælingar og eru hitamælingar fyrirferðamestar eða sjö talsins. Hitamælingarnar eru sýndar flokkaðar eftir stöðu verksins og sýndar á mynd 8. Vatnsborð í höggborsholunni var á 11,6 m dýpi m.v. jörð (um 20 m miðað við drifborð Jötuns). Hitamælingin sýnir að niðurstreymi af 7°C heitu vatni er úr æð á 12 m dýpi (við vatnsborð) niður í æð á 66 m dýpi. Hiti í botni mældist 34,4°C, sem er trúlega berghiti á þessu dýpi.

Hitamælingar, eftir að borun fyrir fóðringu lauk, sýna að vatnæð á 127 m dýpi tekur við mestu af því vatni sem dælt var á holuna, en einnig sjást æðar á um 90 m, 260 og 290 m dýpi. Athyglivert er að engin vatnsæð er sýnileg á 146 m dýpi, en skoltap í borun jókst verulega þar. Telja verður fullvíst að skoltapið í 146 m hafi orðið vegna þess að æðin í 127 m dýpi hafi opnast. Hitamælingar eftir steypingu fóðringar sýna kælingu við hverja æð og er sérstaklega áberandi kæling við æðina á 260 m dýpi. Má vera að sú æð hafi tekið við heldur meira vatni en ætla mætti út frá hitamælingum strax eftir borun. Kælipunktur á 165 m dýpi bendir til smáæðar á því dýpi.

Hæstur hiti sem mældist í holunni í þessum áfanga voru tæpar 70°C á 250 m dýpi. Berghiti er þó væntanlega miklu hærri, enda holan mikið kæld eftir borunina. Samkvæmt ummyndun jarðlaganna gæti berghitinn á 250-300 m verið um eða yfir 200°C eins og nefnt var hér að framan.


Áður en holan var fóðruð, var hún víddar- og jarðlagamæld. Holan reyndist nokkuð útþveginn, einkum á 150-200 m dýpi. Fjallað er um þessar mælingar í jarðlagalýsingunni hér að framan.

Á mynd 9 er sýnd steypumæling sem gerð var rúmum hálfum sólarhring eftir að öryggisfóðringin var steyppt. Mælingin sýnir steypuborð á 25 m dýpi, en þaðan og í botn mjög góða steypu. Hellt var steypu niður á milli fóðringa og fyllt upp eftir að flans hafði verið soðinn í fóðringuna.

5. HEIMILDIR

Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson, Sigurður Benediktsson, Einar Gunnlaugsson og Benedikt Steingrímsson, 1994. Rannsóknarhola á Ölkelduhálssvæði - Hönnun og verklýsing. Orkustofnun OS-94-009/JHD-04 B.


TAFLA 1. Fóðrunarskýrsla höggborstöðringar.

 JARDBORANIR HF	FÓÐRUNARSKÝRSLA	Eyðublað nr 68-051
---	------------------------	--------------------

Verk nr. 20114	Hola nr. ÖJ-1	Borstaður Ölkelduháls	Bor Narfi	Verkkaupi Hitaveita Reykjavíkur
Vidd holu 21 1/2"	Dýpt holu mv drifborð 71,41	Fóðring nr. 2	Fóðrun framkv. dags. 1994.11.10	Útfyllt af Þórir Sveinbjörnss. d/s

Holudýpt frá flangsi 70,81 m Fóðringardýpt f. fl. 70,71 m		RÖRATALNING			
		LENGD	NR	MS	ALLS m
FÓÐRING	Gerð API H-40				
	Þyngd 87,5 lbs/ft Pöntun nr óþekkt				
	Utanmál 18 5/8" Innanmál 449 mm Veggþykkt 12 mm	2,26	1		2,26
	Tengi Soðin	6,95	2		9,21
	Flang 21 1/4" API 2000				
	Stungutengi	6,97	3		16,18
	Skór	6,88	4		23,06
	Miðjustillar stk Steyputappar stk	6,73	5		29,79
STEYPIG	Steypa 1, þurrefni 18.764 kg	6,80	6		36,59
	Tafefni kg Eðlisþ. steypu 1,60 Steypingartími 25 mín	6,98	7		43,57
	Steyputæki Steypubílar og dæla				
	Steypa kom upp <input type="checkbox"/> Já <input checked="" type="checkbox"/> Nei Eðlisþ. steypu upp	6,93	8		50,50
	Eftirdæling: magn 9000 lítrar tími 60 mín	6,66	9		57,16
	Steypa 2, þurrefni kg	6,67	10		63,83
FRÁGANGUR	Dýpi á steypu utan röra 12,0 m	6,88	11		70,71
	Steypt utan með eftir 350 klst. Skorið ofan af eftir klst.				
	Steypa, þurrefni 500 kg				
	Dýpi á steypu í röri 56 m Steypa boruð eftir 524 klst				
ATHUGASEMDIR					
Flansinn er 28 cm ofan við kjallarabrún en skorið verður ofan af þessari fóðringu við kjallarabotn þegar næsta fóðring er komin í holuna.					
Fyrsta fóðring var um 22" og um 12 m. að lengd og var fóðruð af Höggbor 3 sem boraði holuna. Fóðringin var sett í holuna vegna hruns í holunni og var lítið sem ekkert steyp, fylltist utanmeð af jarðvegi.					

TAFLA 2. Fóðrunarskýrsla 13 3/8" öryggisfóðringar.

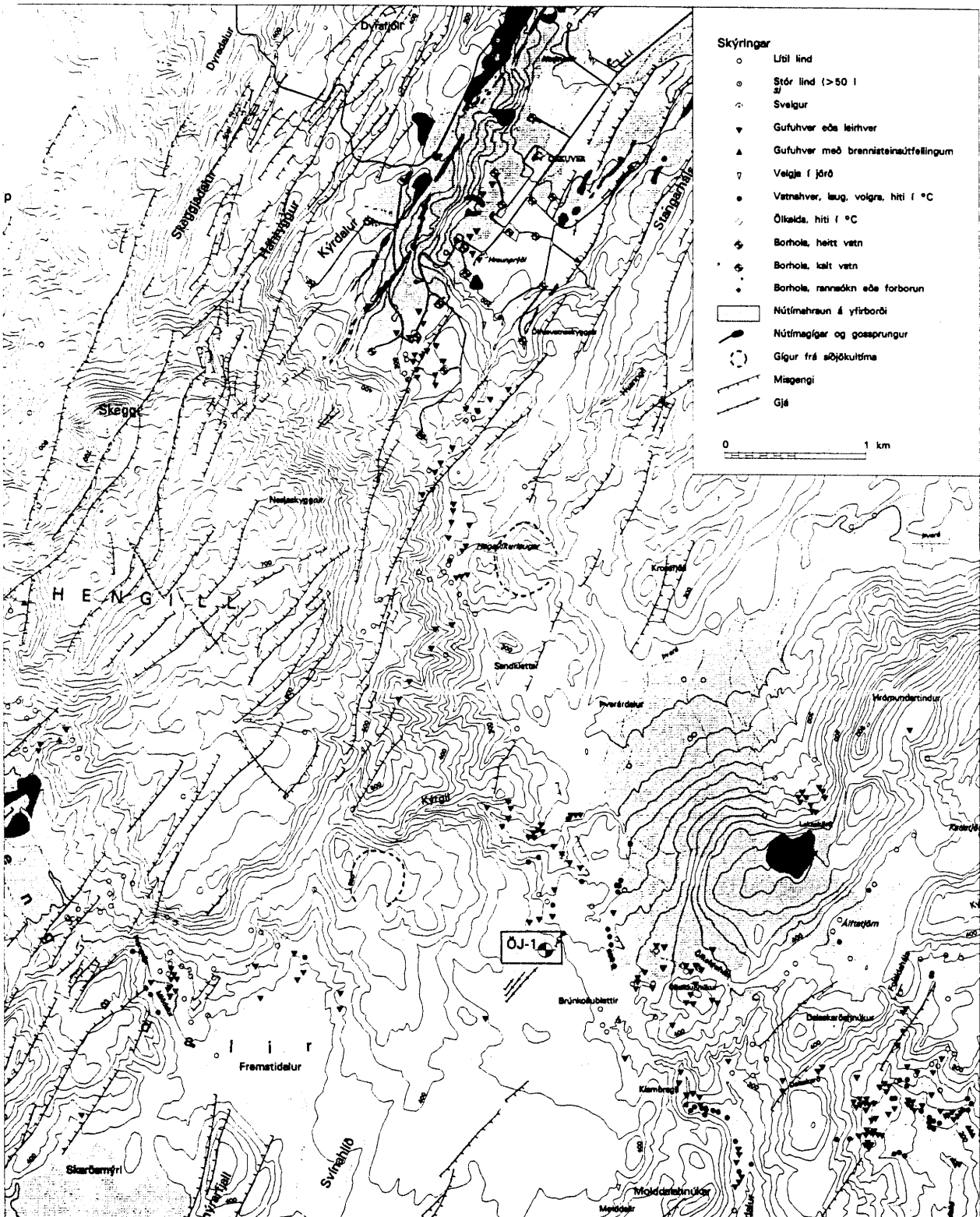
 JARÐBORANIR HF	FÓÐRUNARSKÝRSLA	Eyðublað nr 68-051
---	------------------------	--------------------

Verk nr. 420652	Hola nr. ÖJ-1	Borstaður Ölkelduháls	Bor Jötunn	Verkkaupi Hitaveita Reykjavíkur
Vidd holu 17 1/2"	Dýpt holu mv drifborð 309,33	Fóðring nr. 3	Fóðrun framkv. dags. 1994.12.08-13	Útfyllt af Dagbj.Sigursteinss.

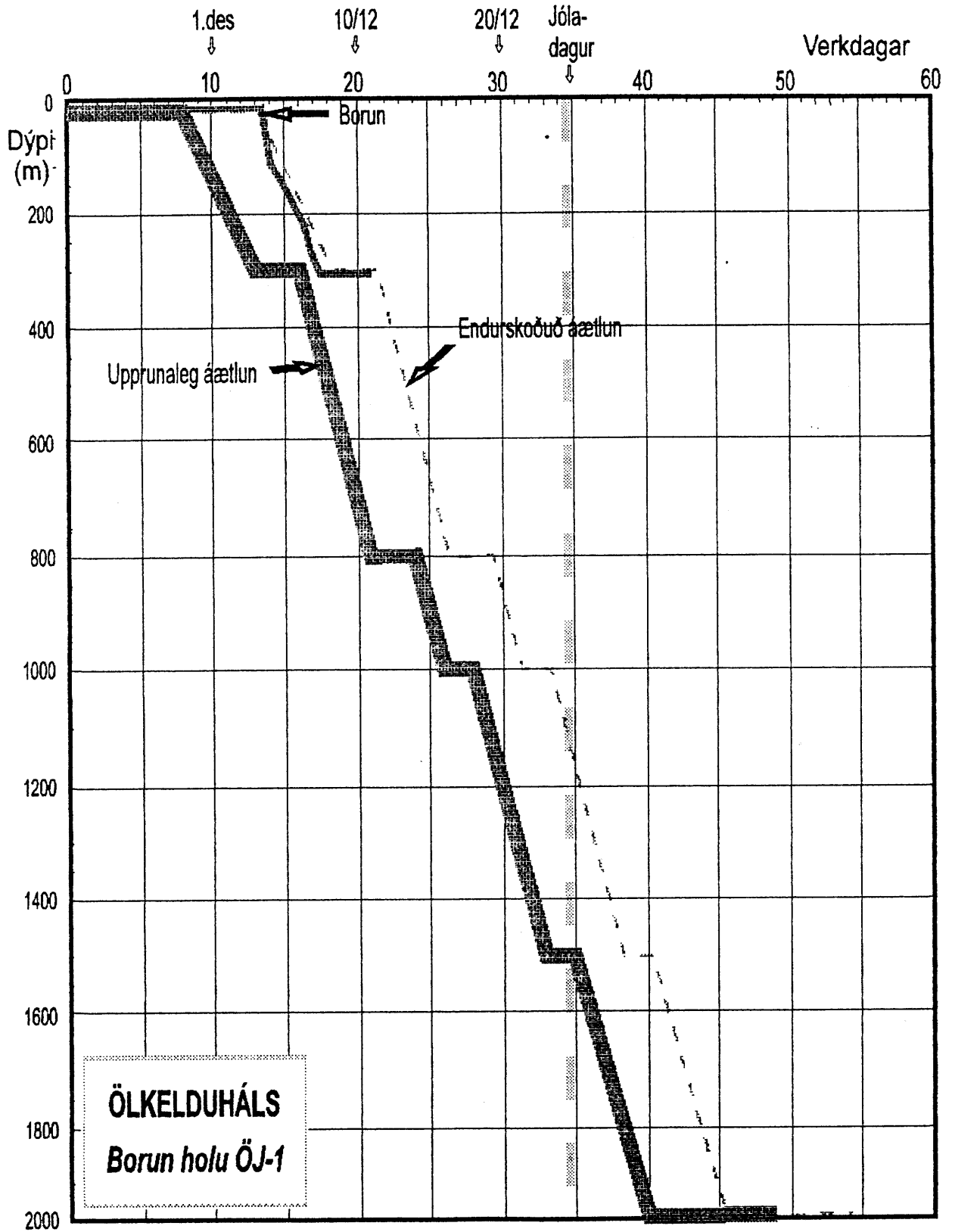
Holudýpt frá flangi 302,27 m Fóðringardýpt f. fl. 293,58 m		RÖRATALNING			
		LENGD	NR	MS	ALLS m
FÓÐRING	Gerð K-55		Casing		
	Þyngd 68 lbs/ft. Pöntun nr Öbekkt (Nesjav)		head		0,48
	Utanmál 13 3/8" Innanmál 315,3mm Veggþykkt 13,3 mm	0,48			
	Tengi Skrúfuð Buttress	3,25	1		3,73
	Flangi Casing Head API 13 5/8" 3000	13,17	2	X	16,90
	Stungutengi Float Collars	12,73	3		29,63
	Skór Float Shoe	12,02	4		41,65
	Miðjustillar 8 stk Steyputappar 0 stk	12,73	5	X	54,38
STEYPING	Steypa 1, þurrefni 40% G.blanda 51.000 kg	12,86	6		67,24
	Tafefni 0 kg Eðlisþ. steypu 1,60 Steypingartími 43 mín	12,56	7		79,80
	Steyputæki Jet mixari	13,08	8	X	92,88
	Steypa kom upp <input checked="" type="checkbox"/> Já <input type="checkbox"/> Nei Eðlisþ. steypu upp 1,56	12,83	9		105,71
	Eftirdæling: magn 2543 lítrar tími 5 mín	12,42	10		118,13
	Steypa 2, þurrefni 40% G.blanda 4.000 kg	11,25	11	X	129,38
FRÁGANGUR	Dýpi á steypu utan röra 25 m	11,77	12		141,15
	Steypt utan með eftir 24 klst. Skorið ofan af eftir 10 klst.	13,14	13		154,29
	Steypa, þurrefni 40% G.blanda 1.560kg	12,03	14		166,32
	Dýpi á steypu í röri 270 m Steypa boruð eftir 55 klst	12,66	15		178,98
ATHUGASEMDIR		13,16	16		192,14
Góð steypa kom upp þrátt fyrir að um 25 l/se		12,12	17		204,26
leki væri í holunni. Steypt var ofaná utan		12,83	18	X	217,09
röra eftir 2,5 klst og fylltist þá upp.		12,92	19		230,01
Bondmæling sýndi síðar steypuborð í um 25 m.		12,97	20	X	242,98
Það var svo fyllt upp síðar utan 80 cm. sem		11,59	21		254,57
látið var ófyllt en sandur verður settur í		12,08	22		266,65
það bil og öndunarrör uppúr.		0,80	Float collar		267,45

TAFLA 3. Borholumælingar í holu ÖJ-1; 1. áfangi.

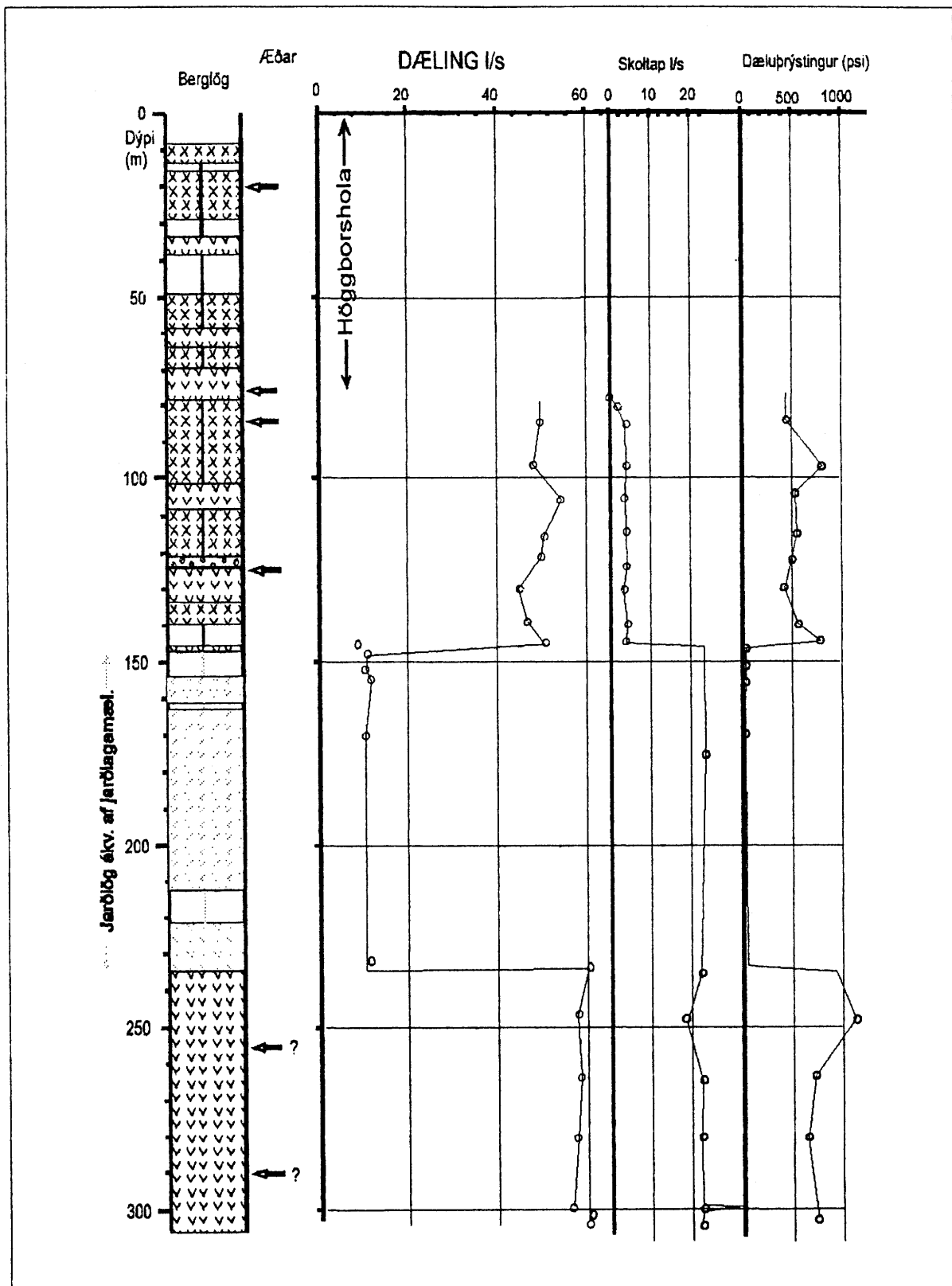
Svunta	Dags.	Upphafstími	Lokaltími	Mæling	Upphafsdýpi (m)	Lokadýpi (m)	Athugasemdir
15325	10-11-1994	10:50	11:05	Hiti (°C)	15	68	Mælt í höggborsholu
15469	08-12-1994	01:20	01:42	Hiti (°C)	0	296	Ádæling 15 l/s. Mælt niður í stöngum.
15470	08-12-1994	07:00	07:20	Hiti (°C)	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt.
15471	08-12-1994	07:30	08:15	XY-vídd	0	304	Ádæling 20 l/s. Skápar.
15472	08-12-1994	08:30	09:15	Nifteindir (API nu)	0	304	Ádæling 20 l/s. Jarðlög.
15473	08-12-1994	08:30	09:15	Gamma (API gu)	0	304	Ádæling 20 l/s. Jarðlög.
15474	08-12-1994	09:15	09:45	R16" (Ohmm)	75	304	Ádæling 20 l/s. Jarðlög.
15475	08-12-1994	09:15	09:45	R64" (Ohm)	75	304	Ádæling 20 l/s. Jarðlög.
15476	08-12-1994	09:15	09:45	Sjálspenna (mV)	75	304	Ádæling 20 l/s. Jarðlög.
15477	08-12-1994	09:50	10:10	Hiti (°C)	0	304	Ádæling 20 l/s. Mælt eftir upptekt.
15508	08-12-1994	02:15	02:35	Hiti (°C)	0	296	Ádæling 20 l/s. Mælt upp í stöngum.
15481	10-12-1994	15:30	16:10	Hiti (°C)	0	271.5	Upphitun eftir steypingu.
15482	10-12-1994	19:00	19:30	Hiti (°C)	0	271.5	Upphitun eftir steypingu.
15483	10-12-1994	19:30	20:30	CBL (%)	0	260	Steypugæði.



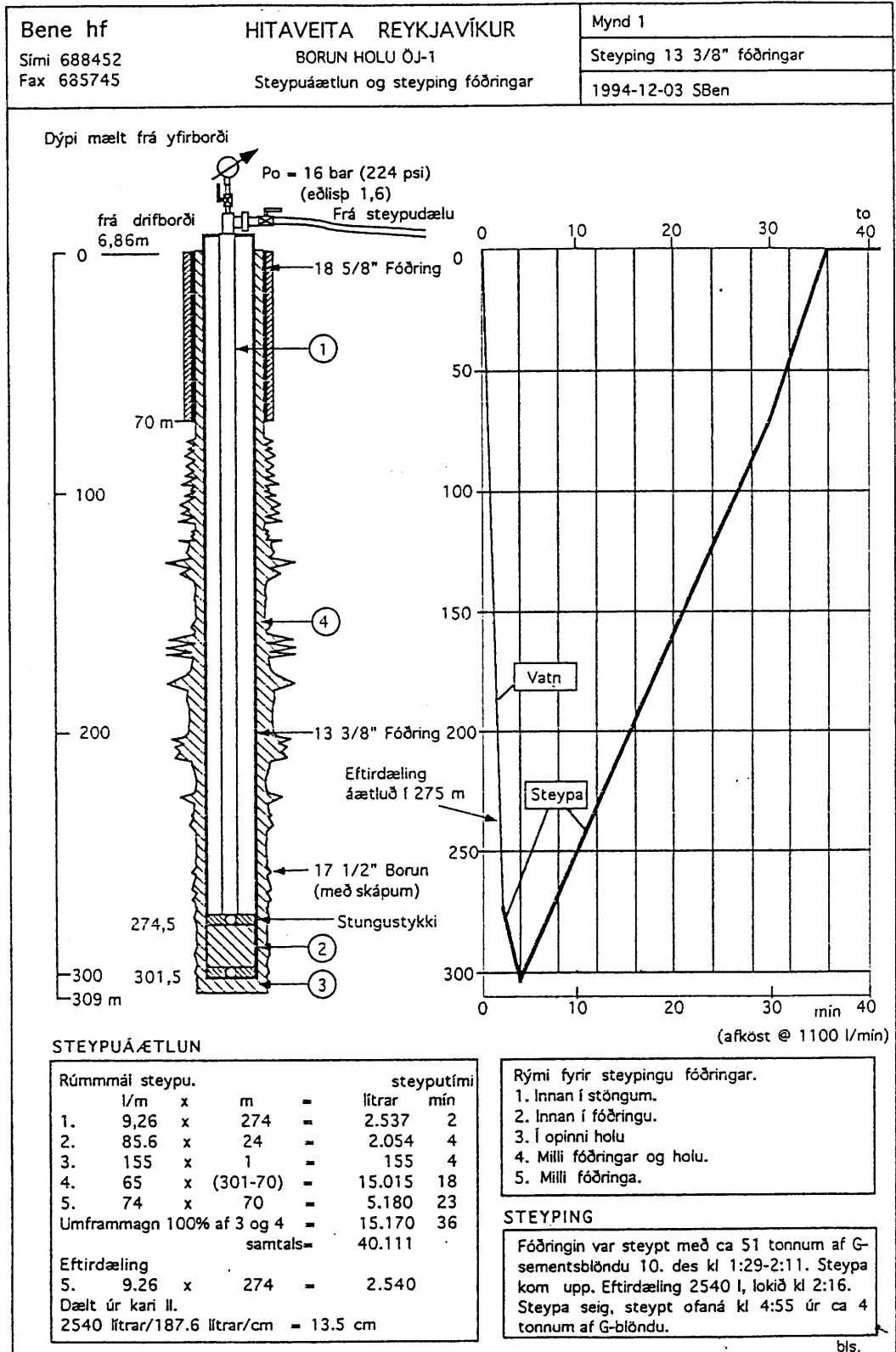
MYND 1 Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálsi.



MYND 2. Framvinda borunar í 1. áfanga ÖJ-1.

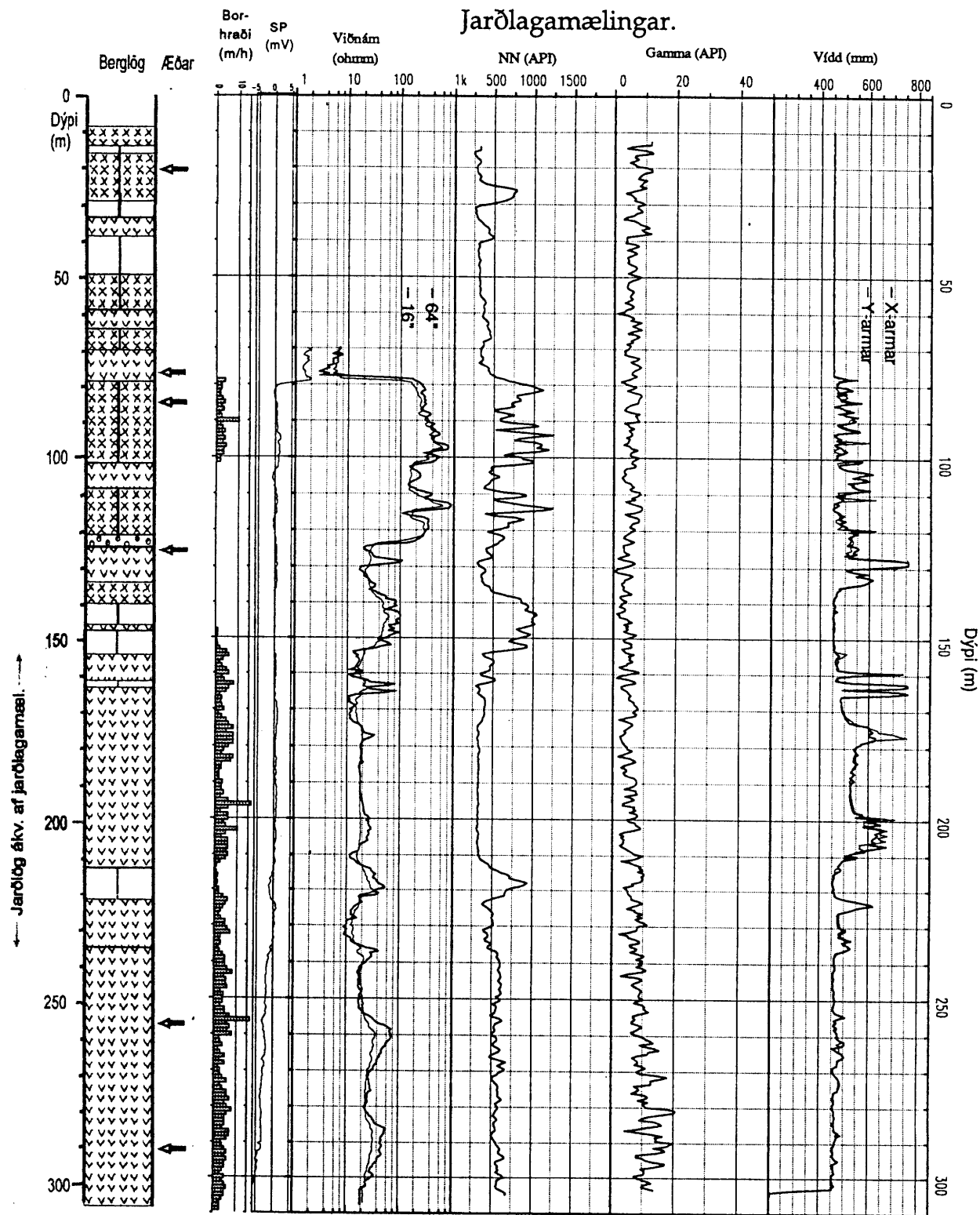


MYND 3. Jarðlög, dæling, skoltap og dæluþrýstingur í borun fyrsta áfanga ÖJ-1.

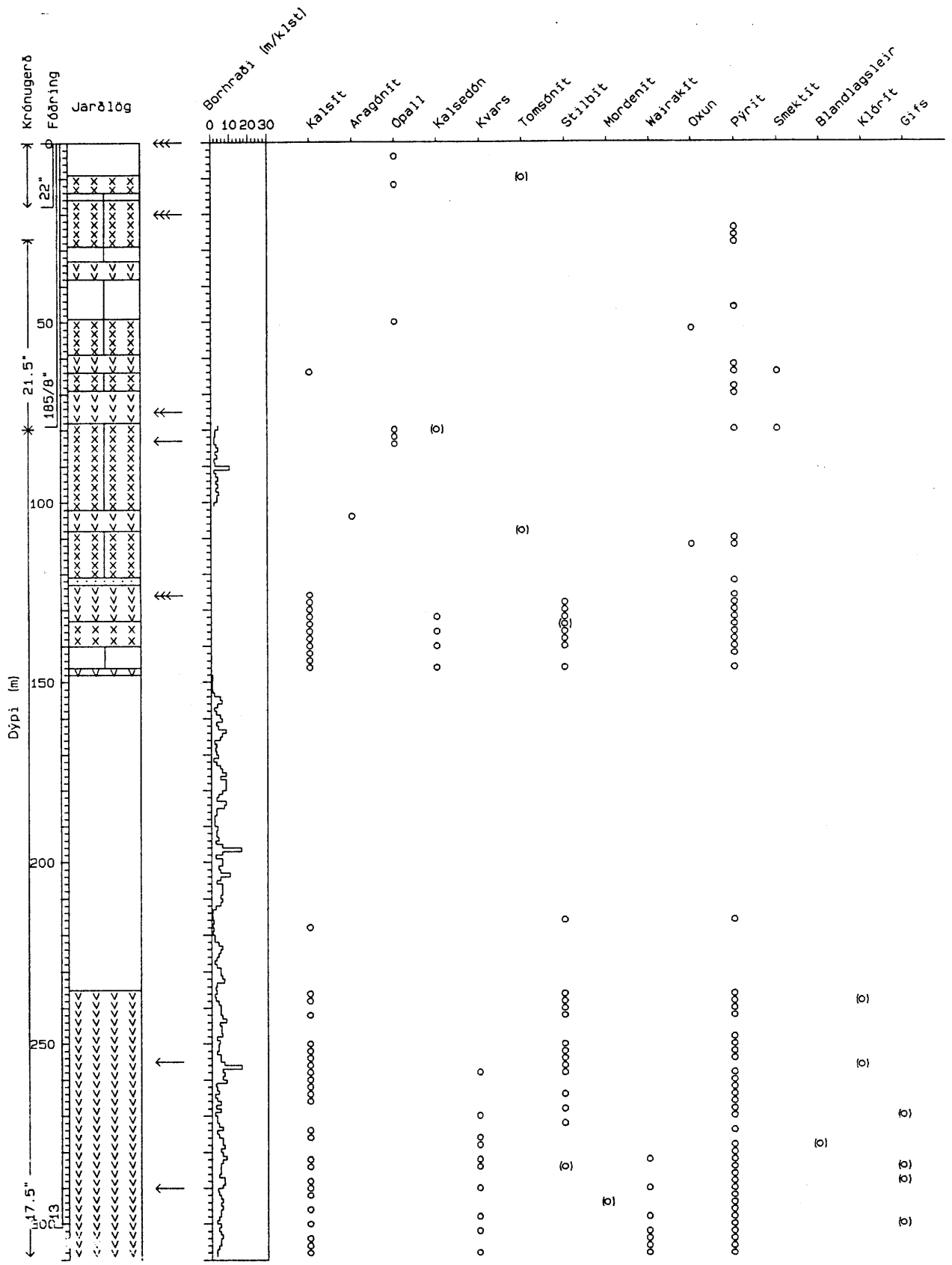


MYND 4. Steyping fóðurrörs.

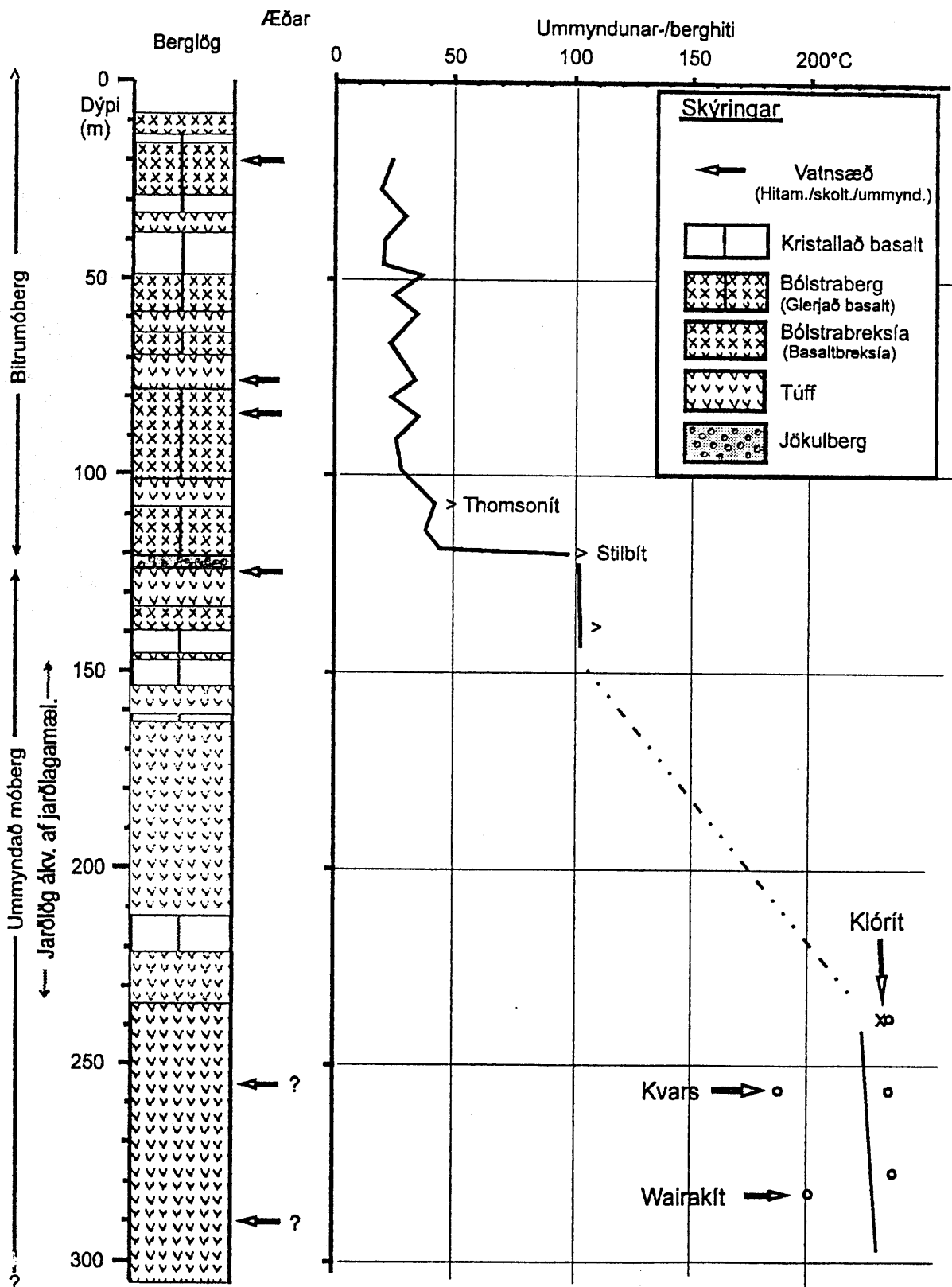
Ölkelduháls Hóla ÖJ-1 Jarðlagamælingar.



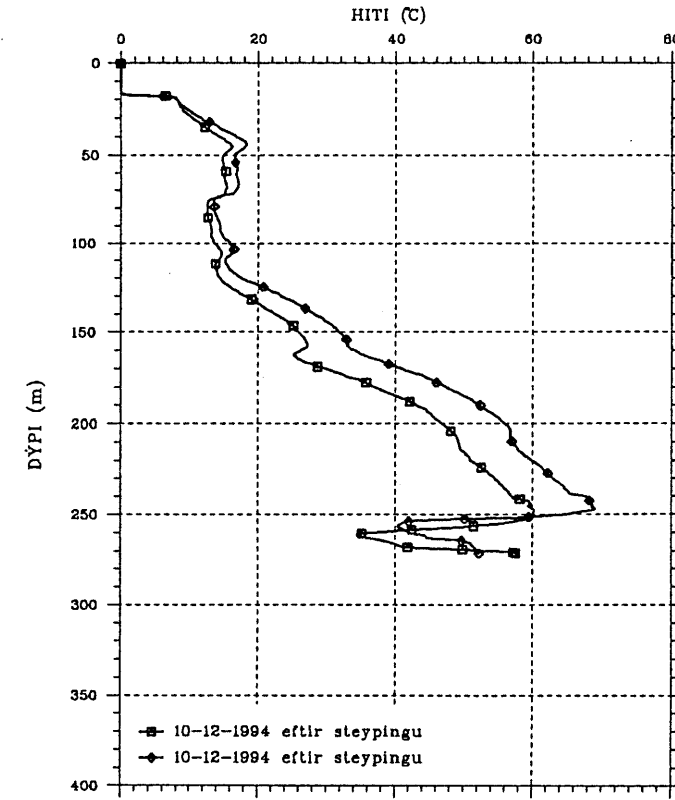
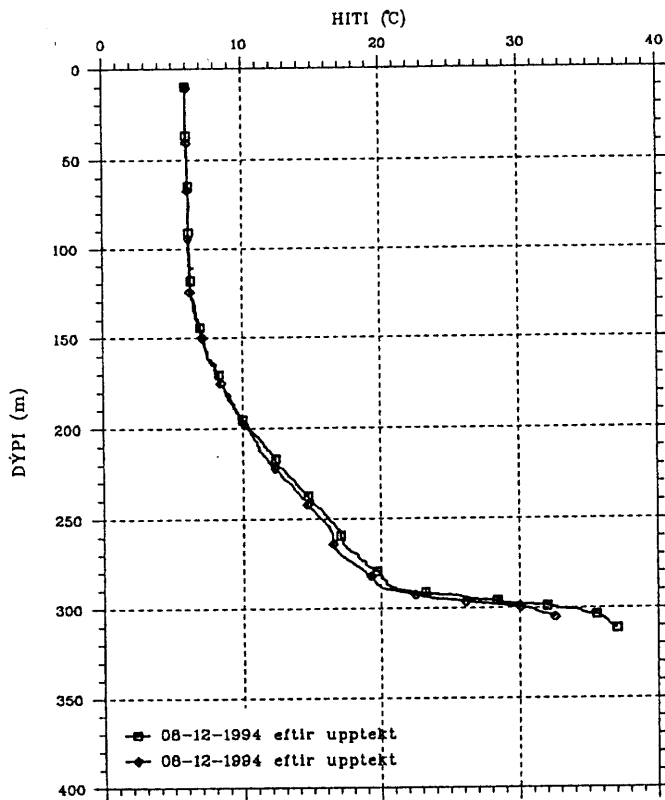
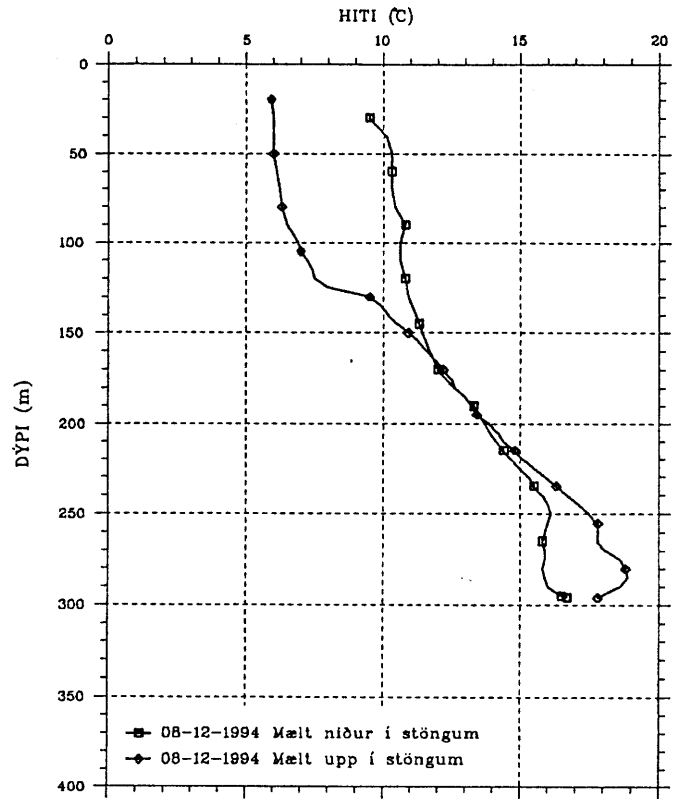
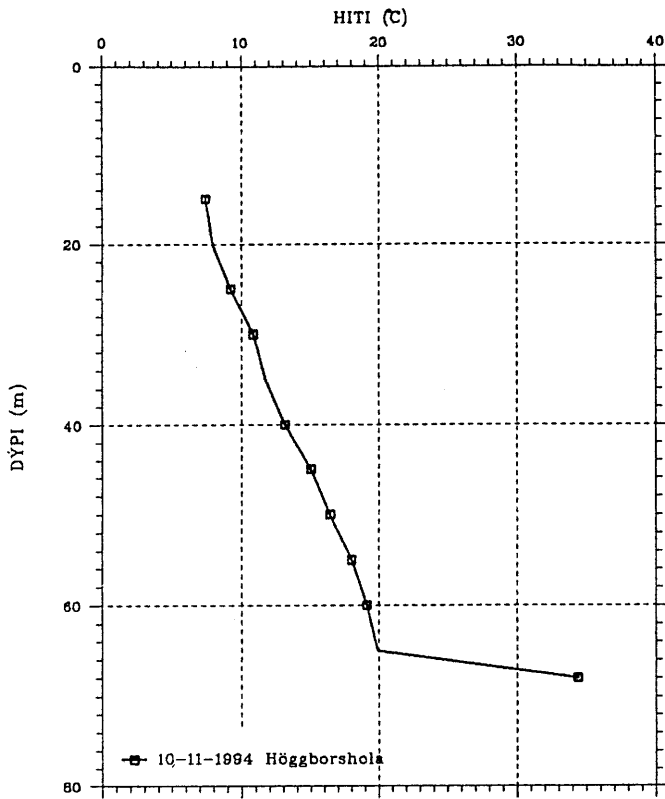
MYND 5. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar.



MYND 6. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og ummyndun samkvæmt svarfgreiningu.

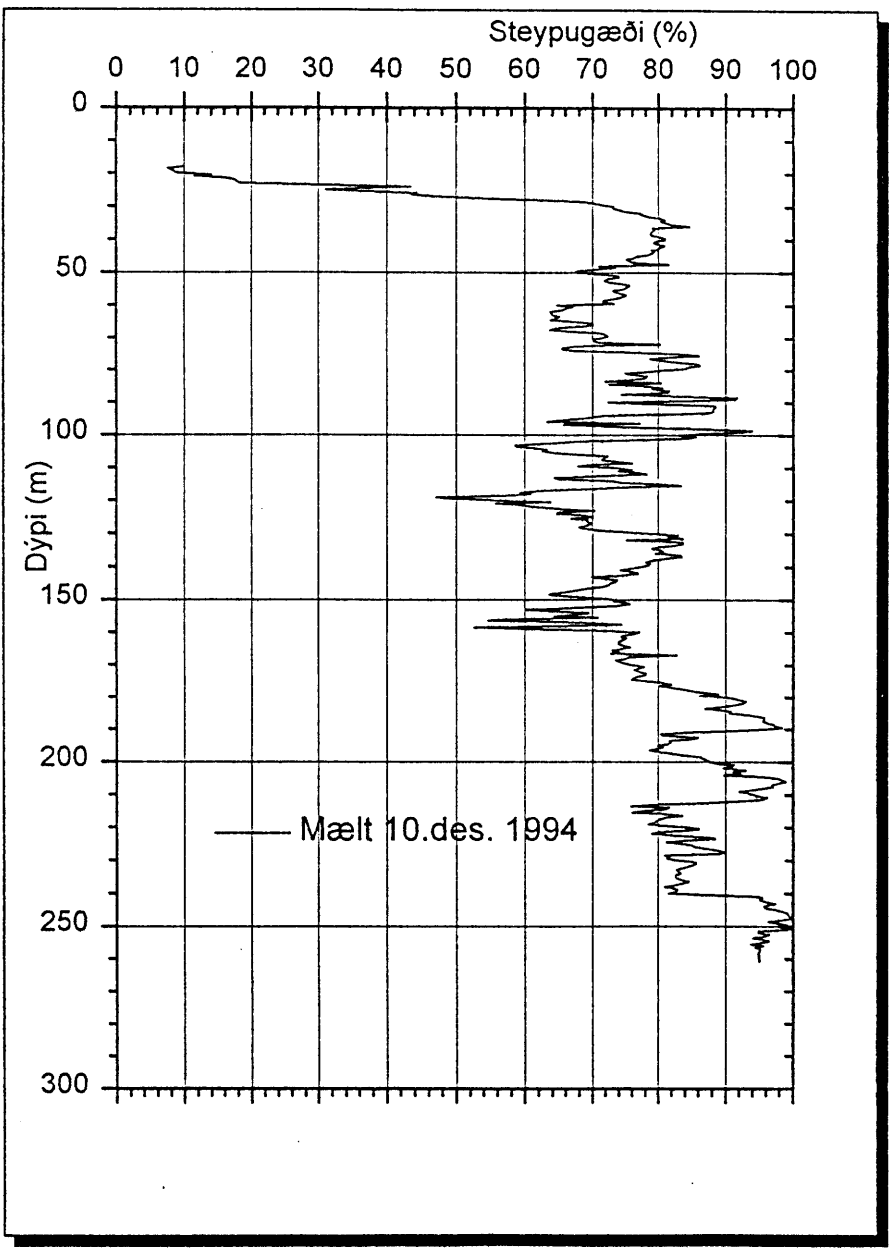


MYND 7. Jarðlög, vatnsæðar og mögulegur hiti samkvæmt ummyndun í 1. áfanga borunar ÖJ-1.



MYND 8. Hitamælingar í 1. áfanga borunar ÖJ-1.

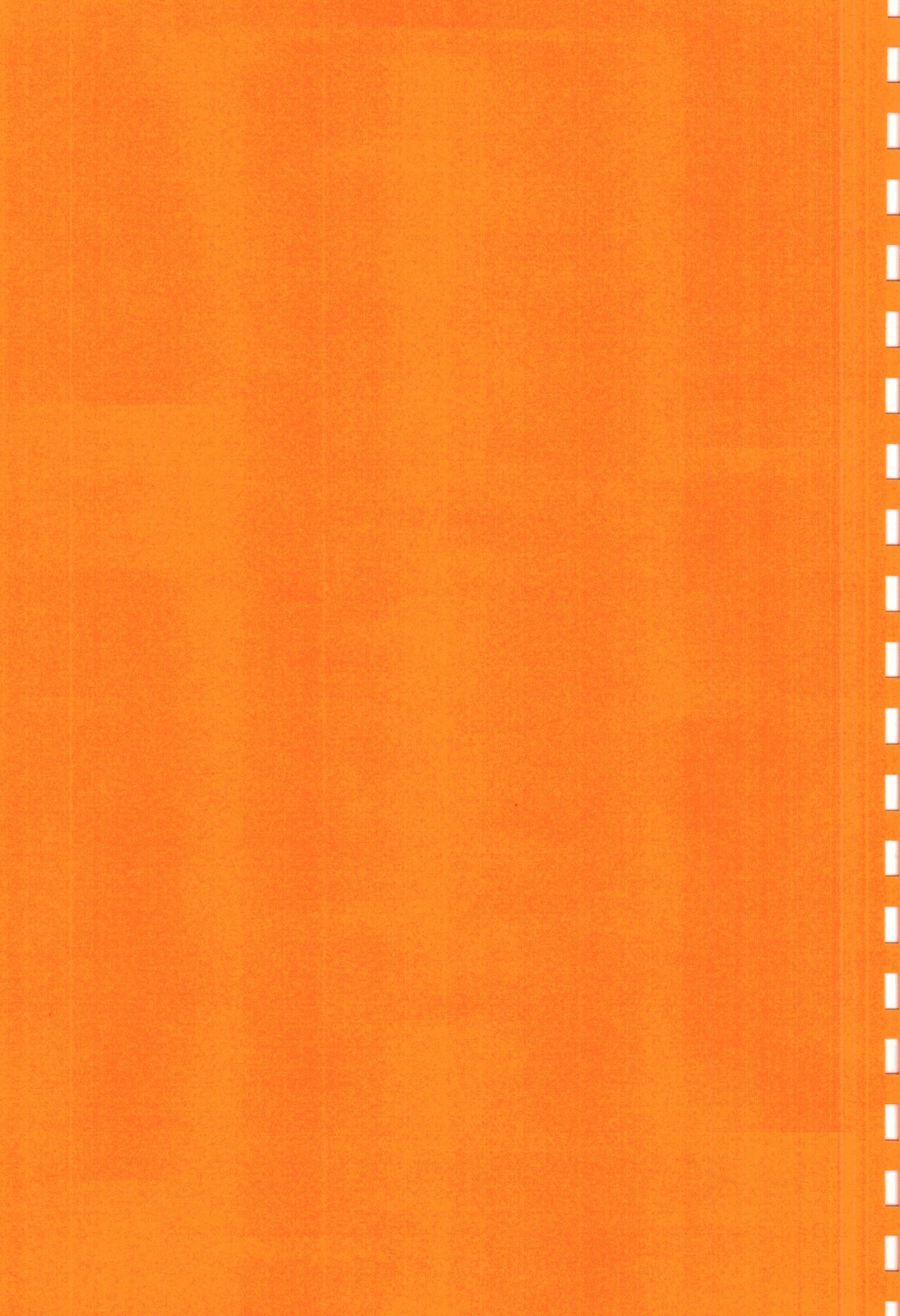
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Steyping öryggisfóðringar



MYND 9. Steypumæling í 13 3/8" öryggisfóðringu.

VIÐAUKI V-3

Borun holu ÖJ-1 - 2. áfangi





ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 015

Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Dagbjartur Sigursteinsson
Guðlaugur Hermannsson
Hilmar Sigvaldason
Hjalti Franzson
Jósef Hólmjárn
Ómar Sigurðsson
Sigurður Benediktsson

ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI

Hola ÖJ-1, 2. áfangi:

**Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu
frá 309 m 781 m dýpi**

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-95001/JHD-01 B

Janúar 1995

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. BORSAGA	4
3. JARÐLÖG, UMMYNDUN OG VATNSÆÐAR.	7
4. BORHOLUMÆLINGAR	8
5. HEIMILDIR	9

TÖFLUSKRÁ

1 Gangur borunar	4
2 Hallamælingar í borun	5
3 Skolhraði og skoltap í 2. áfanga	10
4 Fóðrunarskýrsla 9 5/8" vinnslufóðringar	11
5 Borholumælingar í 2. áfanga	13

MYNDASKRÁ

1 Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	14
2 Hitamælingar með KRAPA-mæli við niðursetningu borstrengs	15
3 Hiti í svarfkassa á meðan á borun 2. áfanga stóð	16
4 Fyrsta steyping vinnslufóðringar	19
5 Önnur steyping vinnslufóðringar	20
6 Framvinda borunar í 2. áfanga ÖJ-1	21
7 Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar	22
8 Einfaldað jarðlagasnið og ummyndun samkvæmt svarfgreiningu	25
9 Hitamælingar í 2. áfanga borunar ÖJ-1	26
10 Steypumælingar í 9 5/8" vinnslufóðringu	28

1. INNGANGUR

Undanfarnar vikur hefur Hitaveita Reykjavíkur staðið fyrir borun fyrstu rannsóknarholunnar, holu ÖJ-1, á Ölkelduhálssvæðinu. Staðsetning holunnar er sýnd á mynd 1. Jarðboranir h/f annast borunina, en Jarðhitadeild Orkustofnunar rannsóknir. Holan var höggboruð í október 1994, en borun með jarðbornum Jötni fór í gang um mánaðamótin nóvember-desember 1994.

Framgangi borverks og rannsókna verður lýst í nokkrum áfangaskýrslum samkvæmt rannsóknasamningi milli Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar. Skýrsla um fyrsta áfanga þ.e. borun fyrir öryggisfóðringu í 309 m dýpi, hefur þegar litið dagsins ljós (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1994). Hér á eftir er greint frá öðrum áfanga borunar holu ÖJ-1, þ.e. borun fyrir vinnslufóðringu í 781 m dýpi og steypingu fóðringarinnar. Fóðringardýpið er í samræmi við þá holuhönnun sem liggur til grundvallar fyrir verkinu (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1994), en þar er gert ráð fyrir eftirfarandi verkgangi í öðrum áfanga borverksins:

- a. Holutopps- og öryggislokabúnaði er komið fyrir á holunni.
- b. Áður en steypan, flotkollinn og flotskórinn eru boruð út eru öryggislokarnir þrýstiprófaðir. Lokað er að stöng og þrýstiprófað þannig að hver loki fyrir sig er reyndur sér. Holan er fyllt af vatni og 30 bar þrýstingur látinn standa á holunni í 15 mínútur. Athugað er hvort leki kemur fram og einnig er opnunar- og lokunartími lokanna skráður ásamt þrýstingi í holu við upphaf og lok þrýstiprófunar. Stál liða-leiðsla skal tengd kæfingarloka holunnar frá dælu borsins. Einnig er rör tengt 4" krana (4 1/16" x 3000 API) á millistykki sem úthlaup.
- c. Holan er boruð með 12 1/4" borkrónu með krónurýmara. Stýringar eru hafðar milli fyrstu og annarar álagsstangar og milli annarrar og þriðju álagsstangar. Einstefnuloki er hafður við krónuna. Vatn er notað sem skolvökvi við borunina og þarf vatnsveitan fyrir borinn að afkasta um 40 l/s að staðaldri.
- d. Borun er stöðvuð og holan hallamæld með tækjum borsins á u.þ.b. 100 m fresti. Bora skal holuna sem næst lóðréttu og fari hallinn yfir 3° skal athuga aðgerðir til að rétta holuna af.
- e. Ákvörðun um lokadýpi verður tekin á staðnum samkvæmt tillögu staðarjarðfræðings.
- f. Áður en borstrengurinn verður hífður upp úr holunni verður holan kæld rækilega og hita-mælingar gerðar til að ganga úr skugga um að goshætta sé ekki til staðar.
- g. Holan er hita-, víddar- og jarðlagamæld eftir að borstrengurinn hefur verið tekinn upp.
- h. Mikilvægt er að vatn sé látið renna samfellt á holuna, þannig að hún nái ekki að hitna upp á meðan á mælingum og fóðrun stendur.
- i. Vinnslufóðringin 9 5/8" er sett í holuna. Neðst á fóðringuna kemur fóðringarskór með einstefnuloka, síðan tvö heil fóðurrör og því næst svonefndur flotkollur. Mikilvægt er að gengi-ur fóðringanna "buttress" séu hreinsaðar og smurðar með háhitafeiti áður en til fóðrunar kemur. Þær eru síðan skrúfaðar í botn, þ.e. þar til múffan nemur við þríhyrnt merki sem er á efra rörinu. Komi í ljós að ekki takist að ná tilskilinni herslu eða að sýnilega er eitthvað að gengjunum skal rörið tekið frá og ekki fara ofan í holu.

Á fóðringuna eru settar 28 grindur til miðjustillingar, tvær á neðsta rörið, og síðan ein á þriðja hvert rör. Endanleg staðsetning miðjustilla tekur mið af niðurstöðum víddarmæl-

inga, þannig að þeir lendi ekki við skápa í holunni. Stilliskrúfur eru á millistykki og eru þær hertar að 9 5/8" fóðringunni eftir að vinnslufóðringin er komin í lokadýpi og hangir í borstrengnum. Þetta er gert til að miðjustilla fóðringuna fyrir steypingu. Því næst eru borstengurnar tengdar flotkollanum og vatni dælt til að kæla holuna fyrir steypingu og til að meta skoltap. Ef skoltap er meira en 5-10 l/s verður reynt að stífla það með því að skola sandi niður milli fóðringar og holuveggjar samtímis því að vatni er dælt hægt um borstrenginn.

- j. Fóðringin er steypst með tækjum borsins (sjá kafla 8). Sérstakt eftirlit er haft með framkvæmdinni. Ef sementsaðjan kemur ekki upp er steypugæðamælt (CBL) og ákvörðun tekin um frekari aðgerðir. Þeim verður ekki lýst frekar í verklýsingunni, enda þarf að taka ákvörðun þar um á staðnum. Nauðsynlegt er að steypan fái a.m.k. 8 klst. hörðunartíma.
- k. Öryggislokarnir eru teknir af holunni. Nú tekur við vandasamt verk við að setja þenslustykkið á holuna. Sérstök verklýsing mun liggja fyrir þegar kemur að þessum verkþætti. Verður hún byggð á upplýsingum frá framleiðanda holutöppsins.

2. BORSAGA

Mánudaginn 12. desember 1994 var byrjað að setja niður 311 mm (12 1/4") krónu til borunar fyrir 240 mm (9 5/8") vinnslufóðringu og með því hófst 2. áfangi borunar holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæðinu. Uppbygging borstrengsins var sem hér segir: 311 mm (12 1/4") króna af gerðinni J-44, krónutengi, krónustýring, álagsstöng, strengstýring, 9 álagsstangir, x-tengistykki og borstangir. Ekki þótti ráðlegt að fara dýpra niður með krónu án kælingar en á 150 m dýpi. Því voru brotnar út stengur, sem voru í mastrinu, neðan þess dýpis, og þær síðan tíndar ein og ein niður og kælt á milli. Þegar kæling hófst var hitakubburinn Krapí hafður í svarfakkanum við frárennslisrörið (flowline) og las hann hitastig á tveggja mínútna fresti í liðlega hálfklukkustund. Niðurstöður eru sýndar á mynd 2. Þar sést að skolið hitnaði úr 5 í 20°C eða um 15°C í fyrstu en náði síðan jafnvægi við 8-9°C. Það var því nokkuð tímafrekt að setja niður. Öryggislokar voru prófaðir áður en borað var niður úr fóðringu. Fyrst var stangaröryggislokinn (Cameron) prófaður og lokaðist hann á 5 sekúndum og þótt það vel viðunandi. Undir miðnætti áður en borað var í gegnum fóðurrörsskóinn var "hydrill"-lokinn prófaður við 600 PSI. Fór þá að píra með bor- og 4" ventlinum og voru þeir hertir í framhaldi af því.

Tafla 1. Hóla ÖJ-1. Gangur borunar.

Dagsetning	Borun m	Bortími klst.	Borhraði m/klst.	Tímar á krónu klst.	Dýpi m
13.12.1994	105	19,0	5,53	19,0	414
14.12.1994	122	22,0	5,55	41,0	536
15.12.1994	119	21,5	5,53	62,5	655
16.12.1994	105	21,0	5,00	83,5	760
17.12.1994	21	8,5	2,47	92,0	781
	472	92,0	4,82	92,0	781

Klukkan 2:30 aðfaranótt þriðjudagsins 13. desember var komið í berg. Vatn var notað til skol-

unar og var það tekið úr tveimur grunnum borholum við borplanið og fengust úr þeim þegar mest lá við 15-20 l/s, en að jafnaði var bætt í borkarið til endurnýjunar um 10 l/s. Borun gekk vel og áfallalaust fyrir sig. Álag var mjög breytilegt allan bortímann og réðist það af hörku bergsins. Það fór niður í 4 þúsund pund í linustu köflunum og upp í 24 þúsund pund, þar sem harðast var undir tönn. Snúningi á krónu var haldið á bilinu 50-70 sn/mín. Helstu upplýsingar um gang borunar eru í töflu 1 og sést þar að borhraðinn var svipaður allan tímann að undanskildum síðasta deginum. Þá geisaði mikið óveður um nóttina og var ákveðið að minnka álagið, þar sem fóðringardýpi var í nánd, og vinna með því tíma sem annars hefði farið í að skola holuna í lokin. Annars var holan allan tímann hrein og fannst aldrei neitt botnfall við stangaribætingar. Eftir að borun var lokið á 781 m dýpi var botnfall kannað og reyndist vera um 1 m. Fjórum sinnum var stoppað til að hallamæla og var hallamælt á tveimur stöðum í fyrsta stoppinu. Niðurstöður eru sýndar í töflu 2 og verður að segjast að ekki er hægt að gera betur við borun beinnar holu. Meðalskekkjan er nokkuð innan við rúmlega 0,5°, sem þýðir að frávikíð frá lóðréttu er rúmlega 6 m á 700 m dýpi.

Tafla 2. HOLA ÖJ-1. Hallamælingar í borun.

Dýpi m	Halli í gráðum	Frávik frá lóðréttu m	Heildarfrávik m
110	0,5	0,96	0,96
200	0,5	0,39	1,35
300	0,1	0,17	1,52
380	0,9	1,26	2,78
500	0,9	1,88	4,66
600	0,6	1,05	5,71
700	0,4	0,70	6,41

Meðan borun stóð yfir var reglulega fylgst með skoli og eftirtaldir þættir skráðir niður á fjögurra tíma fresti: Þrýstingur á dælum, dæling, skoltap og hitastig á skolvökva niður og upp. Yfirlit yfir þessa skráningu og afleiddar stærðir er sýnt í töflu 3. Framan af vantaði skráningu á hitastigi en yfirléitt var skolið sem kom upp 2-4°C heitara en það sem fór niður. Fyrsta skoltap var um 4,5 l/s og mældist á dýptarbilinu 340-353 m. Síðan þétti svarfið nokkuð tapið en næsta merkjanlega tap var á 407-426 m dýpi og fór það úr 1,5 l/s í 3 l/s. Á bilinu 470 í 492 m eykst tapið úr 2,4 í tæpa 5 l/s. Síðan þéttist holan lítilega með sveiflum um 1 l/s til eða frá, en eftir hallamælingu þegar dýpið var 619 m mældist vera 17 l/s tap í holunni. Sennilegt verður að teljast tapaukning hafi verið þar í nánd eða á bilinu frá 606 m niður í 619 m. Að venju þétti svarfið holuna eftir að borun hófst á ný og minnkaði lekinn niður í rúma 5 l/s. Síðsta vísbendingin um æð út frá tapmælingum er á bilinu 664-702 m dýpi. Þar jókst tapið úr 5 í tæpa 9 l/s og skömmu síðar eftir hallamælingu kom í ljós að heildartapið í holunni var komið yfir 50 l/s. Í töflu 3 sést ein vísbending til viðbótar á bilinu 753-767 m dýpi. Lágur borhraði, þegar tapmælingin var gerð, getur verið skýring á auknu tapi á þessu dýptarbili.

Á meðan borun þessa áfanga stóð yfir var hitakubbinum Krapa komið fyrir í svarfkassanum hjá frárennsli holunnar og las hann hitastig á 5 mínútna fresti meðan á borun stóð. Niðurstöður þeirra mælinga eru sýndar á mynd 3. Athugun af þessu tagi var fyrst reynd við borun SN-

12 á Seltjarnarnesi fyrr á árinu og er um nokkurs konar tilraun að ræða og því ekki ljóst hvað hægt er að lesa úr niðurstöðum. Breytingar á hitastigi sem koma fram, og ekki er hægt að tengja breytingum frá yfirborði eins og breyttri dælingu, tengjast einhverjum breytingum í jarðhitageyminum. Hugsanlega getur verið um að ræða snöggar hitabreytingar í berginu eða æðar sem eru skornar. Örvarnar á myndunum sýna hvar stangarfbætingar eiga sér stað nema annað sé tekið fram.

Borun í berg lauk á 781 m dýpi að morgni laugardagsins 17. desember. Þar var komið í hentugt fóðringardýpi fyrir vinnslufóðringu, hvað varðar berg og önnur öryggisatriði. Mikið hvasviðri hafði verið um nóttina en þegar leið á daginn lægði og komust þá mælingamenn með sín tæki að bornum og höfðu lokið mælingum inn í stöngum um kvöldmatarleytið. Þá var tekið upp úr holunni og því lokið klukkan rúmlega 10 um kvöldið. Þá tók við mælingaprógram sem stóð fram á morgun daginn eftir. Aftakaveður var um nóttina meðan mælt var og allan sunnudaginn og því ekki unnt að koma fódurrörunum niður fyrr en um hádegisbilið mánudaginn 19. desember. Sólarhring síðar var fóðringin komin niður og var endanlegt fóðringardýpi 778 m miðað við drifborð Jötuns. Það sem eftir var dags var sement blandað. Skömmu fyrir miðnætti var búið að skera ofan af fóðringu og byrjað að setja niður stangir. Milli kl. 2 og 3 aðfaranótt miðvikudagsins 21. desember var búið að tengja stangir við stungustykkið, sem var staðsett milli annars og þriðja fódurrörs. Þá tók við tími undirbúnings fyrir steypingu. Það sem var frosið var þýtt, leitað var eftir vatnsborði og beðið eftir þolanlegu veðri. Steyping hófst seinnipart dags. Dælt var niður 56,2 tonnum af steypu með eðlisþyngd 1.59 g/cm^3 og tók steypingin 55 mínútur. Vatn kom upp allan tímann, en vegna hækkandi þrýstings meðan á steypingu stóð var farið út í eftirdælingu. Hún hafði aðeins staðið yfir í 5 mínútur þegar steypan stírnáði. Erfiðlega gekk að losa stangir frá stungustykki en á endanum hafðist það. Eftir upptekt á stöngum var ekki annað að gera en að taka upp og þrifa steyputækin. Um kvöldið brast á asahláka og var borplanið eins og tjörn á að líta. Skömmu fyrir miðnætti var holan hitamæld. Vatnsborð í fóðringu var á 272 m dýpi. Steypuhröngl var í fóðringunni og tókst ekki að komast dýpra en 644 m. Fóðringin var fyllt upp með vatni. Síðan var beðið eftir að steypa harðnaði til þess að hægt væri að CBL-mæla hana. Milli kl. 4 og 5 var byrjað að mæla, fyrst var hitamælt og síðan CBL mælt. Hitamælir stoppaði nú á 640 m dýpi á einhverjum steypukleprum og fór ekki lengra niður. CBL-mælirinn stoppaði á 550 m dýpi og fann síðan steypuborð á 333 m dýpi. Að loknum mælingum í morgunsárið var fyllt upp utan með vinnslufóðringunni. Tók holan treglega við og virtist vatnsborð varla síga neitt. Hitamælt var í framhaldi af því (nú í 604 m). Síðan var gert frostklárt og farið í jólafrí.

Að jólafríi loknu komu bormenn til starfa 3. janúar 1995. Fyrsti dagurinn fór í að koma vatnsmálum í lag. Aðfaranótt miðvikudagsins 4. janúar fór í að blanda sement og síðan var haldið áfram við vatnsmálin. Fyrir hádegi var dælt á holuna 19 l/s af vatni við 11 bara mótþrýsting. Mest af því fór út á 312 m dýpi en leki var niður undir steypuborð á 333 m dýpi. Það auðveldaði mjög ákvörðun um framhald og var ákveðið að þrýsta steypu niður milli fóðringa í stað þess að skjóta göt á vinnslufóðringuna. Steypt var á tímabilinu 15:25-15:52 og notuð til þess 21 tonn af G-sementi (mynd 5). Steypan seig síðan niður á 55 m dýpi og var sá kafli steypur upp að morgni 6. janúar og notað til þess 2 tonn af portland-sementi. Allar nánari upplýsingar um fóðringuna og steypingu hennar er að finna í töflu 4 og myndum 4 og 5. Eftir aðra steypingu var CBL-mælt og kom í ljós að steypst hafði niður að fyrri steypuborði á 333 m dýpi.

Segja má að 2. áfanga hafi lokið endanlega með steypingu efstu metrana og undirbúningi að breytingu á topplokum fyrir áframhaldandi borun. Áfanginn tók 14 verkdaga og er það sýnt á

mynd 6. Hann hófst með borun þriðjudaginn 13. desember á 309 m dýpi og lauk eins og að ofan greinir föstudaginn 6. janúar 1995.

3. JARÐLÖG, UMMYNDUN OG VATNSÆÐAR

Eins og áður voru sýni tekin með tveggja metra bili meðan á borun stóð. Sýnin voru greind á staðnum og útbúin frumgerð af jarðlagasniði. Á mynd 7 er teiknað upp jarðlagasnið ásamt jarðlagamælingum, vídd og borhraða. Ennfremur var jarðlagasniðið einfaldað og teiknað upp ásamt dreifingu ummyndunarsteinda (mynd 8).

Hér er um að ræða fyrstu holu á svæðinu svo ekki er um neinn samanburð að ræða. Hér á eftir er samandregin lýsing af frumrannsókn jarðlaganna:

309-320 m dýpi. Móbergstúff, sem vafalaust er framhald af túffinu í fyrsta áfanga, ljósgrænt á lit. Þunnt 3 m þykkt basaltlag er á 313-316 m dýpi og virðist æð vera við efri jaðar þess. Ummyndun er allveruleg og ber þar langmest á kalsíti og svo pýrít. Aðrar steindir sem sjást eru kvars, kalsedon, wairakít, prenit eða heulandít og svo, rúsín-an í pylsuendanum, vottur af epidóti.

320-455 m dýpi. Basalthraunlög eru ráðandi á þessum kafla og þykkar breksiur sjást víða á milli. Að jafnaði eru basaltlögin fín- til meðalkorna, blöðrótt til jaðrana og blöðrur að mestu fylltar af útfellingum. Ferill neftrónudreifingar samhliða jarðlagasniðinu sýnir nokkuð skýrt lagskiptinguna. Nokkrar æðar sjást á þessum kafla: Í breksíu ofaná basaltlagi á 353 m dýpi, á 418 m við jaðar basalts og túffs og milli þunnra basaltlaga í túffi nálægt 435 m dýpi. Ummyndunarsteindir eru kalsít, kvars, wairakít, epidót, pýrít og vottu af prenit. Epidótið virðist eldra en kalsítið en þó sjást undantekningar tilvik á bilinu 380-420 m, þar sem epidótþyrpingar sjást vaxa stakar í blöðrum.

455-580 m dýpi. Móbergsmyndun sem einkennist af ljósgrænu mikið ummynduðu túffi. Í efstu 20 metrunum eru breksiur áberandi en eru dreifðar er neðar dregur. Á stöku stað sjást þunn tveggja til þriggja metra þykk fínkorna sæmilega vel kristölluð basaltlög. Neðri mörk myndunarinnar afmarkast af tveggja metra þykku rauðu setlagi, sem liggur ofan á basaltlagi. Skipan jarðlaga endurspeglast í jarðlagamælingunum. Neftrónudreifingin sýnir hátt vatnsinnihald í berginu í allri mynduninni, en neðan við rauða setlagið sést í mælingunni greinileg lagskipting. Myndunin er tiltölulega þétt og lítið um æðar í henni, en skoltap sást í breksíulega hlutanum á 475 m dýpi. Ummyndun er sambærileg við það sem sást hér að ofan. Helstu steindir sem sjást eru: Kalsít, kvars, wairakít, epidót og pýrít. Í neðri hlutanum sést lítið sem ekkert af epidóti og wairakíti og því hugsanlega kaldara svæði þar.

580-781 m dýpi. Basalthraunlög eru ráðandi berggerð í þessum hluta. Bergið er að jafnaði fín - meðalkorna, blöðrótt og blöðrufyllt. Í efstu 30 m skilja túfflög basaltlögin af og öðru hvoru sjást allt að 10 m þykk túfflög eins og neðan við 24 m þykkt basaltinnskot, sem liggur á dýptarbilinu 689-703 m. Tvö þynnri innskot, tveggja og þriggja metra, sjást neðan við 760 m dýpi. Ef til vill eru fleiri innskot í þessum kafla, en það mun nánari úrvinnsla leiða í ljós. Í náttúrulegri gammageislun er vísbending um ísúrt berg á neðstu metrunum við fóðringardýpið. Í svarfi líkist þetta mjög um-

myndaðri breksíu, en það verður athugað betur síðar. Vatnsæðar eru fjölmargar á þessu dýptarbili og líklega þær öflugustu í holunni: Á 596 m dýpi við við basaltlag, á 620 m dýpi neðan við basaltlög, sem eru tiltölulega lítið ummynduð miðað við sambærilegt berg í holunni, á 703 m dýpi við neðri jaðar á basaltinnskoti, og e.t.v. er smá æð niður undir botn. Ummyndunarsteindir sem sjást eru: Kalsít, kvars wairakít, epidót og pýrít. Lítið sem ekkert bar á epidóti fyrr en á 630 m dýpi, en neðan 720 m dýpis er epidót áberandi. Wairakít sést lítið í þessum hluta, en það útilokar ekki að það sé til staðar, þar sem oft getur verið erfitt að greina steindina.

Hitaástandið er metið út frá ummyndunarsteindunum og þar sem epidótið sést fyrst er það talið vera um 230°C og þar sem það er ráðandi steind er hitinn talinn vera yfir 250°C. Þannig er ljóst að hitinn gæti verið kominn yfir 250 °C við fóðringardýpið.

4. BORHOLUMÆLINGAR

Í töflu 5 eru skráðar allar borholumælingar, sem gerðar voru í öðrum áfanga borunar holu ÖJ-1. Alls teljast þetta 35 mælingar og eru hitamælingar fyrirferðamestar eða 24 talsins. Allar mælingarnar voru gerðar eftir að komið var í fóðringardýpi, enda gekk borun vinnsluhlutans snurðulaust fyrir sig.

Hitamælingarnar eru flokkaðar og sýndar á mynd 9. Þær sýna að allmargar vatnsæðar hafa verið í holunni. Fyrstu mælingarnar (í stöngum og eftir upptekt og mælingaprógramm) sýna að megnið af ádælingunni tapast út í æðar ofan 715 m, en eitthvað seint er niður á æð við holubotn. Hitamælingar frá 21-22. desember (eftir 1. steypingu fóðringar) sýna glögglega æðar niður á 640 m dýpi. Sjást æðarnar sem kælipunktur í mælinunum. Helstu kælipunktarnir og þar með líklegar æðar eru á um 320, 430, 500, 570 og 600-620 m. Æðin á 600-620 m sést einnig í eldri mælingum og er líklega opnasta æðin í þessum hluta (301-781m) holunnar. Ekki er fullt samræmi milli kælipunkta og skráðra vatnsæða í kaflanum um jarðlög hér að framan og verða gögnin skoðuð nánar áður en endanlegur vatnsæðalisti liggur fyrir.

Hitamælingar, sem gerðar voru í jólafríinu, náðu aðeins niður í 405 m dýpi vegna steypuhröngls í fóðringunni. Þær sýna að Bitrumyndunin er tiltölulega köld og berghiti ofan 150 m dýpis tæplega yfir 50°C. Neðan "Bitrunnar" eykst hiti hratt með dýpi og er berghiti á 250 m dýpi yfir 150°C. Hiti á 400 m dýpi mældist hina vegar rúmlega 160°C, en berghiti þar gæti verið allt að 240°C samkvæmt ummyndun bergsins.

Síðustu hitamælingar í þessum áfanga voru gerðar eftir áramót þegar lokið var steypingu vinnslufóðringarinnar. Fyrir steypinguna var þrýst 19 l/s niður á milli fóðringa við 11 bar mótþrýsting. Hitamælingarnar sýna að megnið af vatninu fer út í æð á 312 m en kældi þó holuna alveg niður í 333 m.

Áður en holan var fóðruð, var hún víddar- og jarðlagamæld. Mælingarnar voru gerðar í snarvitlausu veðri, roki og skafrenningi, og áttu mælingamenn í basli við að hemja mælivírin og eins safnaðist ísing í teljarahjól. Þrátt fyrir þessa erfiðleika tókust mælingarnar þokkalega, en búast má við heldur meiri dýptarleiðréttingum á mæliferlunum þegar að úrvinnslu mælinganna kemur. Fjallað er lauslega um niðurstöður víddar- og jarðlagamælinga í jarðlagalýsingunni hér að framan, og þær sýndar á mynd 7.

Á mynd 10 eru sýndar tvær steypumælingar. Sú fyrri var gerð rúmum hálfum sólarhring eftir fyrstu steypingu vinnslufóðringarinnar. Mælingin sýnir steypuborð utan fóðringar á 333 m dýpi, en þaðan og niður í 550 m mælist góð steypa og er svo væntanlega allt niður í fóðurrör-senda. Mælirinn komst hins vegar ekki dýpra en í 550 m vegna steypuhröngls innan í fóðring-unni. Síðari steypumælingin á mynd 10 var gerð tæpum sólarhring eftir að þrýst hafði verið vatni og síðan steypu niður á milli fóðringa. Mælingin sýnir að tekist hefur að koma steypu allt niður að fyrri steypuborði, þ.e. á 333 m dýpi, og mælist ekki vatnspoki við steypuskilin. Reyndar nær mælingin nákvæmlega á skilin, en ekki niður fyrir þau. Ástæðan er sú að hiti neðan 330 m í var í hærra lagi fyrir mælitækið og því ekki mælt dýpra.

Steypumælingin frá 5. janúar sýnir að yfirborð síðari steypunnar hefur sigið niður á um 55 m dýpi á meðan steypan var að harðna. Lauk steypingu vinnslufóðringarinnar með því að hellt var sementsleðju niður á milli fóðringa og fyllt upp. Samkvæmt mælingunum er vinnslufóðring holu ÖJ-1 mjög vel stept.

Reynt hefur verið að ákvarða þrýsting vatnsæða, sem komið hafa fram við borun holu ÖJ-1. Í höggborsholunni fundust æðar með vatnsborð á um 20 m m.v. drifborð Jötuns. Sú æð sem opnust var í 1. áfanga borunar Jötuns var undir Bitrumynduninna á 127 m dýpi. Vatnsborð-mælingar bentu til þess að stöðuvatnsborð æðarinnar væri á um 40 m dýpi. Í þeim áfanga sem hér er til umræði hefur æðin á 600-620 m dýpi líklega ráðið þrýstingi. Nokkuð er á reiki hvert stöðu vatnsborð æðarinnar er. Vitað er hins vegar að vatnsborð var mjög neðarlega. Í ádælingu (um 20 l/s) var vatnsborð á um 180 m dýpi, og mældist á um 220 m dýpi nokkrum mínútum eftir að dæling var tekin af. Eftir að fóðring var komin í holuna og borstangir tengdar við botnloka var reyndist vatnsborð í stöngum vera neðan 300 m dýpis, en það var lengd mælís-vírsins sem notaður var. Þrýstingur æðarinnar er samkvæmt ofangreindum vatnsborðsmælingum undir 40 bar, og jafnvel lægri en 30 bar, ef mark er tekið á síðustu vatnsborðsmælingunni. Suðuhiti vatnsæðar með þennan þrýsting er bilinu 230-250°C eða svipaður hiti og ummyndun bendir til við æðina.

5. HEIMILDIR


Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn og Sigurður Benediktsson, 1994. ÖLKELDUHSSVÆÐI HOLA ÖJ-1, 1.áfangi: Höggborun og borun fyrir 13 3/8" fóðringu í 309 m dýpi. Orkustofnun, OS-94056/JHD-33 B.

Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson, Sigurður Benediktsson, Einar Gunnlaugsson og Benedikt Steingrímsson, 1994. Rannsóknarhola á Ölkelduhálssvæði - Hönnun og verklýsing. Orkustofnun, OS-94009/JHD-04 B.

TAFLA 3. HOLA ÖJ-1. Skolhraði og skoltap í 2. áfanga.

Dags.	Klukkan	Dýpi m	Dælur psi	Dæla 1 slög	Dæla 1 l/s	Dæla 2 slög	Dæla 2 l/s	Dæling l/s	Skolhraði m/min	Tap l/s	Skolhraði m/min	Svarfskolun min
13/12/1994	3:40	316	380	98	18,62	99	18,81	37,43	34,89	0	34,89	11
13/12/1994	7:20	340	400	98	18,62	99	18,81	37,43	34,89	0	34,89	11
13/12/1994	10:00	353	400	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	4,45	31,27	13
13/12/1994	16:15	380	400	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	4,45	31,27	14
13/12/1994	18:00	388	300	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	4,15	31,55	15
13/12/1994	22:20	407	350	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	1,5	34,02	14
14/12/1994	2:08	426	350	105	19,95	106	20,14	40,09	37,37	2,97	34,60	14
14/12/1994	6:00	440	400	104	19,76	104	19,76	39,52	36,84	2,67	34,35	15
14/12/1994	10:30	470	400	104	19,76	104	19,76	39,52	36,84	2,37	34,63	16
14/12/1994	15:00	492	400	104	19,76	104	19,76	39,52	36,84	4,93	32,24	18
14/12/1994	18:10	506	400	104	19,76	104	19,76	39,52	36,84	4,15	32,97	18
14/12/1994	22:00	529	400	106	20,14	105	19,95	40,09	37,37	3,86	33,77	18
15/12/1994	2:30	550	400	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	3,56	32,10	20
15/12/1994	6:40	574	400	99	18,81	99	18,81	37,62	35,07	4,75	30,64	22
15/12/1994	10:30	593	400	95	18,05	116	22,04	40,09	37,37	3,86	33,77	21
15/12/1994	14:10	606	350	95	18,05	100	19,00	37,05	34,53	3,86	30,94	23
15/12/1994	16:50	619	350	100	19,00	85	16,15	35,15	32,76	17	16,92	52
15/12/1994	22:25	645	350	97	18,43	102	19,38	37,81	35,24	5,34	30,27	26
16/12/1994	2:00	664	350	86	16,34	100	19,00	35,34	32,94	5,04	28,24	29
16/12/1994	6:00	684	450	110	20,90	106	20,14	41,04	38,25	5,93	32,73	25
16/12/1994	10:10	702	375	95	18,05	100	19,00	37,05	34,53	8,9	26,24	33
16/12/1994	15	724	440							>50		
16/12/1994	18:00	734	440	100	19,00	100	19,00	38,00	35,42	6,52	29,34	30
16/12/1994	22:10	753	400	91	17,29	103	19,57	36,86	34,36	7,42	27,44	34
17/12/1994	2:00	767	400	101	19,19	101	19,19	38,38	35,77	10,38	26,10	36

TAFLA 4. HOLA ÖJ-1. FÓÐRUNARSKÝRSLA 9 5/8" VINNSLUFÓÐRINGAR.

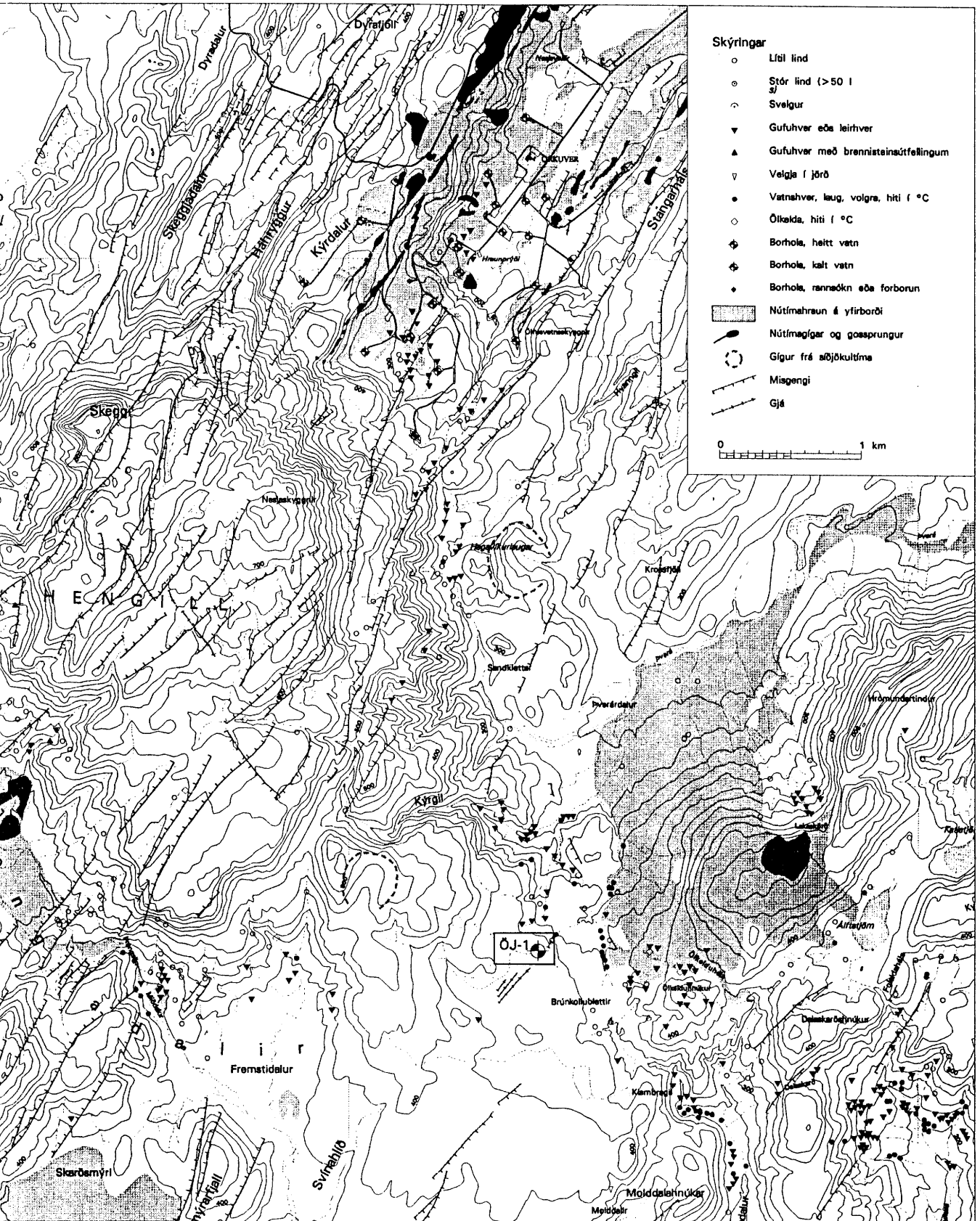
 JARDBORANIR HF	FÓÐRUNARSKÝRSLA	Eyðublað nr 68-051
---	------------------------	--------------------

Verk nr. 420652	Hola nr. ÖJ-1	Borstaður Ölkelduháls	Bor Jötunn	Verkkaupi Hitaveita Reykjavíkur
Vidd holu 12 1/4"	Dýpt holu mv drifborð 781,00 m.	Fóðring nr. 4	Fóðrun framkv. dags. 1994.12.17	Útfyllt af Dagbj. Sigursteins.

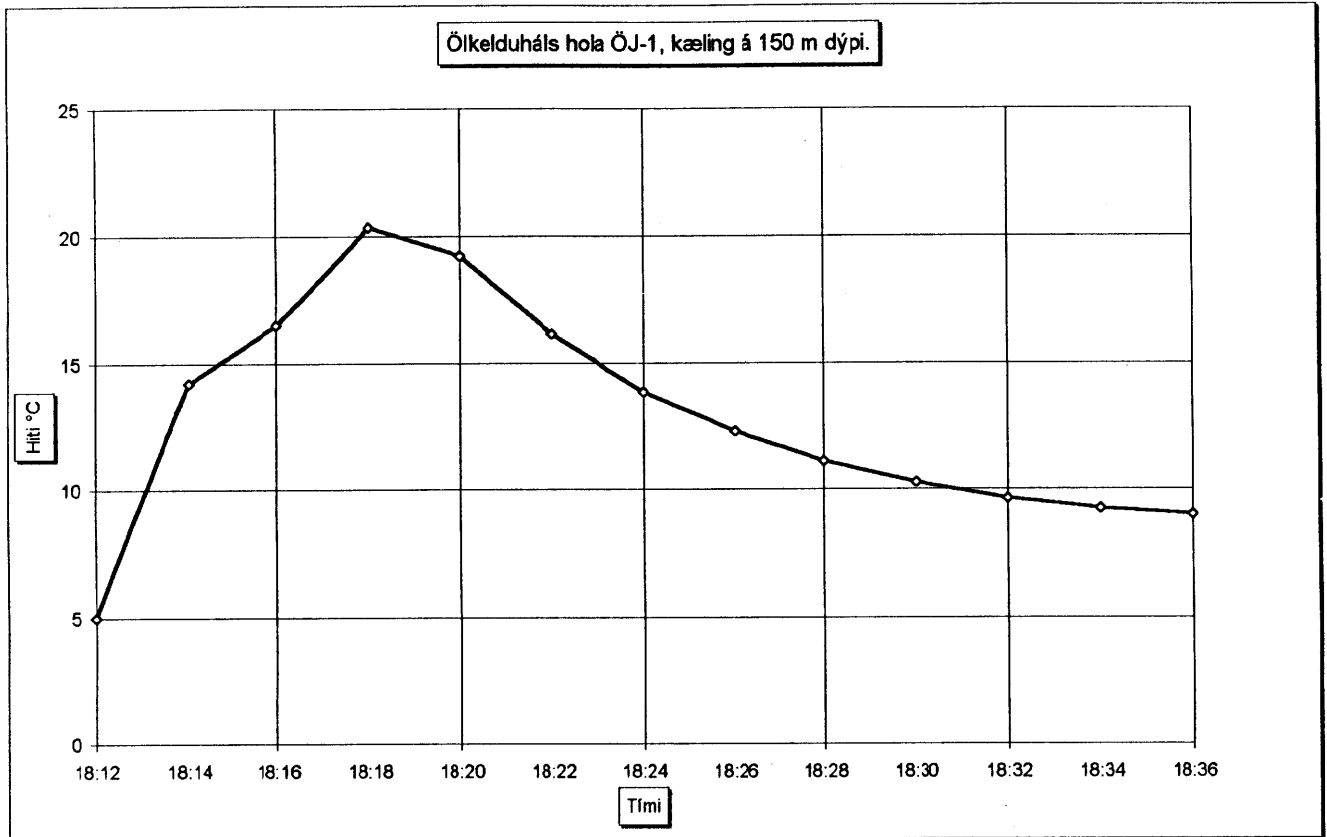
Holudýpt frá flangi 772,84 m Fóðringardýpt f. fl. 770,43 m				RÖRATALNING			
				LENGD	NR	MS	ALLS m
FÓÐRING	Gerð	L-80		8,81	1		8,81
	Pyngd	43.5 lbs/ft	Pöntun nr	13,04	2	X	21,85
	Utánmál	9 5/8"	Innanmál	11,58	3		33,43
	Tengi	Skrúfuð Buttress		12,64	4		46,07
	Flangslíf	í „Drill-Head“ á 13 3/8" fóðringu		12,73	5	X	58,80
	Stungutengi	Float Collar „ENERPRO INT.“		12,17	6		70,97
	Skór	Float Shoe „ENERPRO INT.“		11,95	7		82,92
	Miðjustillar	22 stk	Steyputappar	11,50	8	X	94,44
STEYPING				11,30	9		105,72
	Steypa 1, purrefni	40% G-blanda	56.200 kg	11,31	10		117,03
	Tafefni	0 kg	Eðlisb. steypu	11,47	11	X	128,50
	Steyputæki	Jet Mixer & Haliburton Steypudæla		10,56	12		139,06
	Steypa kom upp	<input type="checkbox"/> Já <input checked="" type="checkbox"/> Nei	Eðlisb. steypu upp	10,64	13		149,70
	Eftirdæling:	magn	1490 lítrar	tími	5 mín		
FRÁGANGUR	Steypa 2, purrefni		kg	12,75	14	X	162,45
	Dýpi á steypu utan röra		329 m	12,54	15		174,99
	Steypt utan með eftir	337 klst.	Skorið ofan af eftir	348 klst.	12,12	16	
	Steypa, purrefni	40% G-blanda	21.000 kg	12,46	17	X	199,57
	Dýpi á steypu í röri	636 m	Steypa boruð eftir	459 klst	12,31	18	
Steypuhröngl	var upp í 390 m.		11,74	19		223,62	
ATHUGASEMDIR				12,08	20	X	235,70
Vatn kom upp er leið á steypingartímann en				10,35	21		246,05
litlu síðar fór brýstingur hækkandi svo að				11,73	22		257,78
farið var í eftirdælingu. Stíflast eftir 5				12,83	23	X	270,61
mín. Illa gegg að losa sundur stungustykki				12,78	24		283,39
og stungutengi. Í nýju ári var svo „Skvísað“							
21 tn. utanmeð, en opið var niður á milli							
fóðringa og niður á steypu í 329 m.							
Í síðustu steypingu um 2 tn var svo steyp							
frá 46 m. upp að slífinni.							
Vélsmiðja Orms og Víglundar sá um smíði og							
suðu Drill Heads og slífar.							

TAFLA 5. HOLA ÖJ-1. Borholumælingar í 2. áfanga.

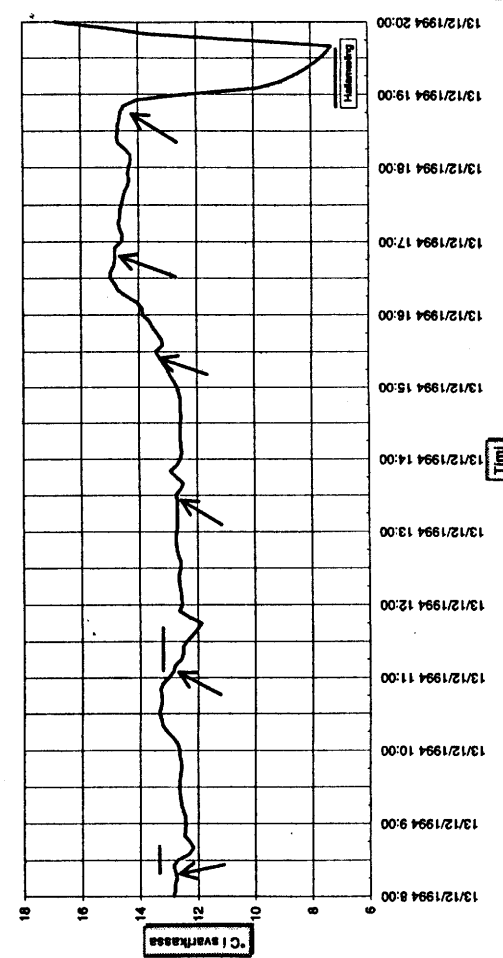
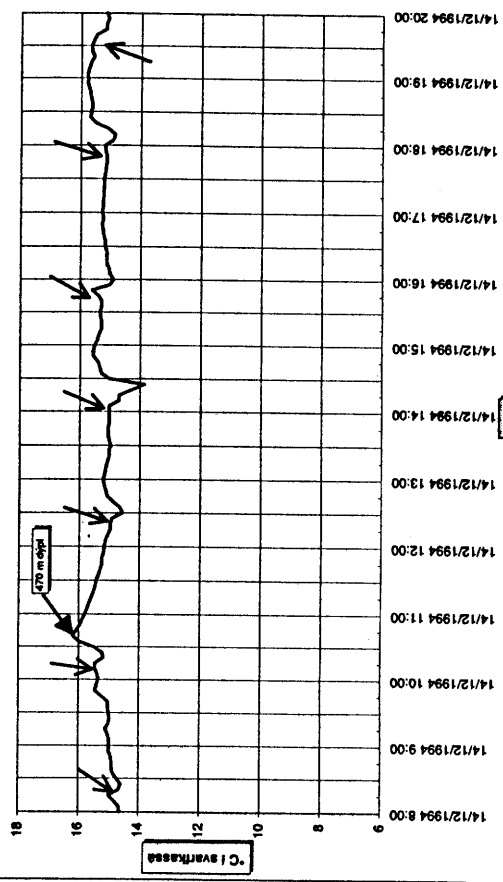
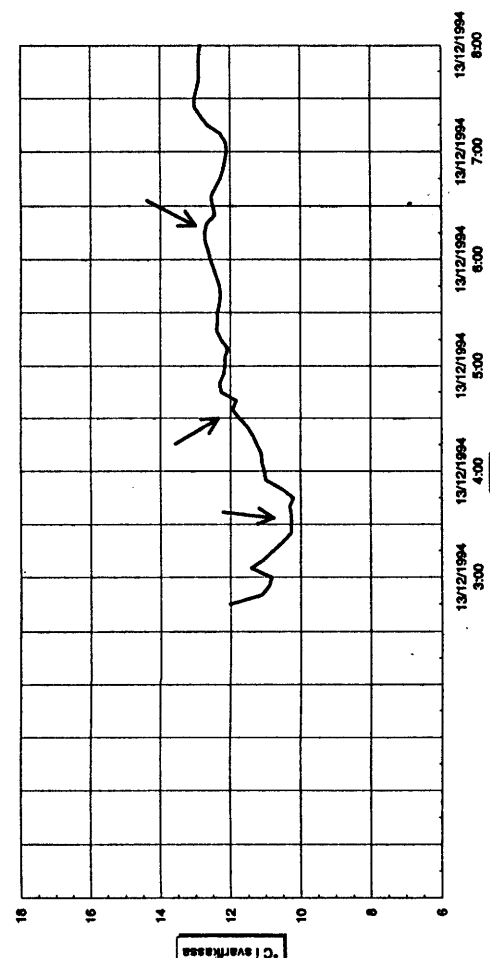
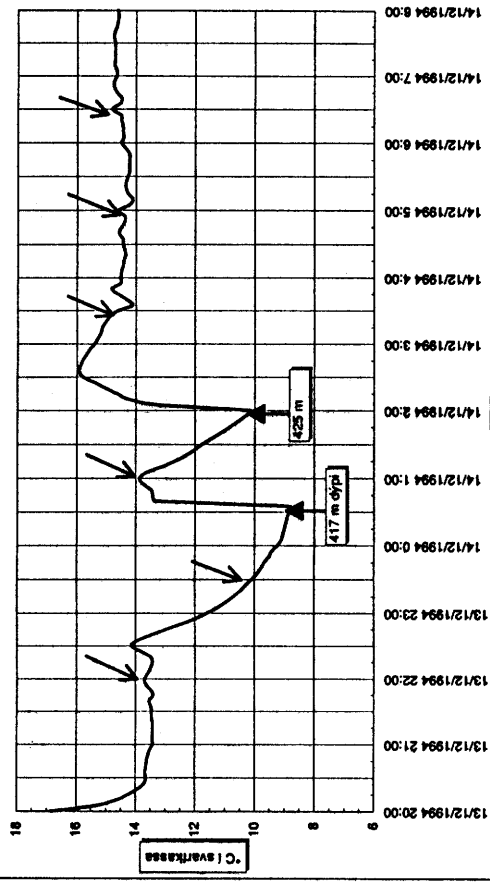
Svunta	Dags	Upphafstími	Lokatími	Mæling	Upphafsdýpi (m)	Lokaðýpi (m)	Athugasemdir
15512	17-12-1994	15:35	16:10	Hiti (°C)	60	769,0	Niður í stöngum. Ádæling 18 l/s frá kl 15:30
15513	17-12-1994	17:00	17:35	Hiti (°C)	60	769,0	Upp í stöngum. Ádæling 18 l/s frá kl 15:30
15514	17-12-1994	22:40	23:45	Hiti (°C)	180	781,0	Eftir upptekt. Mælir settist í 330 m og fór vör í hönk.
15515	18-12-1994	07:40	08:00	Hiti (°C)	180	780,0	Niður eftir mæliprógram. Dæling tekin af niður í 400 m dýpi
15516	18-12-1994	08:00	08:30	Hiti (°C)	180	781,0	Upp eftir mæliprógram
15517	18-12-1994	01:00	02:30	Nifteindir (API nu)	300	778,0	Mælt eftir upptekt.
15518	18-12-1994	01:00	02:30	Gamma (API gu)	300	778,0	Mælt eftir upptekt.
15519	18-12-1994	00:30	01:00	XY-vidd X hluti	0	778,5	Mælt eftir upptekt.
15520	18-12-1994	06:50	07:30	R16" (Ohmm)	300	780,0	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
15521	18-12-1994	06:50	07:30	R64" (Ohm)	300	780,0	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
15522	18-12-1994	06:50	07:30	Sjálspenna (mV)	300	780,0	Eftir upptekt. Mæling upp notuð.
15526	18-12-1994	00:30	01:00	XY-Vidd Y hluti	0	778,5	Mælt eftir upptekt.
15530	21-12-1994	22:00	22:30	Hiti (°C)	272	644,0	Vinnslufóðring steypt kl 15.
15531	21-12-1994	23:10	23:35	Hiti (°C)	272	644,0	Vinnslufóðring steypt kl 15
15532	22-12-1994	04:30	04:50	Hiti (°C)	30	640,0	Vinnslufóðring steypt 21.des kl 15
15533	22-12-1994	05:30	05:50	Hiti (°C)	30	640,0	Vinnslufóðring steypt 21.des kl 15
15534	22-12-1994	07:50	08:10	Hiti (°C)	30	300,0	Fyllt upp milli fóðringa með köldu vatni
15535	22-12-1994	09:00	09:15	Hiti (°C)	30	300,0	Fyllt upp milli fóðringa með köldu vatni
15536	22-12-1994	13:00	13:30	Hiti (°C)	30	604,0	Fóðring steypt 21.des kl 15.
15537	22-12-1994	06:10	06:40	CBL (%)	0	550,0	Mælt 15 tímum eftir steypingu vinnslufóðringar
15538	22-12-1994	06:40	07:00	CBL (%)	0	550,0	Mælt 16 tímum eftir steypingu vinnslufóðringar
15546	29-12-1994	12:45	13:15	Hiti (°C)	30	230,0	Fyrirstaða í 405 m, væntanlega steypa.
15547	29-12-1994	13:30	14:30	Hiti (°C)	200	405,0	Fyrirstaða í 405 m, væntanlega steypa.
15549	03-01-1995	21:00	22:00	Hiti (°C)	150	405,0	Eftir jölafrí
15556	04-01-1995	11:45	12:05	Hiti (°C)	20	370,0	Dæling milli fóðringa hófst kl 12:30
15557	04-01-1995	13:05	13:10	Hiti (°C)	300	335,0	Dæling milli fóðringa frá 12:30
15558	04-01-1995	13:21	13:27	Hiti (°C)	300	355,0	Dæling milli fóðringa frá 12:30
15559	04-01-1995	13:40	13:45	Hiti (°C)	300	340,0	Dæling milli fóðringa frá 12:30
15560	04-01-1995	14:20	14:25	Hiti (°C)	300	340,0	Dæling milli fóðringa frá 12:30
15561	04-01-1995	15:00	15:15	Hiti (°C)	50	350,0	Dæling milli fóðringa frá 12:30
15562	05-01-1995	00:30	01:00	Hiti (°C)	30	370,0	Eftir 2.steypingu
15563	05-01-1995	05:50	06:15	Hiti (°C)	30	380,0	Eftir 2. steypingu
15564	05-01-1995	04:30	05:40	CBL (%)	40	350,0	Eftir seinni steypingu*
15565	05-01-1995	10:30	11:30	CBL (%)	10	330,0	Eftir seinni steypingu



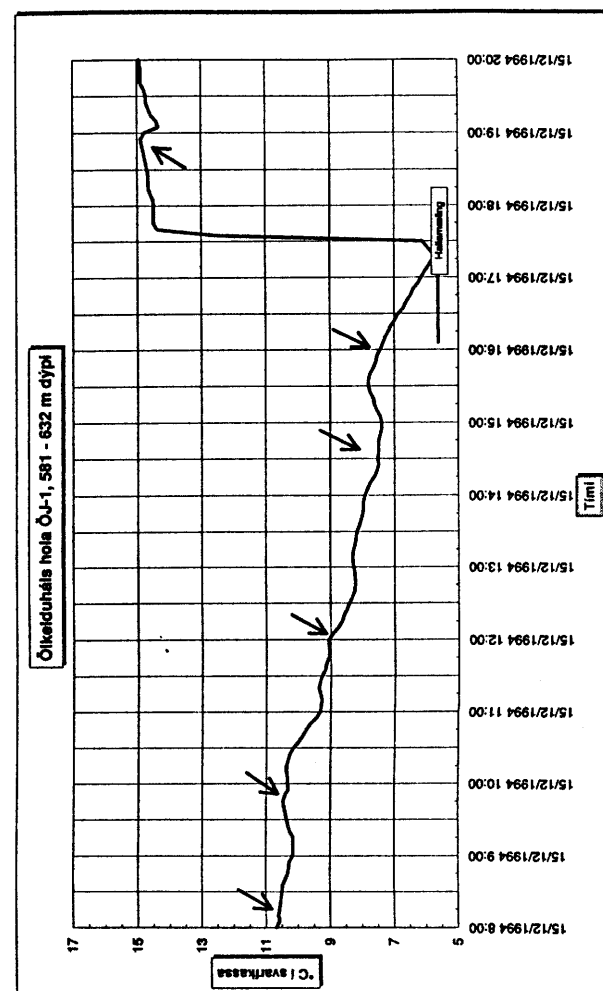
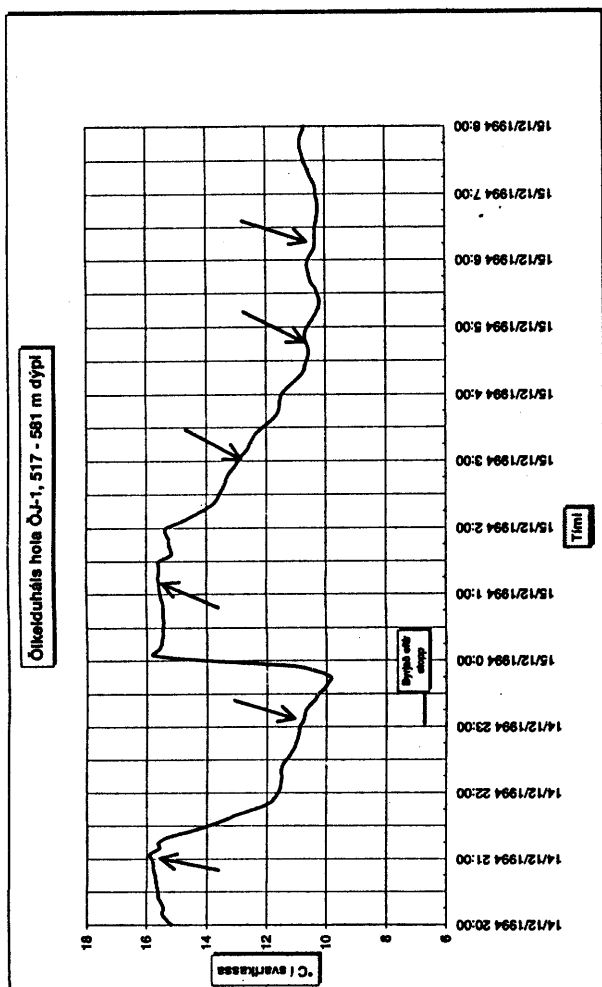
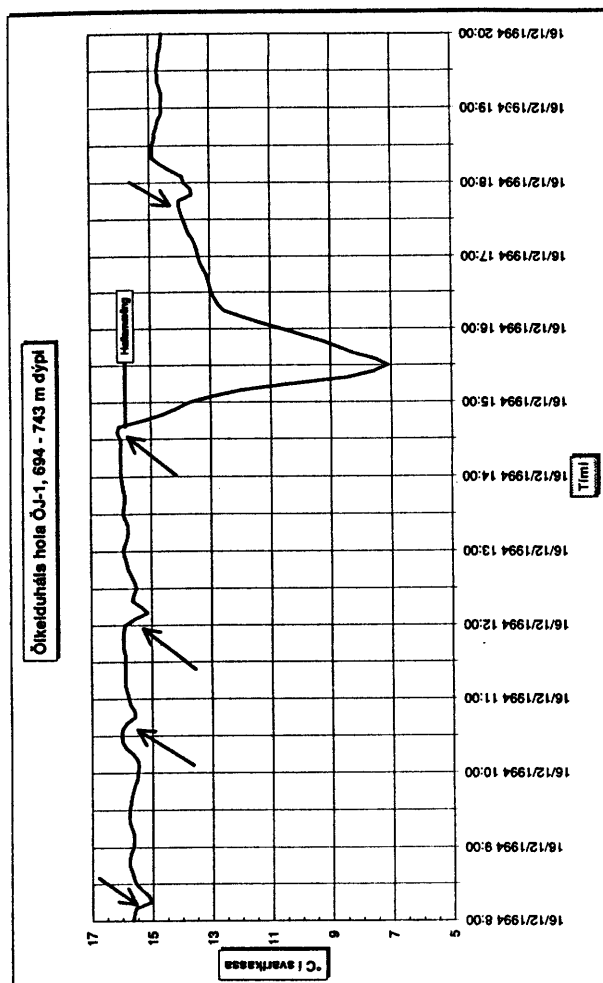
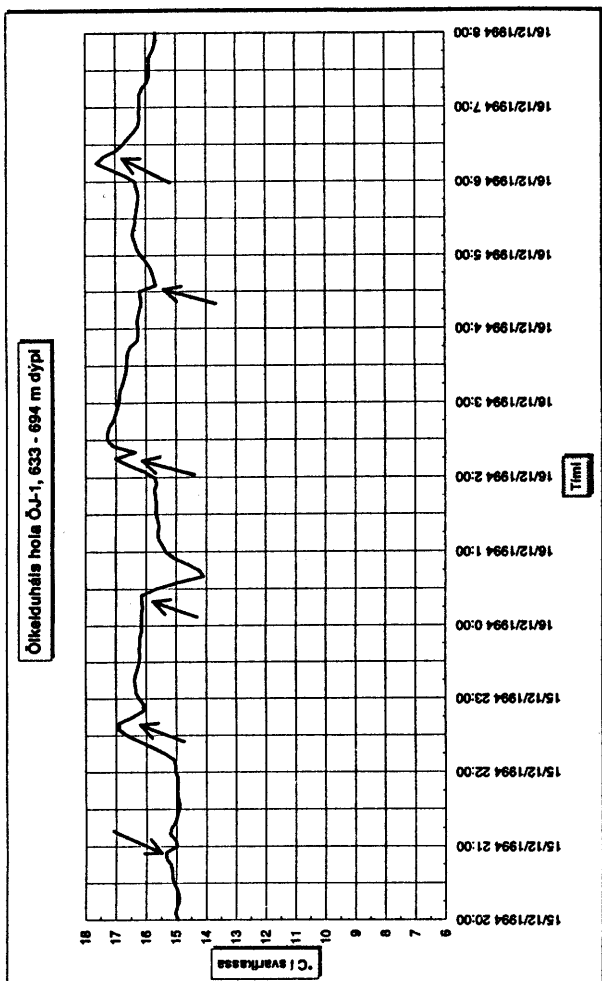
MYND 1. Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

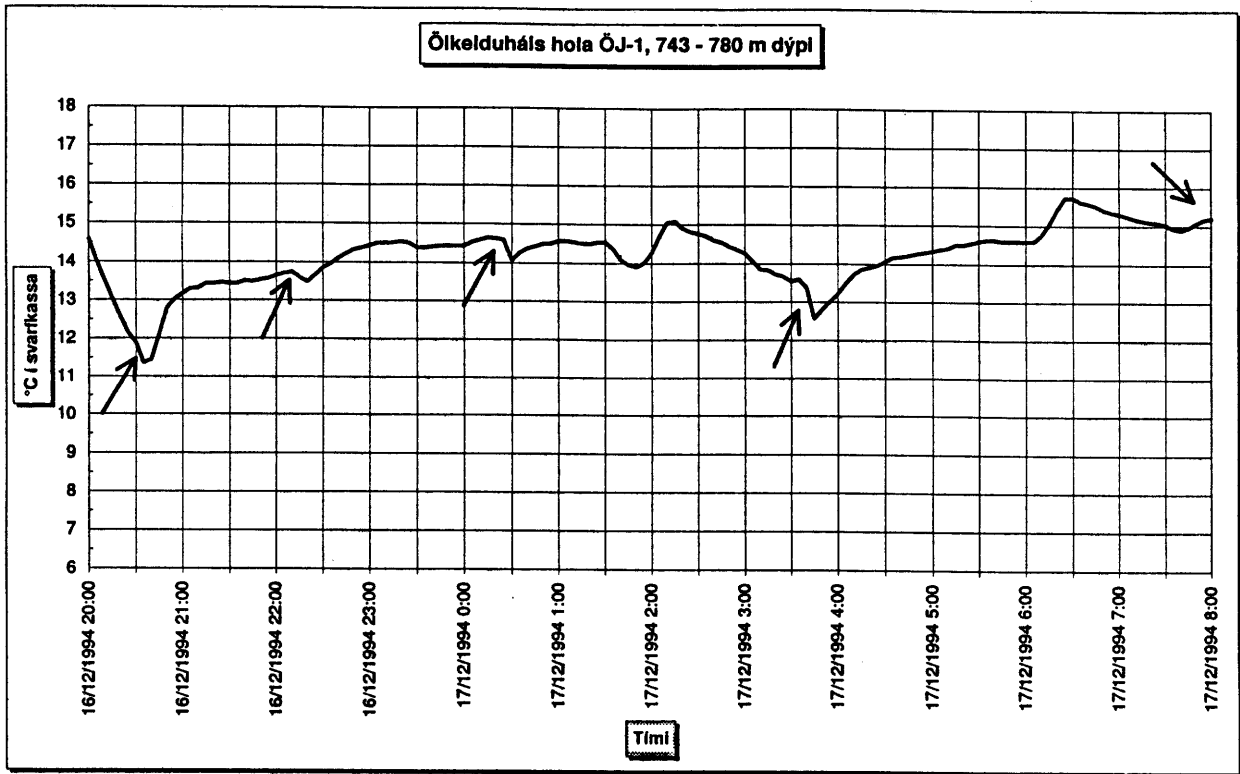


MYND 2. Hitamælingar með KRAPA-mæli við niðursetningu borstrengs í holu ÖJ-1. Kæling á 150 m dýpi 12. desember '94.

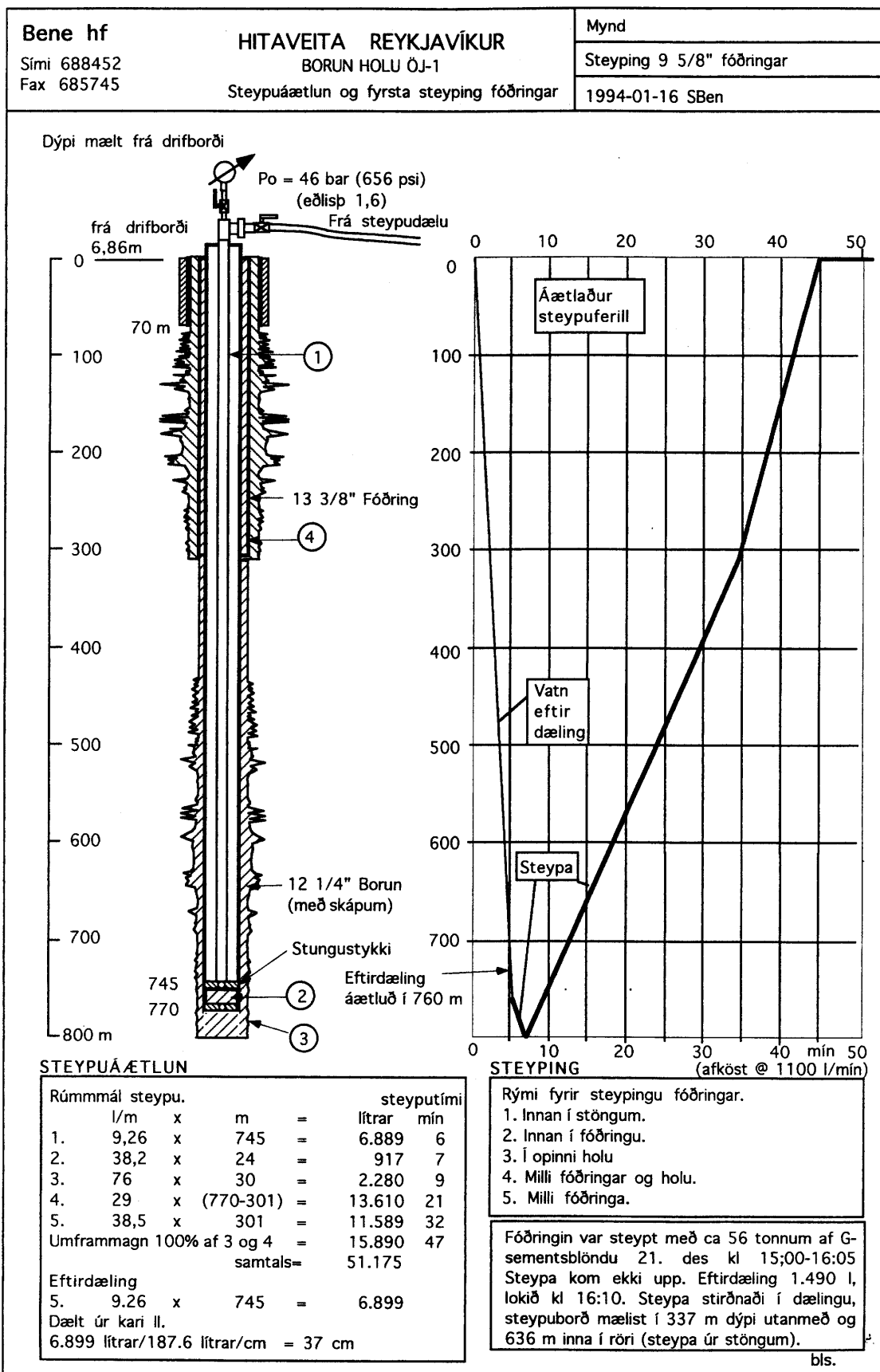


MYND 3. Hiti í svarfkassa á meðan á borun 2. áfanga holu ÖJ-1 stóð.

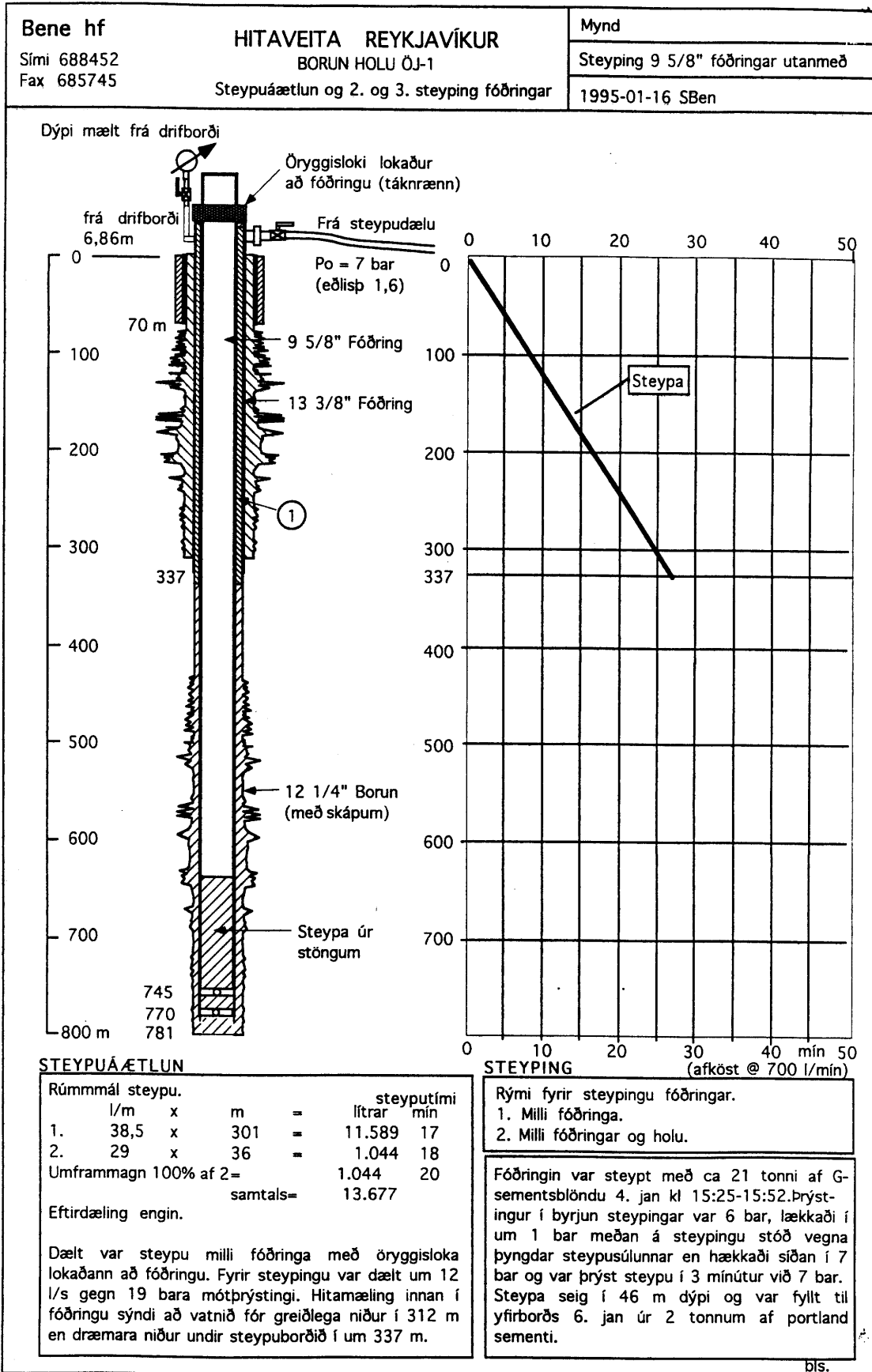




MYND 3. Hiti í svarfkassa á meðan á borun 2. áfanga holu ÖJ-1 stóð (frh.).



MYND 4. Fyrsta steyping vinnslufóðringar í holu ÖJ-1.

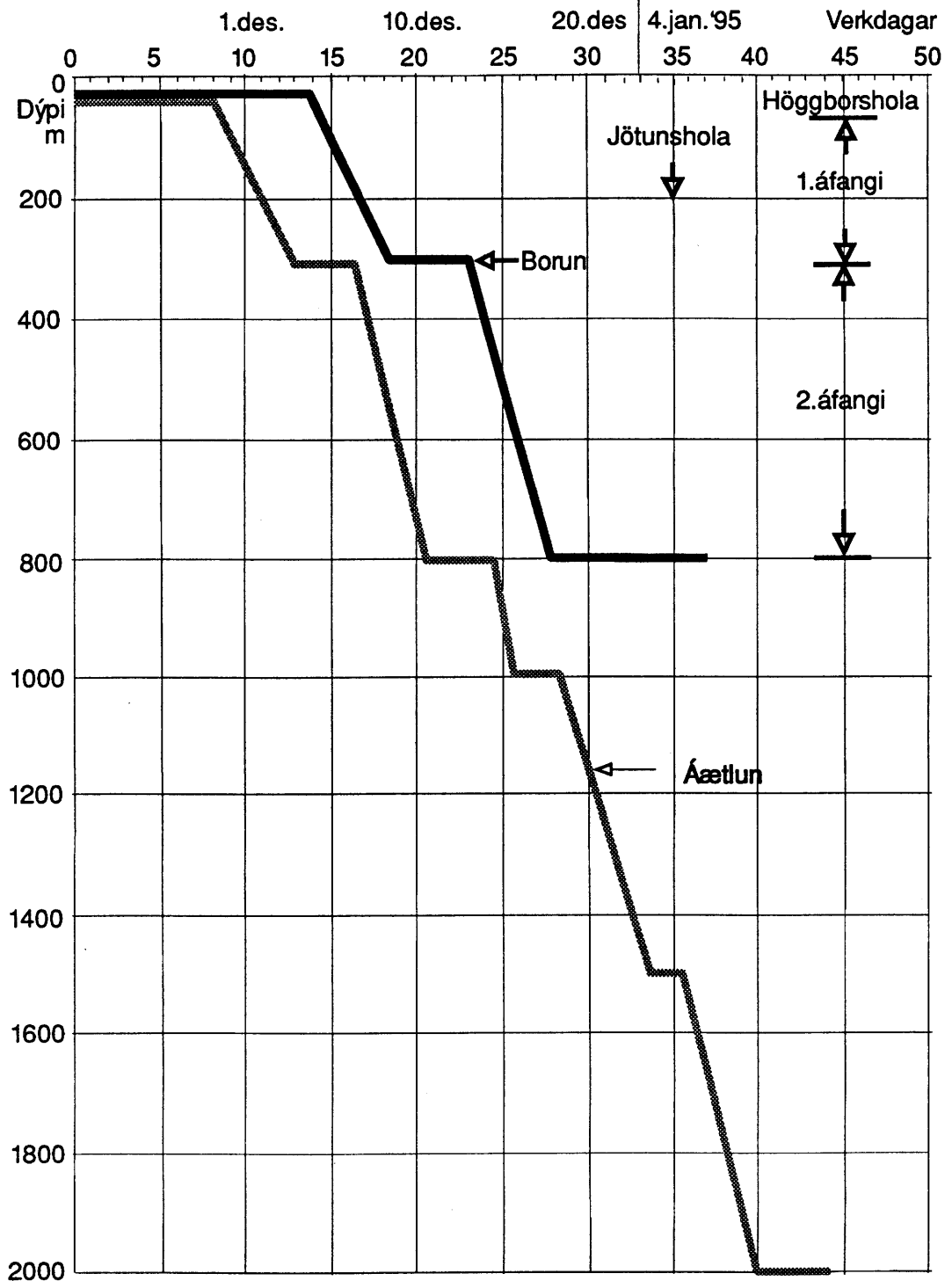


MYND 5. Önnur steyping vinnslufódðingar í holu ÖJ-1.

ÖLKELDUHÁLS

Borun holu ÖJ-1

Jólafrí frá 23.des til 2.jan 1995

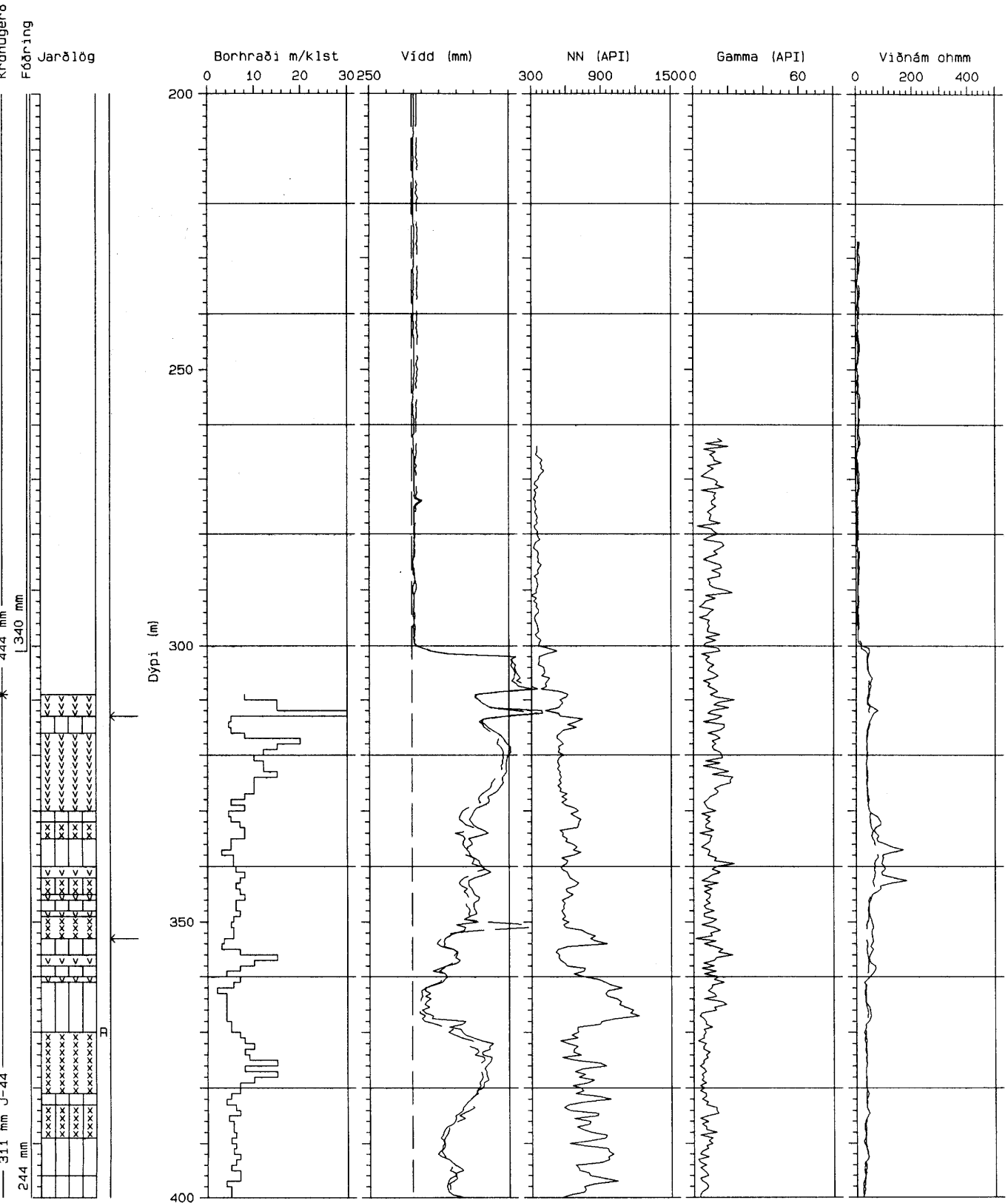


MYND 6. Framvinda borunar 2. áfanga holu ÖJ-1.

JHD-JF-8717 ÁsB
95.01.0002 T

ÖLKELDUHÁLS 2. ÁFANGI

Jarðlagasnið og jarðlagamælingar

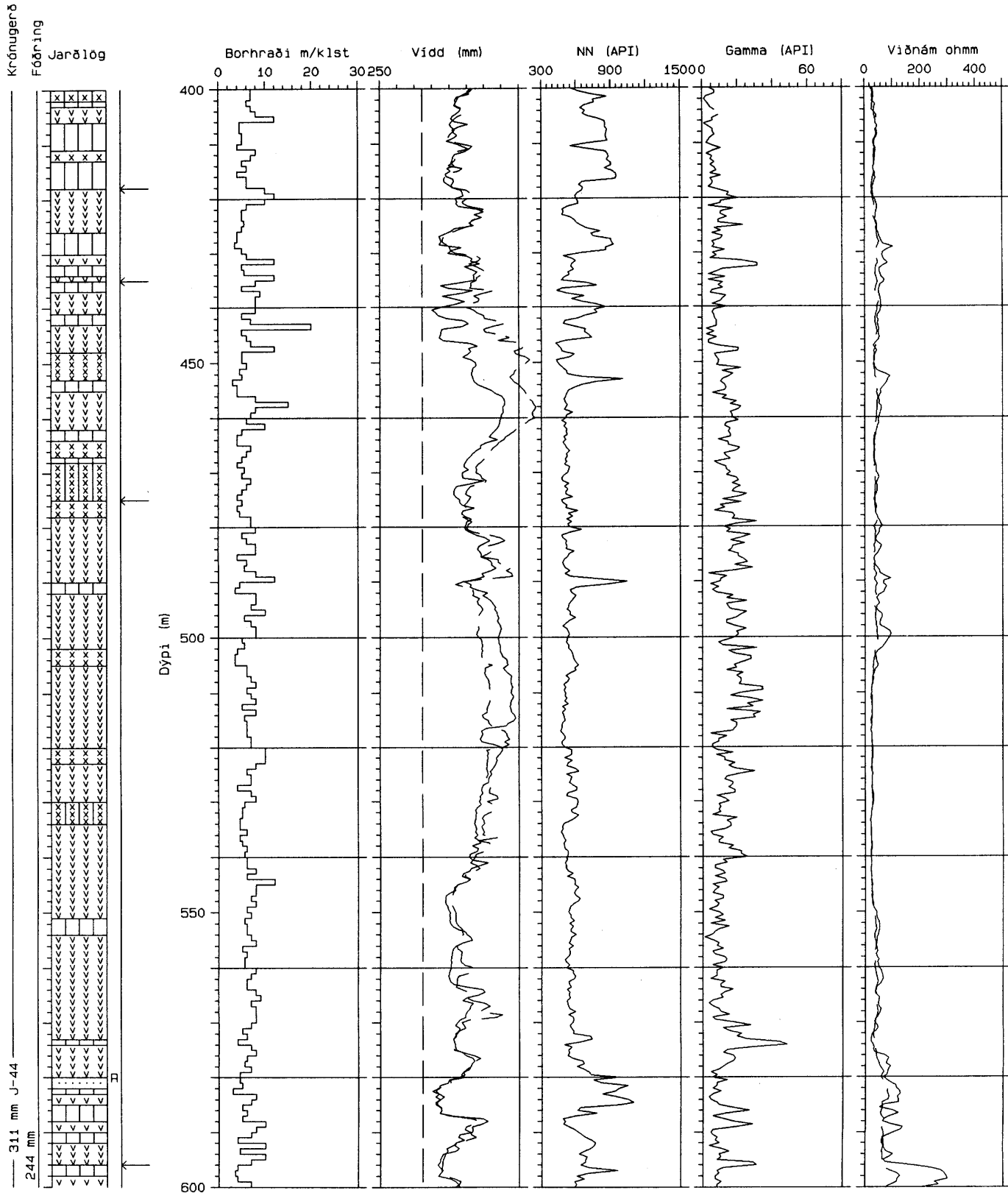


MYND 7. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar í holu ÖJ-1.

JHD-JF-8717 ÁsG
95.0.0002 T

ÖLKELDUHÁLS 2. ÁFANGI

Jarðlagasnið og jarðlagamælingar



MYND 7. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar í holu ÖJ-1 (frh.).

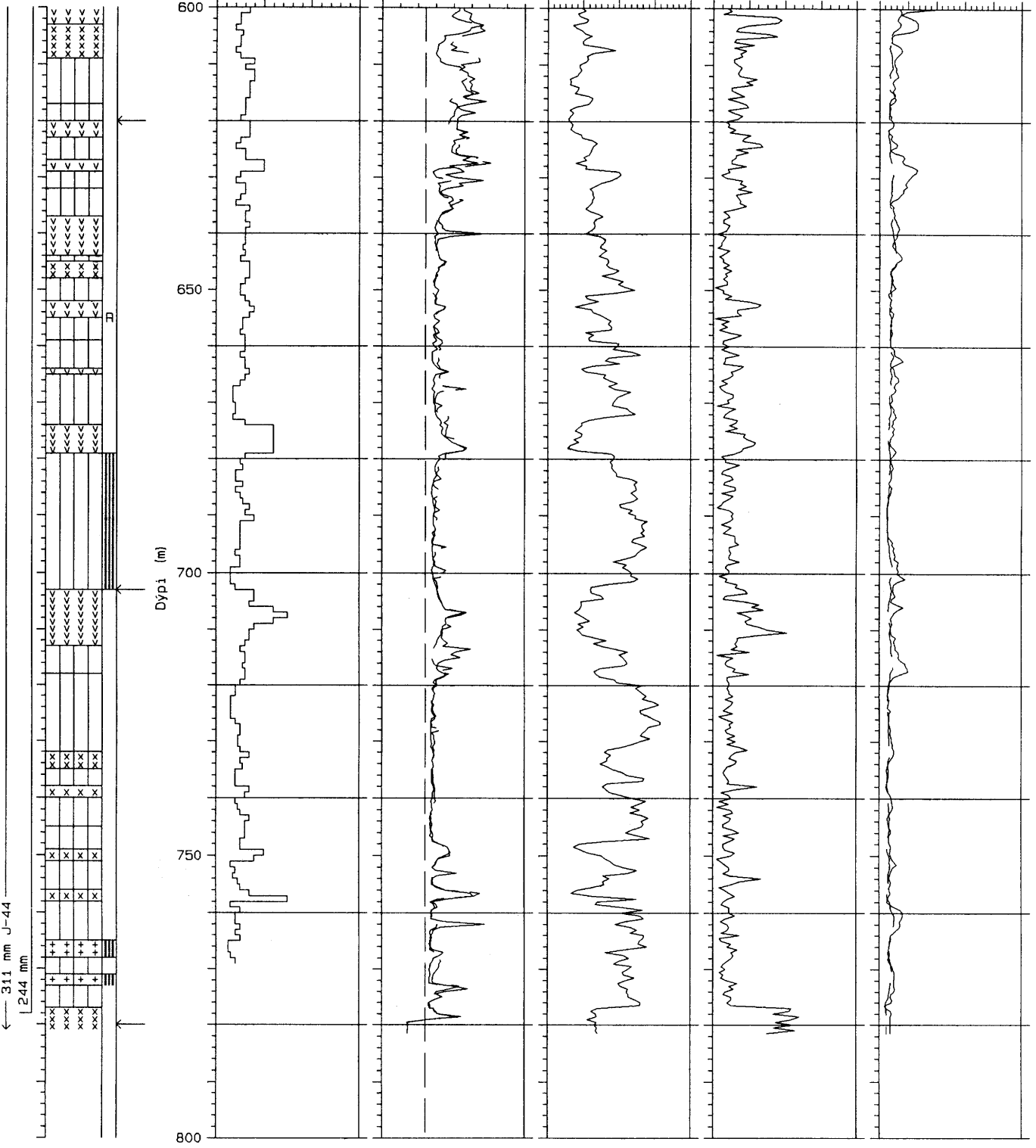
ÖLKELDUHÁLS 2. ÁFANGI

Jarðlagasnið og jarðlagamælingar







Krúnugerð

Föðring

Jarðlög



Skýringar:

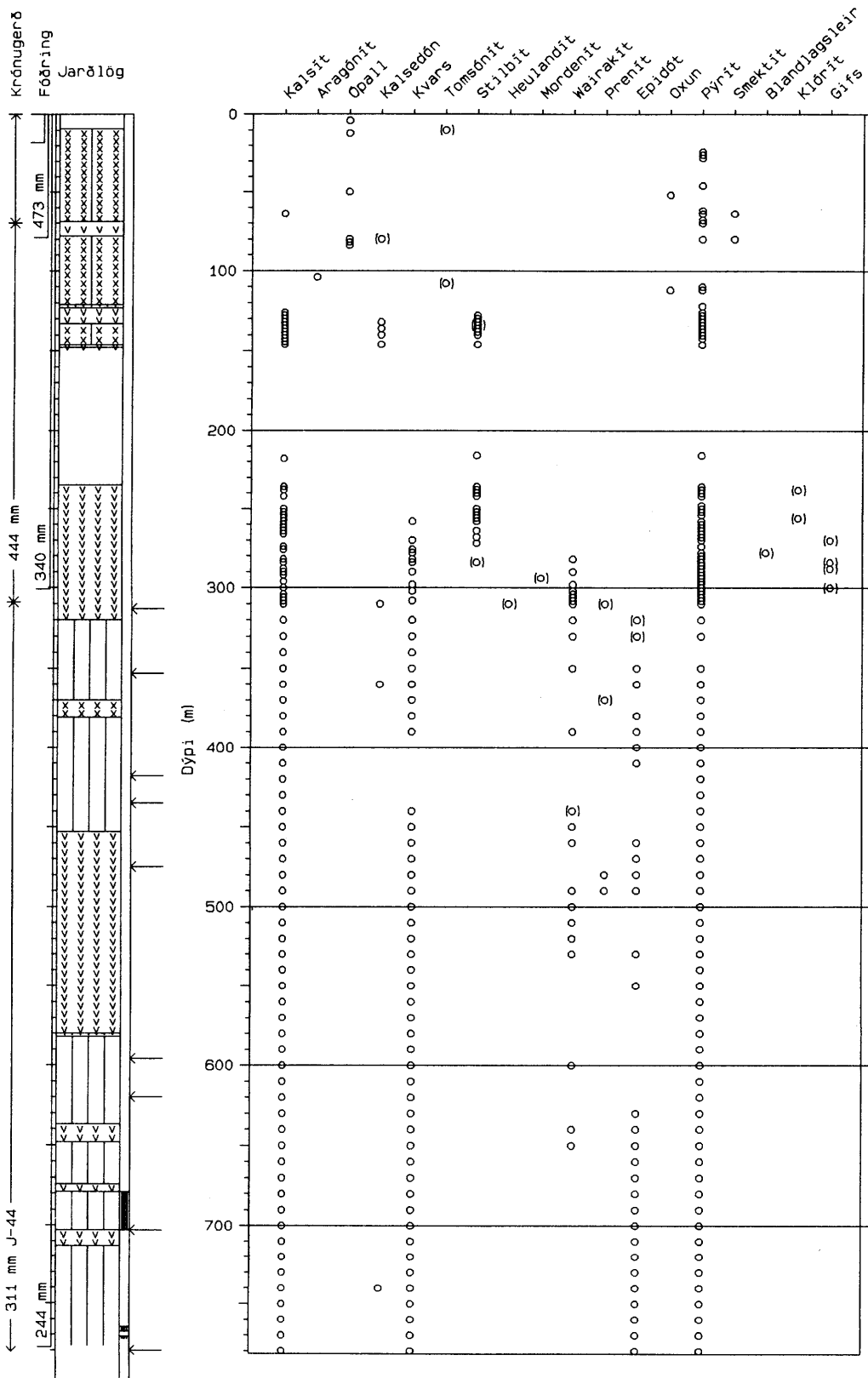
- | | | |
|---|--|--|
|  Umyndað fín-meðalkorna basalt |  Umyndað glerjað basalt |  Túff |
|  Fersklegt meðal-grófkorna basalt |  Basaltrik breksia |  Fínkornótt set |

R : Rautt millilag

← : Lítil vatnsað

ÖLKELDUHÁLS 2. ÁFANGI

Einfaldað jarðlagasnið og dreifing ummyndunarsteinda

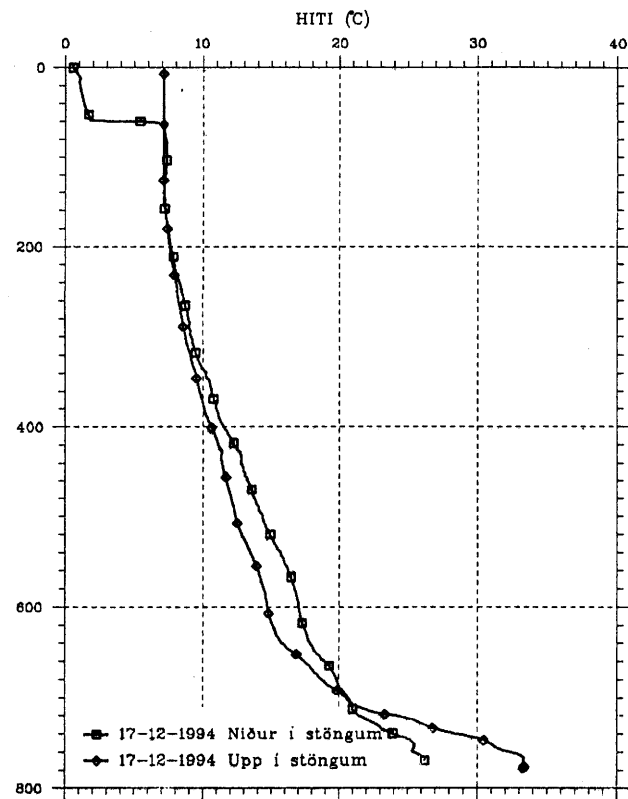


Skýringar.

- Ummyndað fin-meðalkorna basalt
- Basaltrik breksía
- Fínkornótt set
- Fersklegt glerjað basalt
- Túff
- Svarf vantar
- ← : Litil vatnsað

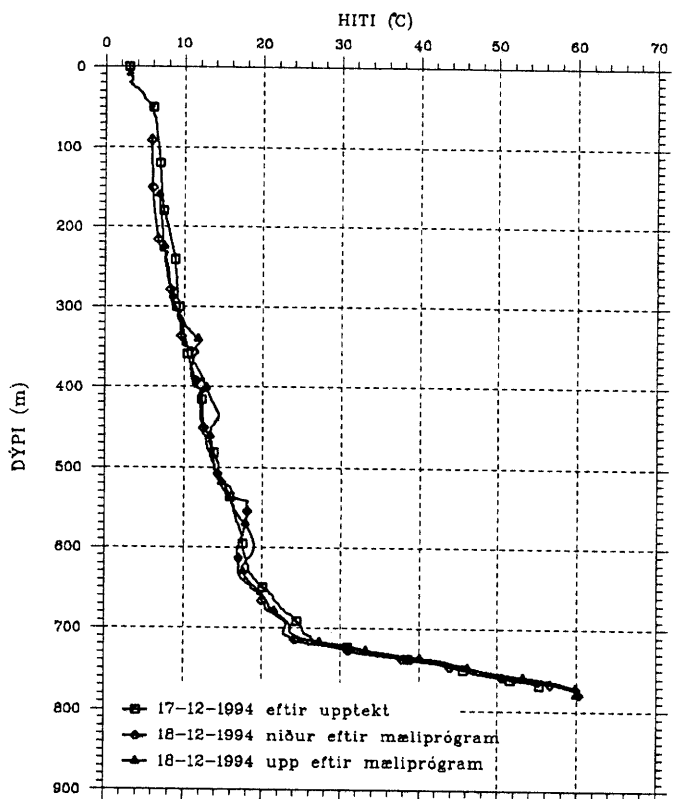
11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar i stöngum



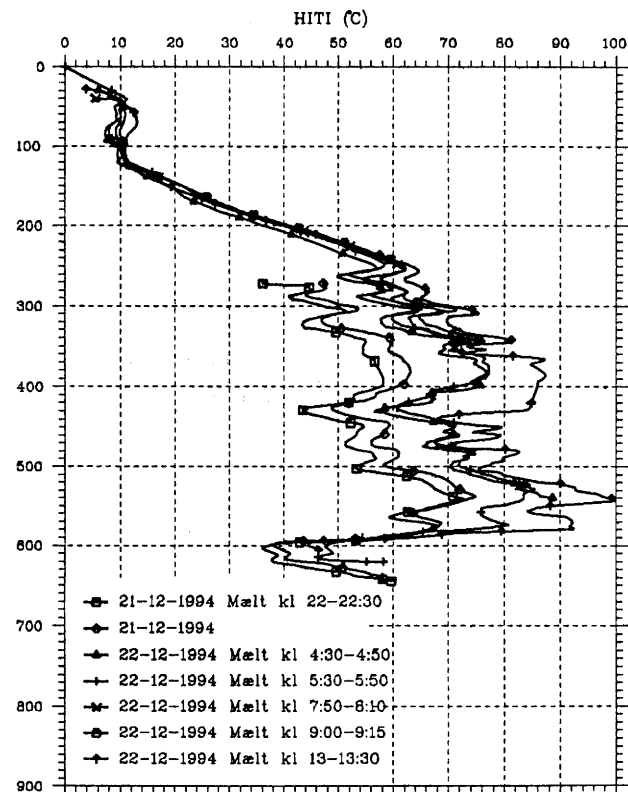
11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar eftir upptekt



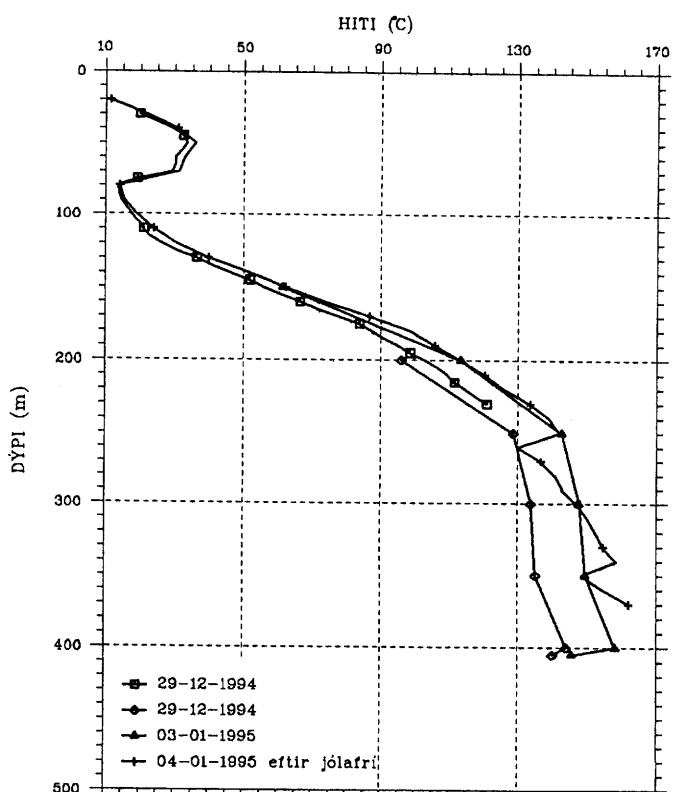
11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar eftir lsteypingu



11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

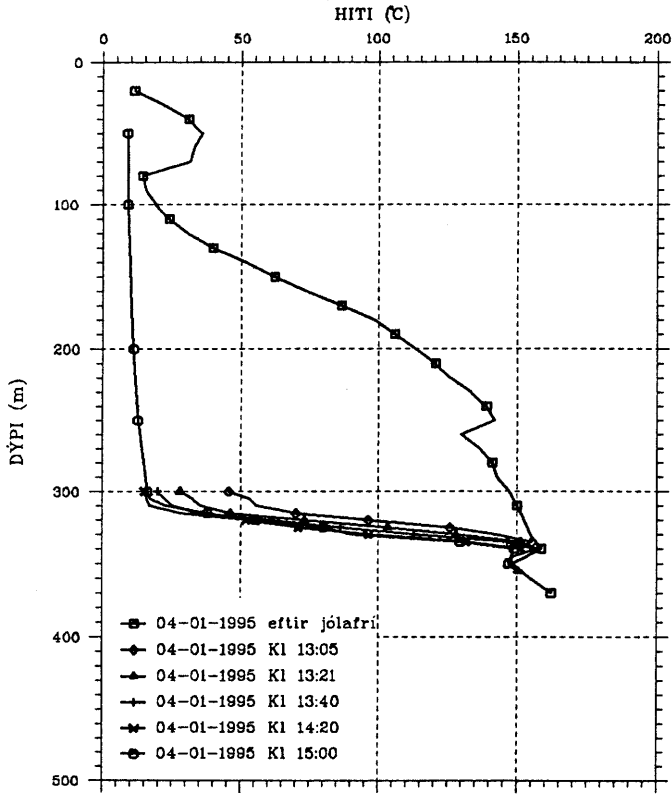
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar i jólafríi



MYND 9. Hitamælingar í 2. áfanga borunar holu ÖJ-1.

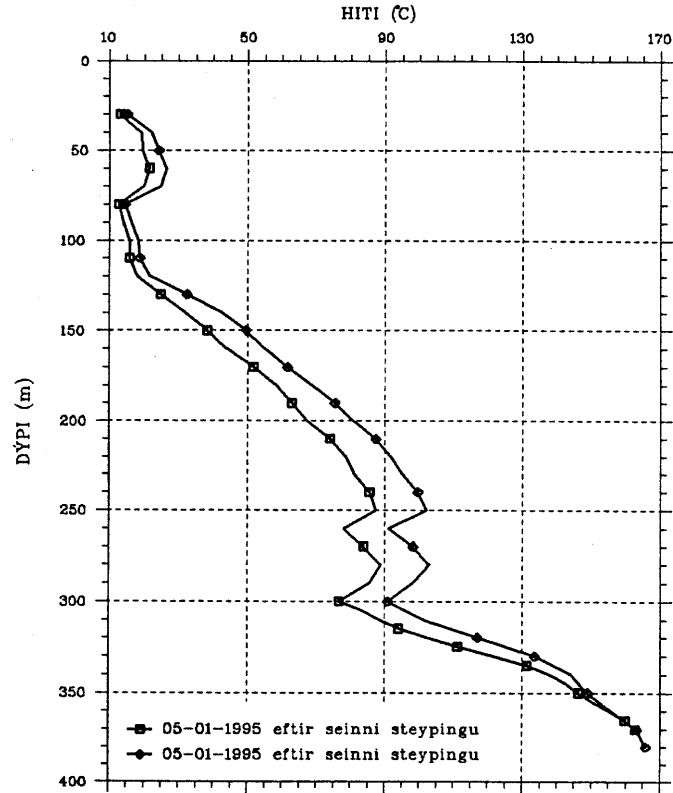
11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar Dælt milli fóðringa

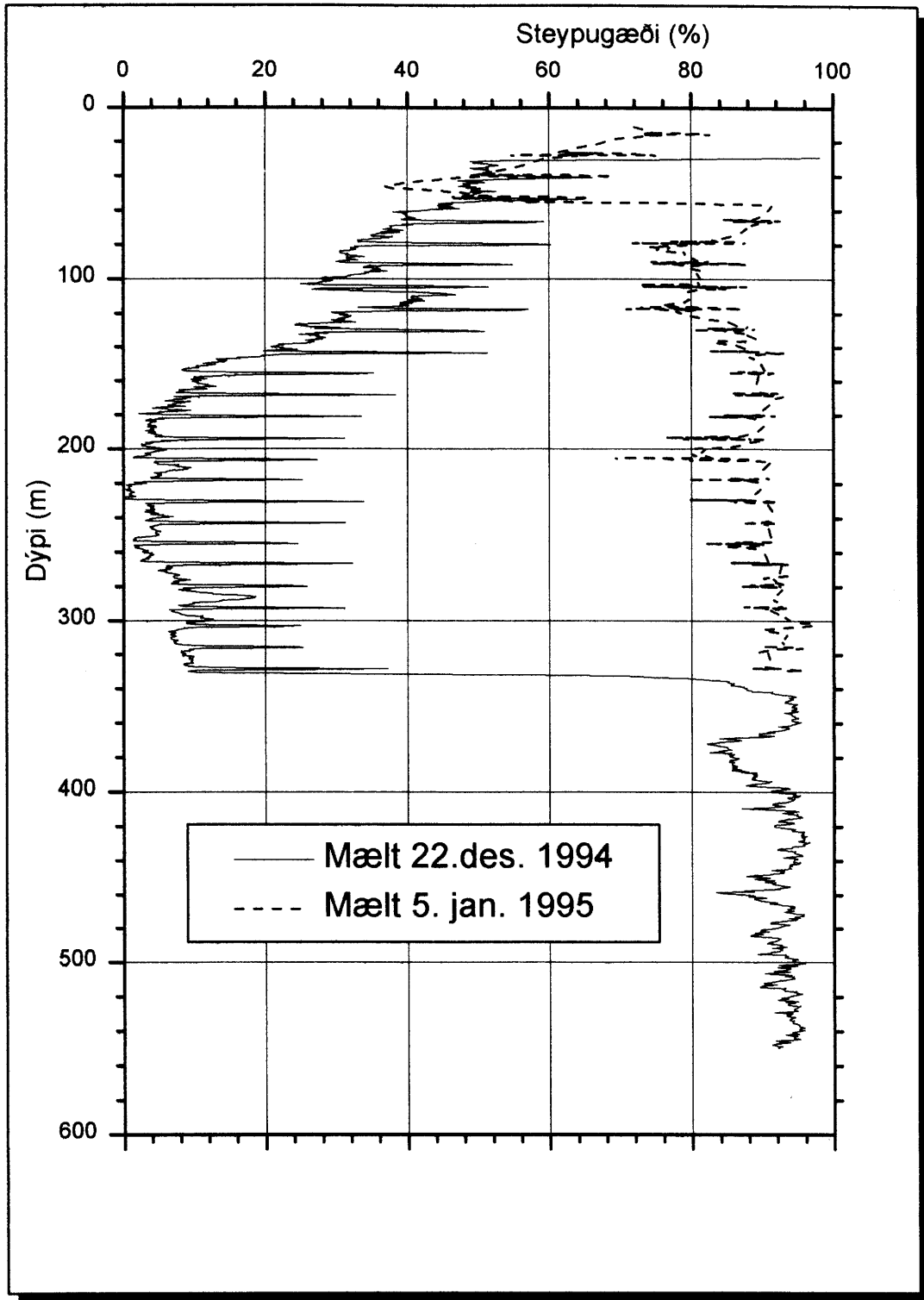


11 Jan 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar Eftir 2. steypingu



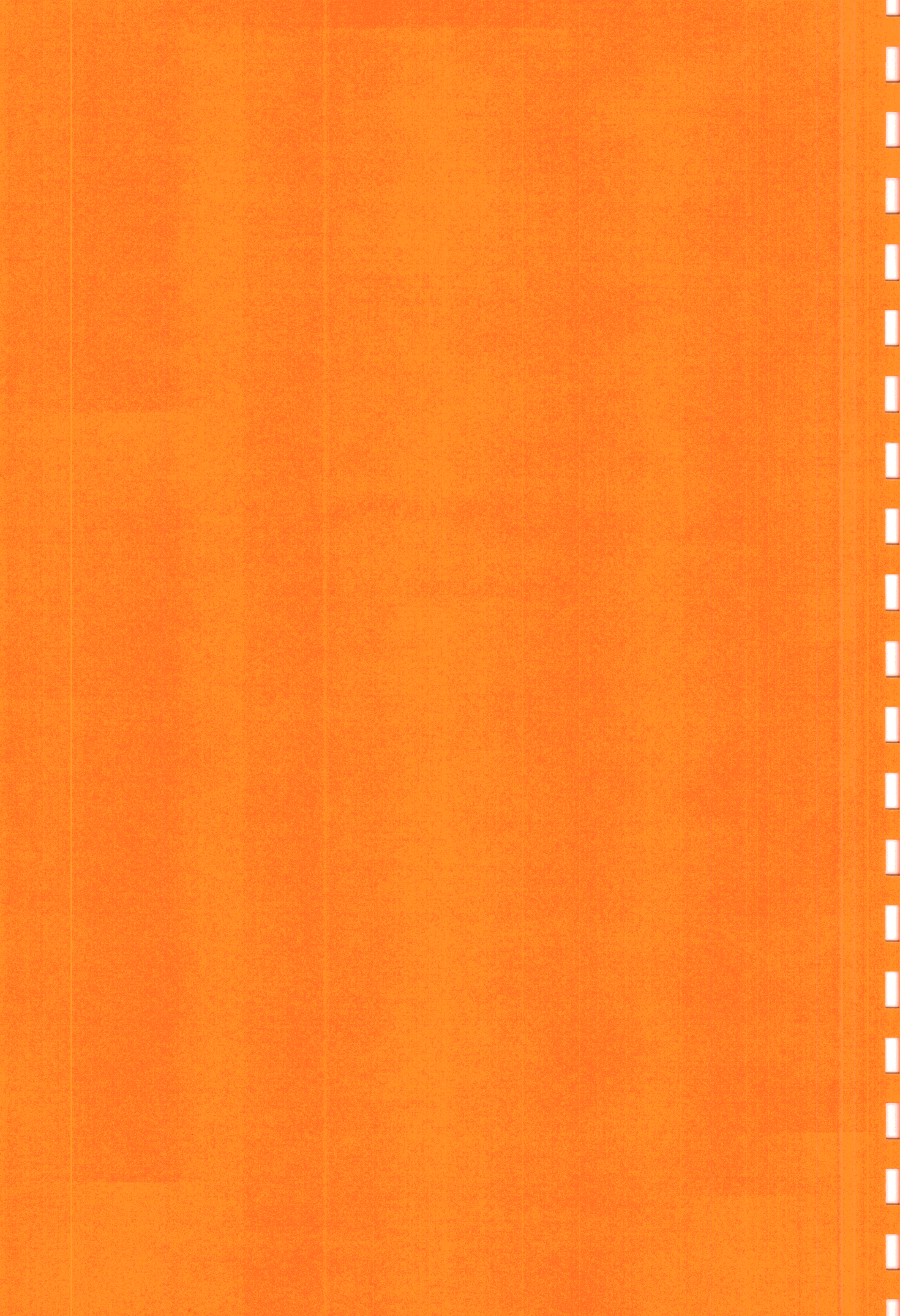
MYND 9. Hitamælingar í 2. áfanga borunar holu ÖJ-1 (frh.).



MYND 10. Hóla ÖJ-1. Steypumælingar í 9 5/8" vinnslufóðringu.

VIÐAUKI V-4

Borun holu ÖJ-1 - 3. áfangi





ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 015

Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Dagbjartur Sigursteinsson
Grímur Björnsson
Hilmar Sigvaldason
Hjalti Franzson
Jósef Hólmjárn
Ómar Sigurðsson
Sigurður Benediktsson
Sverrir Þórhallsson

ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI

Hola ÖJ-1, 3. áfangi:

Borun vinnsluhluta frá 781 m í 1035 m

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-95007/JHD-05 B

Febrúar 1995

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. BORSAGA	4
3. KJARNATAKA	6
4. JARÐLÖG, UMMYNDUN OG VATNSÆÐAR	9
5. BORHOLUMÆLINGAR	9
6. ÞREPADÆLING	10
7. HEIMILDIR	11

TÖFLUSKRÁ

1 Gangur borunar	6
2 Hallamælingar í borun 3. áfanga	6
3 Fóðrunarskýrsla 7" raufaðs leiðara	12
4 Sundurliðun tíma við borun kjarna	7
5 Yfirlit um kjarnatöku á 795,7 - 798,9 m dýpi	8
6 Borholumælingar í 3. áfanga	13

MYNDASKRÁ

1 Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	15
2 Framvinda borunar holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði	16
3 Hiti í svarfkassa á meðan á borun 3. áfanga holu ÖJ-1 stóð	17
4. Yfirlit um borun kjarna	8
5. Hóla ÖJ-1. Einfaldað jarðlagasnið og ummyndun samkvæmt svarfgreiningu	19
6. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar	20
7. Hitamælingar í 3. áfanga borunar holu ÖJ-1	22
8. Fall vatnsborðs eftir dælingu 11. janúar 1995	23
9. Þrýstimælingar í þrepaðælingu í holu ÖJ-1	24
10. Hitamælingar í þrepaðælingu í holu ÖJ-1	25

1. INNGANGUR

Undanfarnar vikur hefur Hitaveita Reykjavíkur staðið fyrir borun fyrstu rannsóknarholunnar, holu ÖJ-1, á Ölkelduhálssvæðinu. Jarðboranir h/f annast borunina, en Jarðhitadeild Orkustofnunar rannsóknir. Holan var höggboruð í október 1994, en borun með jarðbornum Jötni fór í gang um mánaðamótin nóvember-desember 1994 og stóð borun holunnar fram til 22. janúar 1995. Staðsetning holu ÖJ-1 er sýnd á mynd 1. Til fróðleiks eru þar einnig sýnd upptök jarðskjálfta á Hengilssvæðinu síðustu þrjá mánuðina. Þetta eru smáskjálftar, sem mælitæki Veðurstofunnar hafa skráð skilmerkilega, en íbúar á svæðinu hafa hins vegar lítið fundið til þeirra. Undantekning er þó skjálfti sem varð að morgni 11. janúar 1995. Sá fannst vel á borstað og einnig á Nesjavöllum. Samkvæmt mælingu Veðurstofunnar var skjálftinn 2,4 stig á Richter og voru upptök hans á um 2,7 km dýpi um 2,5 km suðaustan við borstæðið (þ.e.a.s. innst í Grændal).

Framgangi borverks og rannsókna er lýst í nokkrum áfangaskýrslum samkvæmt rannsóknasamningi milli Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar. Skýrslur um fyrstu tvo áfangana, þ.e. borun fyrir öryggisfóðringu í 309 m dýpi og vinnslufóðringu í 781 m dýpi, hafa þegar lítið dagsins ljós (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1994; Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1995). Hér á eftir er hins vegar greint frá þriðja áfanga borunar holu ÖJ-1, þ.e. borun vinnsluhluta holunnar. Hönnun holunnar gerði ráð fyrir borun á allt að 2000 m dýpi og eftirfarandi verklýsingu fyrir þriðja áfanga borverksins (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1994):

- a. Holutopps- og öryggislokabúnaði er komið fyrir á holunni.
- b. Áður en steypan, flotkollinn og flotskórinn eru boruð út eru öryggislokarnir þrýstiprófaðir hver í sínu lagi. Lokað er að stöng og holan fyllt af vatni. Þá er 30 bar þrýstingur settur á og látinn standa á í 15 mínútur. Athugað er hvort leki kemur fram og einnig er opunar- og lokunartími lokanna skráður ásamt þrýstingi í holu við upphaf og lok þrýstiprófunar. Stál liða-leiðsla skal tengd kæfingarloka holunnar frá dælu borsins.
- c. Holan er boruð með 8 1/2" borkrónu með krónurýmara. Stýringar eru hafðar milli fyrstu og annarar álagsstangar og milli annarrar og þriðju álagsstangar. Einstefnuloki er hafður við krónuna. Vatn er notað sem skolvökvi við borunina og þarf vatnsveitan fyrir borinn að afkasta um 40 l/s að staðaldri.
- d. Kjarni verður tekinn úr holunni (2-3 m) á tveimur stöðum, samkvæmt frekari ákvörðun verkkaupa.
- e. Borun er stöðvuð og holan hallamæld með tækjum borsins á u.þ.b. 100 m fresti. Bora skal holuna sem næst lóðréttu og fari hallinn yfir 3° skal athuga aðgerðir til að rétta holuna af.
- f. Ákvörðun um lokadýpi verður tekin á staðnum samkvæmt tillögu staðarjarðfræðings.
- g. Áður en borstrengurinn verður hífður upp úr holunni verður holan kæld rækilega og hita-mælingar gerðar til að ganga úr skugga um að goshætta sé ekki til staðar.
- h. Holan er hita-, víddar- og jarðlagamæld eftir að borstrengurinn hefur verið tekinn upp.
- i. Mikilvægt er að vatn sé látið renna samfelt á holuna, þannig að hún nái ekki að hitna upp á meðan á mælingum og fóðrun stendur.

- j. Nú er raufaður 7" leiðari settur í holuna. Miðað er við að leiðarinn sé hengdur um 20 m frá botni holunnar og að hengistykkið sé um 30 m uppi í vinnslufóðringunni. Efst á leiðaranum er hengistykki með 7" buttress pinna og gripklossum fyrir 9 5/8" fóðringu. Þegar leiðarinn hefur verið hengdur, er sleppistykkið aftengt og tekið upp.
- k. Áður en borinn er tekinn af holunni er holan þrepaðeld og er áætlað að það taki hálfan sólarhring.

2. BORSAGA

Gangur borunar holu ÖJ-1 er sýndur á mynd 2, en yfirlit um borun í þriðja áfanga verkens er að finna í töflu 1. Áfanginn hófst með niðursetningu borstrengs þann 9. janúar. Kælt var í gegnum krónu eftir niðursetningu hveftrar stangar þar sem ljóst var að hiti í holunni væri orðinn vel yfir 100°C neðan um 180 m dýpis. Á um 390 m dýpi varð vart fyrstu steypuklepranna og varð vart við steypu á nokkrum stöðum niður á 636 m dýpi, þar sem samfelld steypa tók við. Lokið var við að bora steypuna (783 m) um kvöldmatarleyti 10. dags janúarmánaðar. Borað var í bergi niður á 793,5 m dýpi, en er þangað var komið mældist 25 l/s skoltap í stangaríbætingu. Ákveðið var að taka þar kjarna, og var sú ákvörðun tekin á grundvelli þess að borað var í móbergi og merki um vatnsæð í grenndinni. Í holubotni var merki um innskot og þótti því ákjósanlegt að bora hálfan annan metra neðar til að auka líkur á að farið væri niður úr innskotinu og í móberg á ný. Reyndist innskotið þunnt og var komið í móberg í tæplega 795 m, sem varð kjarnatökudýpi. Holan reyndist hrein í botninn.

Áður en til upptektar kom var hitamælt í stöngum til að kanna hegðun æðarinnar í botni holunnar. Í ljós kom að holan kældi sig vel niður í botn í ádælingu og var þar um 18°C. Einnig var mælt vatnsborð í stöngum og reyndist það vera á 227 m dýpi. Að lokinni upptekt var sett niður í holu; borkróna, ruslakarfa, kollastandur og borstangir til að taka alla lausamuni af holubotni, einkum harða málmhluti sem skemmt gætu kjarnakrónu. Álag á krónu var haft um 3-4 tonn með hægum snúningi, og 2-3 l/s dælingu. Aðgerðin var endurtekin nokkrum sinnum. Í körfuna safnaðist um 1/2 til 1 kg af bergi auk nokkurra málmflísa. Ferðin með ruslakörfuna niður og upp aftur tók um 10 klst.

Næst var kjarnatakan framkvæmd og er henni lýst nákvæmlega í næsta kafla. Hún tók samtals um 19 klst. Þar af tók borun kjarnans rétt um 80 mínútur. Boraðir voru 4,1 m og holan því orðin tæpir 799 m á dýpt.

Holan var vatnsborðsmæld eftir upptekt kjarnarörsins. Dæling var stöðvuð og fylgst með lækun vatnsborðsins. Á 20 mínútum féll vatnsborð niður fyrir 300 m. Þar sem mælirúlla náði ekki neðar var þrýstimælt með mælingabíl. Sú mæling sýndi vatnsborðið á 340 m dýpi um 60 mínútum eftir að dælingu var hætt. Mælingu var þá hætt enda þótt vatnsborðið væri enn fallandi, en mælingin benti til stöðugs vatnsborðs á 350-370 m dýpi.

Álagsstengur voru sprungumældar áður en þær voru settar niður í holuna. Niðursetningu borstrengs var lokið á um 9 klst eða um klukkan eitt aðfararnótt 12. janúar. Voru þá liðnir tveir sólarhringar frá því að ákvörðun var tekin um kjarnatökuna.

Eins og að ofan er greint hófst borun 12. janúar á 799 m dýpi. Svarf kom til yfirborðs þar til á um 825 m dýpi, en þar tapaðist allt skolvatn, og féll þrýstingur á skolvatnsdælum í nær ekki neitt. Auðséð var að holan hafði skorið aðra og meiri æð en þá sem kom fram rétt neðan fóðr-

ingar. Borun hélt áfram um stund, en brátt tók að síga á ógæfuhliðina varðandi skolvatn, þar sem tapið í holunni var orðið mun meira en það vatn sem til borsins barst. Varð það til þess að stöðva varð borun á um 2 klst fresti til að safna vatni í karið. Tók sú vatnsöflun 1-2 klst í hvert skipti. Um miðjan dag, 13. janúar, var borun stöðvuð í um 3,5 klst og farið í að koma á dælingu frá lóninu í dalverpinu neðan borsins. Við það vænkaðist vatnsbúskapur og varð mögulegt að halda borun viðstöðulaust áfram með 22-27 l/s dælingu. Áfram var samt algjört skoltap í holunni, og sáralítill þrýstingur á dælum. Borsvarf safnaðist ekki í holuna og virtist það tapast út í æðar. Urðu bormenn ekki varir við neitt botnfall í holunni lengi vel.

Um hádegisbil 14. dags janúarmánaðar við stangaribætingu í 1020 m dýpi kom áberandi hrun í holubotninn. Reyndist ekki unnt þrátt fyrir ítrekaðar tilraunir að mylja það niður og koma því út í vatnsæðarnar. Eftir um 10 tíma barning við þá mulningsiðju var þess freistað að bora lengra. Tókst með herkjum að komast niður í 1035 m dýpi, en ekki minnkaði hrunið við það og hélst yfirborð hrunsins ávalt á 1015-1017 m dýpi. Síðar kom fram í hitamælingum að vatnsæð er í hrunkaflanum í botni holunnar. Tilvist æðarinnar skýrir veikleika bergsins og er greinilegt að bergið hefur hrunið jafnóðum í holuna í stað mulnings sem horfið hefur út í æðar.

Álag í borun var breytilegt; 6-10 tonna álag var notað niður á um 860 m dýpi, 10-12 tonn þaðan og á um 907 m, 2-10 tonn niður á 957 m, 2-6 tonn niður á 1020 m og 2-5 tonn þaðan og niður á 1035 m dýpi.

Hitamælt var í stöngum til að kanna vatnsæðar í holunni en einnig var reynt að meta með vatnsborðsmælingum við mismunandi ádælingu hve gæf holan væri orðin. Í ljós kom að æð var við botn holunnar og í hana streymdi það vatn sem á holuna var dælt, auk vatnsins sem rann inn í holuna úr æðum aðallega á 825 m og 950 m dýpi. Er þessum aðstæðum lýst frekar í kaflanum um borholumælingar aftar í þessari skýrslu.

Ljóst þótti að erfitt mundi reynast að sigrast á hruginu, nema með því að steypa í hrunkaflann, og þar með botnæð holunnar. Þar sem holan var mjög lek og í góðum tengslum við jarðhita-kerfið varð niðurstaðan sú að vænlegast væri að kalla til borloka. Veður tóku nú að vera fremur óstillt og drógust framkvæmdir af þeim sökum nokkuð á langinn. Dælt var á holuna að jafnaði um 13 l/s og strengur hafður í botni. Síðari hluta 19. janúar var hallamælt á þremur stöðum í holunni, og eru niðurstöður sýndar í töflu 2. Heildarfrávik holubotns frá lóðréttu er um 10 m.

Upptekt borstrengs hófst um klukkan fjögur þann 20. janúar og var lokið um hádegisbil sama dags. Þá tóku við mælingar í opinni holu og lauk þeim um 13 klst síðar. Settur var leiðari í holuna og hann látinn standa á botni án þess að hengja hann í fóðringu. Er helstu einkennum leiðarans lýst í töflu 3. Eftir útbrot borstanga, tók við þrepaðæling á holunni, en henni er sérstaklega lýst í kafla 6. Þrepaðælingu lauk um klukkan þrjú þann 22. janúar, og var í kjölfar þess tekið til við að ganga frá holutoppi, og þeim hlutum sem einkenna borlok á Jötni.

Hitanemar (Krapí) voru notaðir til að fylgjast með hitabreytingum í skolvatni eins og gert var í fyrri áföngum (mynd 3). Uppsetningu var breytt nokkuð, þannig að tveir nemar voru settir í kassann og hiti lesinn í skrá á 2 mínútna bili, og var annar þeirra hengdur um 4-5 cm hærra upp en hinn. Ástæðan var sú að við skoltap lækkar vatnsyfirborðið í kassanum um 5 cm. Þegar slíkt gerist greinist lofthiti en ekki skolhiti. Á þann hátt er möguleiki á að tímasetja (og þar með ákvarða dýpi) nákvæmar skoltöp í borun. Svo virðist sem efri neminn gefi ítarlegri upplýsingar er varða tímasetningu skoltapa í holunni, enda kemur hann úr kafi um leið og skoltap verður í holunni, meðan sá neðri helst neðan vatnsborðs.

Tafla 1. Hóla ÖJ-1. Gangur borunar.

Dagsetning	Borun m	Bortími klst.	Borhraði m/klst.	Tímar á krónu klst.	Dýpi m
09.01.1995	10	2,0	5	2,0	793,5
10.01.1995	1,5	0,5	3	2,5	795
12.01.1995	61	13,5	4,5	15,5	859,5
13.01.1995	98	15,0	6,5	30,5	957
14.01.1995	67	12,5	5,4	43,0	1024
15.01.1995	11	3,5	3,1	46,5	1035
	248,5	46,5	5,3	46,5	1035

Tafla 2. Hóla ÖJ-1. Hallamælingar í borun 3. áfanga.

Dýpi m	Halli í gráðum	Frávik frá lóðréttu m	Heildarfrávik m
700	0,4		6,41
800	0,3	0,52	6,93
900	1,0	1,75	8,67
1000	0,8	1,39	10,06

3. KJARNATAKA

Til stóð að taka borkjarna á tveimur stöðum úr hólú ÖJ-1 til rannsókna á ummyndun og til ákvörðunar á forðafræðistuðlum. Kjarninn var tekinn á 794,7-798,8 m dýpi og var reiknað með öðrum kjarna á dýptarbilinu 1000-1500 m. Af því varð þó ekki þar sem borun holunnar var hætt á 1035 m dýpi.

Kjarninn var tekinn með nýju kjarnatökutæki sem Hitaveita Reykjavíkur og Jarðboranir keyptu vegna verksins samkvæmt ráðleggingu Orkustofnunar. Kjarnatakan fór fram með hefðbundnum hætti, en þar eð um nýtt tæki var að ræða, var það gert undir leiðsögn rússnesks borverkfræðings frá framleiðanda tækisins.

Fyrst þurfti að hreinsa holuna með "ruslakörfu" en síðan var kjarnarörið sett í holuna og 4,1 m kjarni boraður. Sjálf borunin tók aðeins 80 mínútur. Meðalborhraðinn var því 3 m/klst sem telst gott. Hér á eftir er birt yfirlit um tímann sem fór í einstaka verkþætti, en nokkrir þeirra unnust hægt vegna vetrarveðra. Einnig voru helstu þættir er hafa áhrif á kjarnatökuna skráðir til að fylgjast með framgangi verksins. Bordýpi var skráð á fimm mínútna fresti ásamt skolmagni, þrýstingi á skolvatni, snúningshraða borkrónu og rafnotkun snúningsborðs. Fyrir verkið var ákveðið að bora kjarnann með kjarnaröri og demantskrónu sem eftirfarandi upplýsingar fylgdu frá framleiðanda:

Kjarnarör:

Tegund	UKR-185/100
Króna	212,7-295,3 mm
Lengd	5 m
Þvermál kjarna	100 mm
Gengjur	5 1/2 FH, API

Kjarnakróna:

Tegund borkrónu	KRS 214,3/100S
Framleiðandi	NPP "Buramlaz" (Rússl.)
Fjöldi karata framan á krónu	5-7 spc (stones per carat)
- " - á hlið krónu	0,3-0,8 spc
Kjarnagrind	fingragrind
Álag á borkrónu	6-9 tonn
Snúningshraði	60-100 sn/mín.
Skolmagn	18-24 l/s

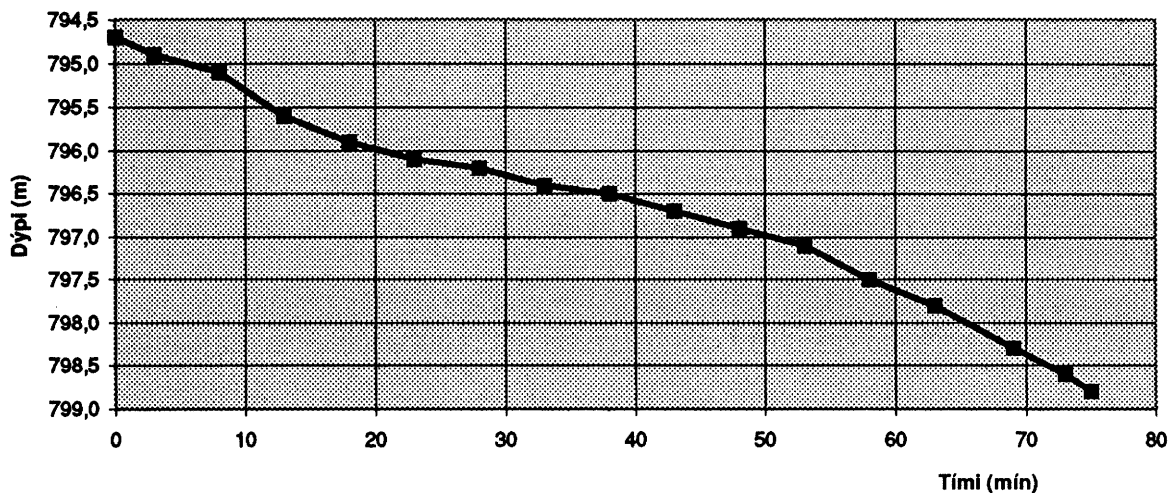
Tafla 4 sýnir sundurliðun tíma og tafla 5 og mynd 4 hver skilyrðin urðu í reynd við kjarnatökuna. Eftir að kjarninn kom upp úr holunni var hann losaður úr kjaranarörinu og mældist 2,1 m að lengd. Kjarnaheimta var því 61%. Það verður að teljast allgóð heimta miðað við að borað var í ummyndað og sprungið móberg.

Tafla 4. Sundurliðun tíma við borun kjarna.

10 janúar 1995	
1. Borun hætt á 794,7 m dýpi	1:20
2. Hitamæling	3:00-5:00
3. Upptekt hefst	5:50
4. Upptekt borstanga lokið	8:30
5. Ruslakarfan sett niður	9:30
6. Safnað í kórflu ("junk basket")	16:00-16:30
7. Karfan uppi	19:30
8. Kjarnarör í snúningsborði	21:30
9. Niðursetning kjarnarörs hefst	22:30
11. janúar 1995	
10. Kjarnarör 4 m frá botni - skolun	2:55
11. Kjarnatöku lokið, 4,1 m boraðir	4:42
12. Kjarnarör kom upp	10:30
13. Lokið við frágang kjarna	11:30
14. Vatnsborðsmæling og eftirl. með holu	12:00
15. Kollar sprungumældir og niðursetning	
16. Borun hefst aftur á 798,8 m	24:00
Heildartími við töku kjarna 46,8 klst (2 sólarhringar).	

Tafla 5. Yfirlit um kjarnatöku á 794,7-798,8 m dýpi í holu ÖJ-1

Tími	Bor-tími	Snúnings-hraði	Skol-vatn	Dælu-prýst.	Dýpi	Straum-notkun	Álag á krónu	Athugasemdir
Klukkan	(mín)	(sn/mín)	(l/s)	(psi)	(m)	(amper)	(lbsx1000)	
3:00		30	20,52			100	0	3-4 m frá botni
3:02		0		100				
3:05		30		170		120	4	
3:07		0	20,52	200			4	
3:10			20,90	90-200			2	
3:15			20,71	90				Skolun loka
3:20						190		Kúlu sleppt
3:25		78	16,91	90		190	0	Skol kom upp
3:27	0		16,91	90	794,7	190	5	Borun hefst
3:30	3	80	16,72	150	794,9	190	6	
3:35	8	80	16,53	150	795,1	200	6	
3:40	13		16,53	190	795,6	200	10	
3:45	18		16,53	190	795,9	200	10	
3:50	23		16,53	200	796,1	200	12	
3:55	28		16,53	205	796,2	200	12	
4:00	33		16,53	210	796,4	200	10	
4:05	38		16,53	190	796,5	200	12	
4:10	43		16,72	190	796,7	200	12	
4:15	48		16,72	195	796,9	200	12	
4:20	53		16,53	200	797,1	200	12	
4:25	58		16,53	200-230	797,5	200	12	
4:30	63	80	16,53	190	797,8	200	12	
4:36	69		16,72	200-240	798,3	200	12	
4:40	73		16,53	200-260	798,6	200	12	
4:42	75		16,53	200	798,8	200	12-0	
4:47	80		16,53		798,8		0	



Mynd 4. Yfirlit um borun kjarna

4. JARÐLÖG, UMMYNDUN OG VATNSÆÐAR

Eins og áður voru sýni tekin með tveggja metra bili niður í 825 m dýpi. Eftir það var borað í algjöru skoltapi og fengust því engin svarfkorn til yfborðs. Sýnin voru greind á staðnum. Jarðlagasnið hefur verið teiknað ásamt vatnsæðum, borhraða og dreifingu ummyndunarsteinda (mynd 5). Á mynd 6 er jarðlagasniðið jafnframt teiknað ásamt jarðlagamælingum, vídd og borhraða.

Berglögin á 781-825 m dýpi eru móberg að mestum hluta, en mögulega er einnig um fínkorna innskot sem virðast minna ummyndað en móbergið í kring. Óvíst er hvort innskotin séu jafnaldra móberginu. Móbergið er mjög ummyndað. Ef mið er tekið af jarðlagamælingum neðan þess sem svarfheimtan náði má ætla að mestur hluti jarðlaganna sé móberg. Er þar einkum miðað við lágt og jafnt viðnám og nifteindir. Gammamæling sýnir einnig lítil frávik. Á um 870-880 m dýpi kemur fram lækun í gammamælingu sem frestandi er að túlka sem skil á milli móbergsmyndana (breyting á efnafræði bergsins). Á svipuðu dýpi verður einnig breyting í nifteindamælingunni. Nokkurt álitamál er með túlkun mælinga við vatnsæðarnar á um 825 m og um 950 m dýpi. Millirennslí var í holunni og rann inn í holuna úr þessum æðum og niður í botnæð, og hefur verið leitt að því líkur að gasútsteymi úr æðunum valdi þeim feikna útslögum sem greinast við æðarnar.

5. BORHOLUMÆLINGAR

Í töflu 6 eru skráðar allar borholumælingar, sem gerðar voru í þriðja áfanga borunar holu ÖJ-1. Alls eru þetta 45 mælingar þegar allt er talið, og eru hitamælingar alls 13 talsins. Nokkrar hitamælinganna voru gerðar í tengslum við kjarnatökuna, en aðrar mælingar voru gerðar eftir að komið var í 1035 m, sem varð lokadýpi holunnar.

Hitamælingar eru flokkaðar og sýndar á mynd 7. Fyrsta mælingin var gerð í stöngum þegar komið var í kjarnatökudýpi (795 m). Skoltap í holunni var þá yfir 20 l/s og hiti við borkrónu um 20°C. Eftir kjarnatökuna 11. janúar var dæling tekin af og fylgst með þrýstingi á 395 m dýpi í holunni til að meta stöðugt vatnsborð hennar. Samkvæmt mælingunni féll vatnsborð á einni klukkustund eftir dælingu úr 110 m (við 11 l/s dælingu) í 340 m. Vatnsborð var enn að falla í lok mælitímans, en lögun ferilsins bendir til stöðugs vatnsborðs á 350-370 m dýpi (sjá mynd 8). Eftir þrýstimælinguna var holan hitamæld til að kanna upphitun. Mælingin er sýnd á mynd 7. Í ljós kom að upphitun var frekar hæg og var mælingu hætt í tæplega 600 m dýpi.

Næstu hitamælingar voru gerðar í stöngum 15.-16. janúar eftir að komið var í 1035 m dýpi. Illviðráðanlegt hrun kom í holuna við stangaribætingu á 1019 m dýpi, og féll stöðugt undir krónu. Þrátt fyrir þetta tókst að bora í 1035 m, en síðan ekki meir. Botnfall í holu var þá um 20-25 m. Tilgangur mælinganna var að finna helstu vatnsæðar og kanna upphitun holunnar. Á sama tíma voru gerðar þrepprófanir á holunni til að meta lekt. Dælt var á holuna á meðan mælt var, en mismiklu magni, líkt og sjá má á mynd 10. Dælt var utan með borstrengnum, en vegna botnlokans (einstreymislokans) í strengnum var einn sekúndulítri látinn renna niður strenginn til að tryggja sama þrýsting innan og utan borstrengs. Þetta var nauðsynlegt vegna þrýstimælinga þrepprófunarinnar. Hitamælingarnar leiddu í ljós millirennslí í holunni þrátt fyrir ádælingu. Streymdi inn um æðar á um 820-825, og 960 m dýpi, útsteymi var um æð niður undir holubotni. Þrepprófunin sýndi að holan væri flóðopin og breyttist þrýstingur ekki

Þótt dæling væri aukin úr 9 l/s í 18 l/s. Þegar þetta lá ljóst fyrir var ákveðið að hætta borun holunnar og fara í upptekt og lokafrágang.

Allar hitamælingar eftir borun (sjá mynd 7) sýna millirensli í holunni. Þetta eru mælingar eftir upptekt og síðan mælingar sem gerðar voru við þrepaðælingu eftir að leiðara hafði verið komið fyrir í holunni. Innstreymi var líkt og áður um efri æðar, þ.e. á 820-825 og 960 m dýpi, en einnig sést umtalsvert innstreymi á um 950 m dýpi og minni háttar æð á um 805 m dýpi. Botnfall eftir borun náði upp í 1010 m dýpi og er æðin sem tekur við millirenslinu annaðhvort alveg við botnfallið eða hreinlega niðri í því.

Áður en holan var fódruð með leiðara voru jarðlög mæld og vídd holunnar. Mælt var yfir allt dýptarbilið frá fódringu í botn og mæligildi skráð á 50 cm fresti líkt og venja er. Holan reyndist mjög svo útvöskuð, mest þó neðan 1000 m dýpis. Þar sýndi víddarmælirinn fullt útslag (26") niður undir botnfallið, sem náði eins og áður segir upp í 1010 m dýpi. Minnst er lauslega á niðurstöður víddar- og jarðlagmælinganna í kaflanum um jarðlög hér að framan og þær sýndar á mynd 6, en nánar verður fjallað um þær mælingar í lokaskýrslu um holuna.

Að lokum skal bent á að mælt var sérstaklega yfir dýptarbilið 780-810 m, vegna borkjarnans frá 795-799 m dýpi. Mæligildi voru skráð á 10 cm fresti og varð m.a. af þeim ástæðum að fara sérstaklega hægt með mælitólin yfir dýptarbilið. Niðurstöður þessara nákvæmnismælinga verða bornar saman við þær upplýsingar sem fást við athuganir og mælingar á borkjarnanum.

6. PREPADÆLING

Kvöldið 21. janúar 1995 var þrepaðelt á holu ÖJ-1 til að meta lekt jarðhitakerfisins er hún sker. Prófunin hófst á því að mæla þrýsting niður holuna um kl.17:30, en þá var dælt í hana 17,8 l/s. Dæling hafði verið þannig í nokkurn tíma eftir að leiðari hafði verið settur í holuna. Við þessa dælingu fannst vatnsborð á um 312 m dýpi. Vitað var út frá fyrri mælingum um millirensli úr vatnsæðum á um 824 m dýpi og 950-960 m dýpi og til botns holunnar á um 1013 m dýpi, en holan er boruð í um 1035 m. Einnig var talið að gas kæmi inn í holuna við þessar æðar, sérstaklega við æðina á 824 m dýpi. Eins og sjá má á mynd 9 verður þrýstimælirinn fyrir verulegum truflunum er hann fer í gegnum innstreymið frá æðunum. Er búið var að mæla þrýsting niður holuna var hiti mældur frá botni og upp í 780 m dýpi, en þar var mælir látinn vera í þrepaðælingunni.

Þegar mælir hafði jafnað sig eftir hitabreytingar var dæling aukin í 27,3 l/s. Því magni var dælt í rúma tvo tíma, en þá var dæling aftur minnkuð í 17,8 l/s. Þannig var dæling í um tvo tíma, en þá var hún minnkuð í 9,9 l/s og haldið þannig út prófunina í um einn og hálfan tíma. Mælingum var lokið um kl.1:00 aðfaranótt 22. janúars. Eftir að dælt hafði verið í rúman klukkutíma í hverju þrepi var mældur þrýstingsstigull niður í botn holunnar og hiti frá botni og upp í 780 m dýpi. Þrýstingsstiglarnir og hitamælingarnar eru sýndar á myndum 9 og 10.

Mjög lítilla þrýstingsbreytinga varð vart í þrepaðælingunni og þær breytingar sem sáust voru með öfugum formerkjum við það sem búast mátti við. Þannig sýndi þrýstimælirinn þrýstingslækkun þegar dæling var aukin í 27,3 l/s og þrýstingshækkun er dæling var minnkuð. Augljóst var strax meðan á mælingum stóð að ekki yrði hægt að nota þrýstingsbreytingarnar til að meta lekt við holuna. Túlkun mælingana er því takmörkuð. Út frá hitaferlunum við mismunandi ádælingu og hitamælingum gerðum síðar í holunni má áætla innrennslið í hana. Ef reiknað er

með að innrennslshiti við æðina á 824 m hafi verið um 185°C og um 189°C við æðarnar á 950-960 m fæst að innstreymið á 824 m er um 9,1 l/s og á 950-960 m um 15,2 l/s. Samkvæmt hitamælingunum breytist þetta rennsli mjög lítið þó ádælingunni sé breytt milli 9,9 l/s og 27,3 l/s. Stöðugt innstreymi í holuna þrátt fyrir 27,3 l/s ádælingu er því rúmir 24 l/s. Vatnsæðin við botn holunnar er því að gleypa yfir 51 l/s án þess að þrýstingur breytist mikið í holunni. Það er því ljóst að lekt botnæðarinnar er með því mesta sem mælist í borholum og er lekt hennar að minnsta kosti stærðargráðu hærri en hæsta lekt mæld á Nesjavöllum ($kh/\mu = 8.0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$).

Ef þrýstingsstiglarnir innan fóðringar eru framlengdir niður holuna skerast þeir við botnæðina við um 65 bar þrýsting. Botnæðin er sú æð sem stjórnar þrýstingi í holunni við þrepadælinguna. Þar sem æðarnar á 824 m dýpi og 950-960 m dýpi gefa innrennsli í holuna getur þrýstingur þeirra verið eitthvað hærri en framlengin þrýstingsstiglanna á þau dýpi gefur (46,8 bar og 59,4 bar).

7. HEIMILDIR

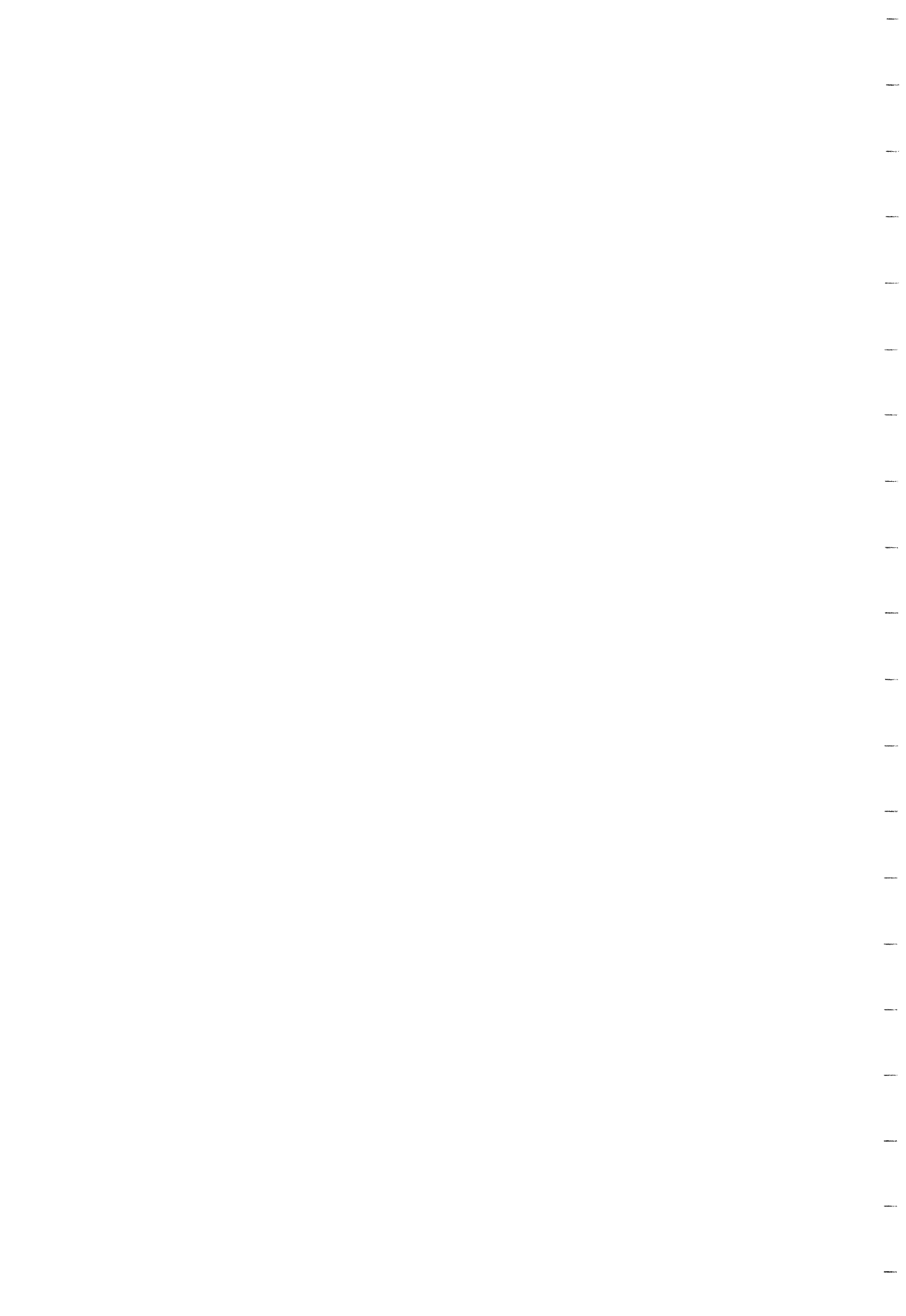
Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn og Sigurður Benediktsson, 1994. ÖLKELDUHSSVÆÐI Hola ÖJ-1, 1.áfangi: Höggborun og borun fyrir 13 3/8" fóðringu í 309 m dýpi. Orkustofnun, OS-94056/JHD-33 B.

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn, Ómar Sigurðsson og Sigurður Benediktsson, 1995. ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI Hola Öj-1, 2.áfangi: Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 309 m í 781 m dýpi. Orkustofnun, OS-95001/JHD-01 B.

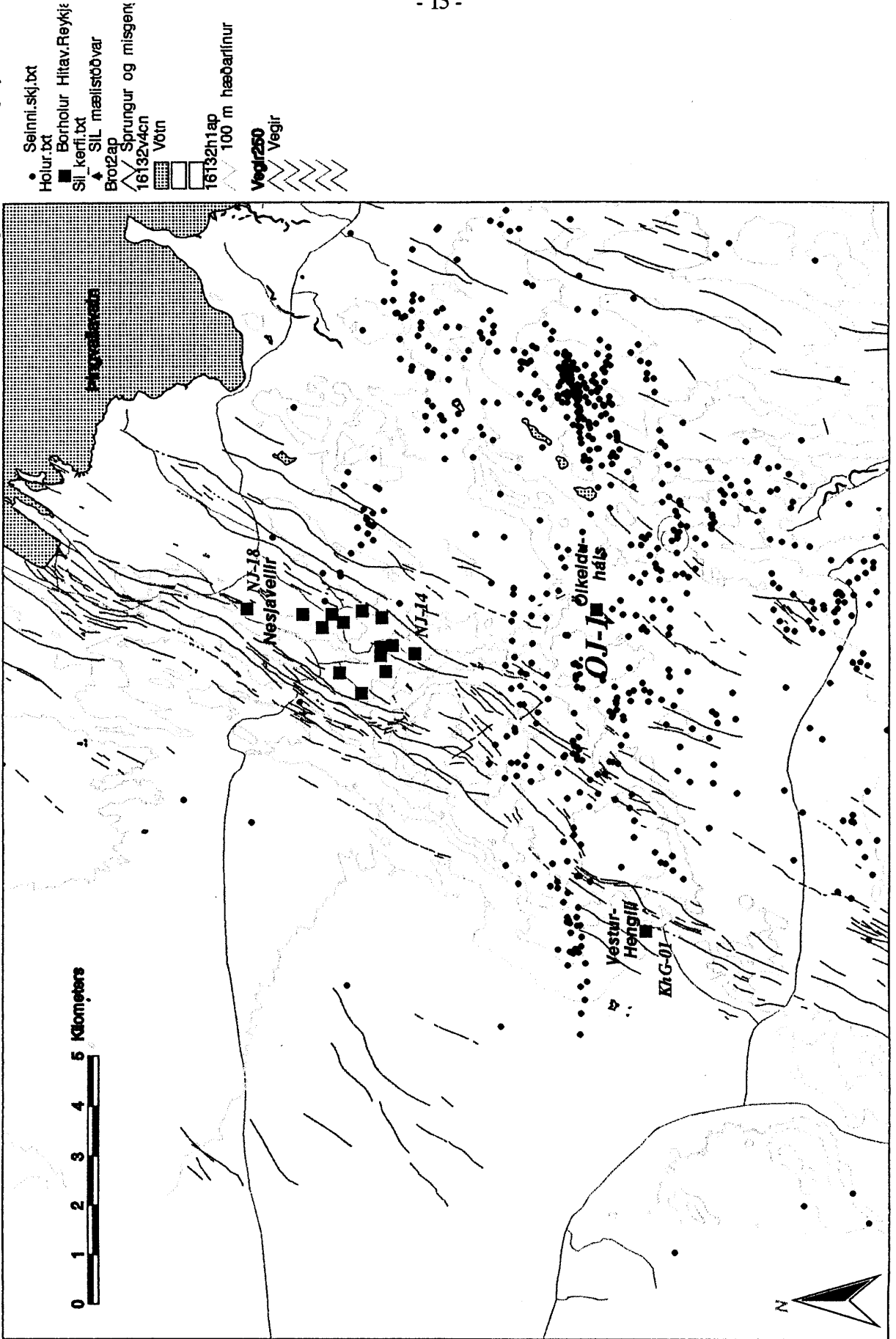
Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson, Sigurður Benediktsson, Einar Gunnlaugsson og Benedikt Steingrímsson, 1994. Rannsóknarhola á Ölkelduhálssvæði - Hönnun og verklýsing. Orkustofnun, OS-94009/JHD-04 B.

Tafla 6. Borholumælingar í 3. áfanga

Svunta	Dags	Upphafstími	Lokastími	Mæling	Upphafsdýpi (m)	Lokadýpi (m)	Athugasemdir
15581	10-01-1995	03:25	03:50	Hiti (°C)	200	790	Niður í stöngum Ádæling 23 l/s
15582	10-01-1995	04:15	04:18	Hiti (°C)	700	790	Niður í stöngum. Engin dæling
15631	11-01-1995	14:30	16:30	Hiti (°C)	110	590	Engin dæling
15626	15-01-1995	16:50	17:30	Hiti (°C)	371	988	Ád. 18 l/s+1 í stöngum frá kl. 17:00
15627	15-01-1995	17:40	17:55	Þrýstingur (Bar)	0	500	Ád. 18 l/s+1 í stöngum* frá kl. 17:00
15628	15-01-1995	18:18	18:34	Hiti (°C)	500	990	Ád. 9 l/s+1 í stöngum síðan kl. 17
15629	15-01-1995	20:30	21:30	Hiti (°C)	360	840	Ádæling 5 l/s
15630	16-01-1995	08:20	09:10	Hiti (°C)	385	1007	Ád. 19 l/s+1 í stöngum
15639	20-01-1995	13:40	14:10	Hiti (°C)	330	1009	Eftir upptekt
15640	20-01-1995	15:00	15:20	XY-vídd X hluti	750	810	Mælt sérstaklega vegna kjarna
15641	20-01-1995	15:20	15:40	XY-vídd X hluti	755	810	Endurmælt vegna bilunar í Y-hluta. Lagaðist ekki.
15642	20-01-1995	15:40	17:00	XY-vídd X hluti	0	1009	Mæliprógram
15643	20-01-1995	17:40	18:00	Gamma (API gu)	770	810	Vegna kjarna. Loghraði 3 m/mín; Skráð á 10 sm fresti
15644	20-01-1995	18:40	19:00	Gamma (API gu)	770	830	Vegna kjarna. Loghraði 3.3m/mín; Skráð á 10 sm fresti
15645	20-01-1995	19:00	19:15	Gamma (API gu)	770	840	Vegna kjarna. Loghraði 16 m/mín; Skráð á 50 sm fresti
15646	20-01-1995	18:00	18:40	Gamma (API gu)	770	1009	Loghraði 9 m/mín; Skráð á 50 sm fresti
15647	20-01-1995	19:25	19:40	Sjálfspenna (mV)	760	1009	Mælt niður á 16"-skauti
15648	20-01-1995	19:40	19:50	Sjálfspenna (mV)	760	1009	Mælt upp á 64"-skauti
15649	20-01-1995	19:40	19:50	R16" (Ohmm)	760	1009	Straumur 10 mA. Fer í metnun í ca 825 m.
15650	20-01-1995	19:40	19:50	R64" (Ohmm)	760	1009	Straumur 10 mA. Fer í metnun í ca 825 m.
15651	20-01-1995	19:50	20:00	Sjálfspenna (mV)	760	840	Mælt niður á 16"-skauti. Loghraði 13; skráð á 10 sm fresti
15652	20-01-1995	19:50	20:00	R16" (Ohmm)	760	840	Straumur 10 mA. Logghraði 13; skráð á 10 sm fresti. Metnun
15653	20-01-1995	19:50	20:00	R64" (Ohm)	760	840	Straumur 10 mA. Loghraði 13; skráð á 10 sm fresti. Metnun
15654	20-01-1995	20:00	20:10	R64" (Ohm)	770	840	Straumur 5 mA. Loghraði 15; skráð á 10 sm fresti.
15655	20-01-1995	20:00	20:10	R16" (Ohmm)	770	840	Straumur 5 mA. Loghraði 15; skráð á 10 sm fresti.
15656	20-01-1995	20:10	20:20	R16" (Ohmm)	770	840	Straumur Auto Loghraði 15; skráð á 50 sm fresti.
15657	20-01-1995	20:10	20:20	R64" (Ohm)	770	840	Straumur Auto Loghraði 15; skráð á 50 sm fresti.
15658	20-01-1995	20:20	20:30	R16" (Ohmm)	770	840	Straumur 1.2 mA Loghraði 15; skráð á 50 sm fresti.
15659	20-01-1995	20:20	20:30	R64" (Ohm)	770	840	Straumur 1.2 mA Loghraði 15; skráð á 50 sm fresti.
15660	20-01-1995	20:50	21:20	Hiti (°C)	320	1009	Eftir mæliprógramm Loggað á 5 m/mín við æðar.
15662	21-01-1995	01:40	02:10	Nifteindir (API nu)	770	1011	Mæliprógram. Mælt eftir viðgerð á mæli.
15664	21-01-1995	01:40	02:10	Gamma (API gu)	770	1011	Mæliprógram. Mælt eftir viðgerð á mæli.
15666	21-01-1995	02:10	02:30	Gamma (API gu)	770	830	Vegna kjarna. Skráð á 10 sm fresti Loghraði 4 m/mín
15667	21-01-1995	02:10	02:30	Nifteindir (API nu)	770	830	Vegna kjarna. Skráð á 10 sm fresti Loghraði 4 m/mín
15681	21-01-1995	17:55	18:10	Hiti (°C)	780	1010	Í þrepadælingu. Ádæling 17.8 l/s
15682	21-01-1995	20:00	20:10	Hiti (°C)	780	1010	Í þrepadælingu. Ádæling 27.3 l/s
15683	21-01-1995	22:05	22:17	Hiti (°C)	780	1010	Í þrepadælingu. Ádæling 17.8 l/s
15685	21-01-1995	17:30	17:55	Þrýstingur (Bar)	300	1010	Þrepadæling
15686	21-01-1995	19:52	20:00	Þrýstingur (Bar)	780	1010	Þrepadæling
15687	21-01-1995	22:00	22:05	Þrýstingur (Bar)	780	1010	Þrepadæling Ádæling 17.8 l/s
15689	21-01-1995	18:49	19:52	Þrýstingur (Bar)	780	780	Þrepadæling Rennsli breytt úr 17.8 l/s kl 18:49
15690	21-01-1995	20:53	22:00	Þrýstingur (Bar)	780	780	Þrepadæling Rennsli breytt úr 27.3 l/s kl 20:53
15691	21-01-1995	22:51	23:59	Þrýstingur (Bar)	780	780	Þrepadæling Rennsli breytt úr 17.8 l/s kl 22:51
15684	22-01-1995	00:00	00:15	Hiti (°C)	780	1010	Í þrepadælingu. Ádæling 9.9 l/s
15688	22-01-1995	00:20	00:40	Þrýstingur (Bar)	308	780	Þrepadæling

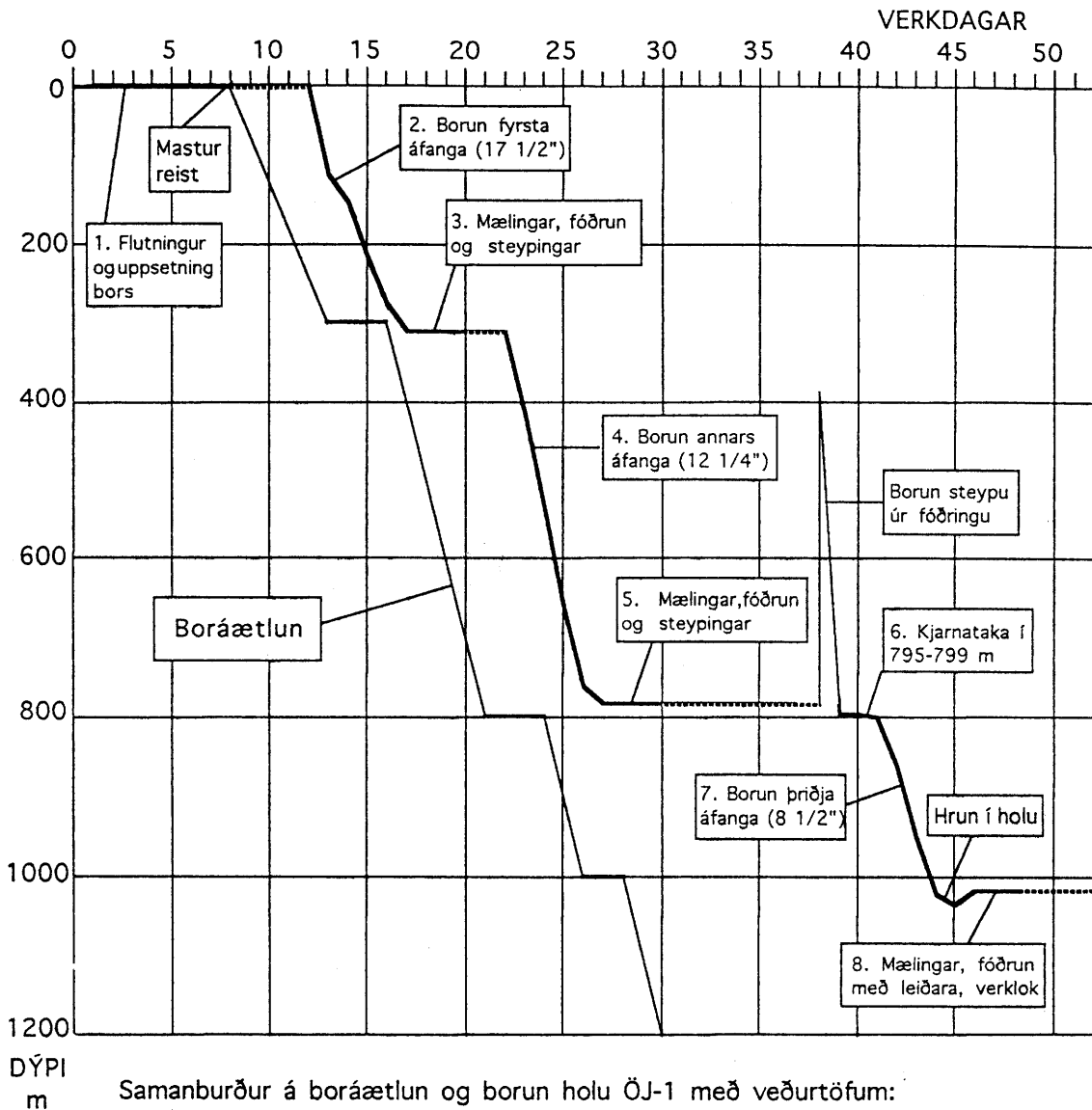


Mynd 1: Staðsetning holu ÖJ-1 og upptök jarðskjálfta á Hengilssvæði frá byrjun nóvember 1994 fram til 9. febrúar 1995 (SIL staðsetningar).



MYND 1. Kort sem sýnir staðsetningu holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

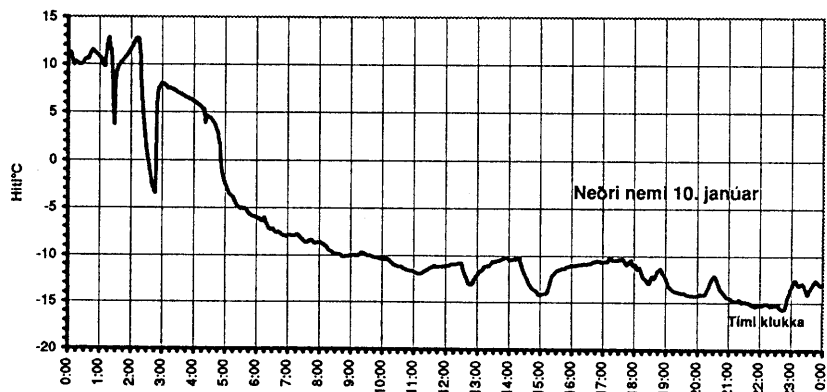
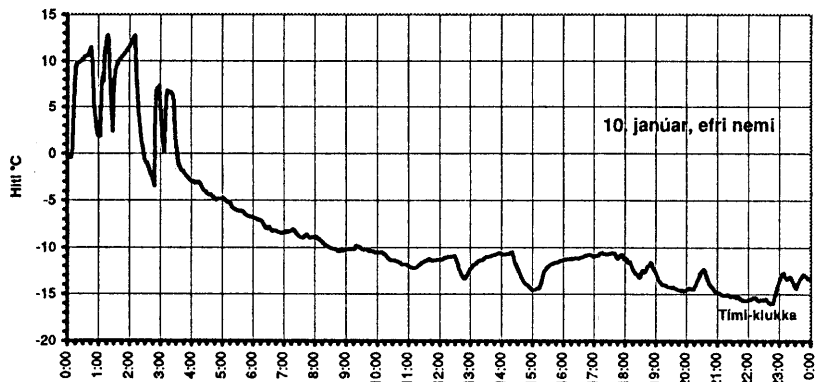
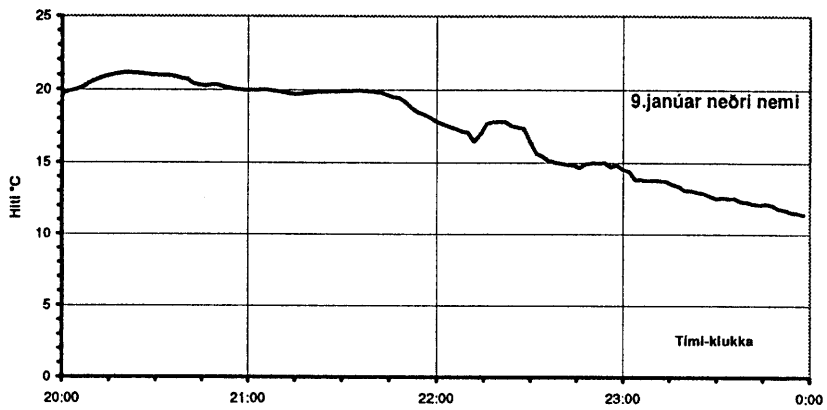
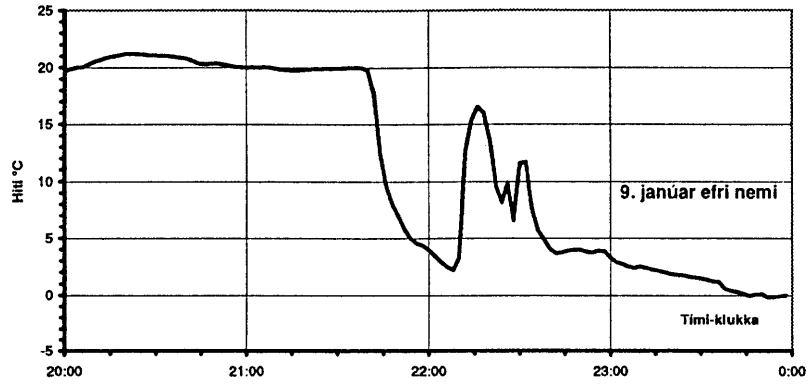
BORUN HOLU ÖJ-1 Á ÖLKELDUHÁLSI MEÐ JÖTNI
FYRIR HITAVEITU REYKJAVÍKUR



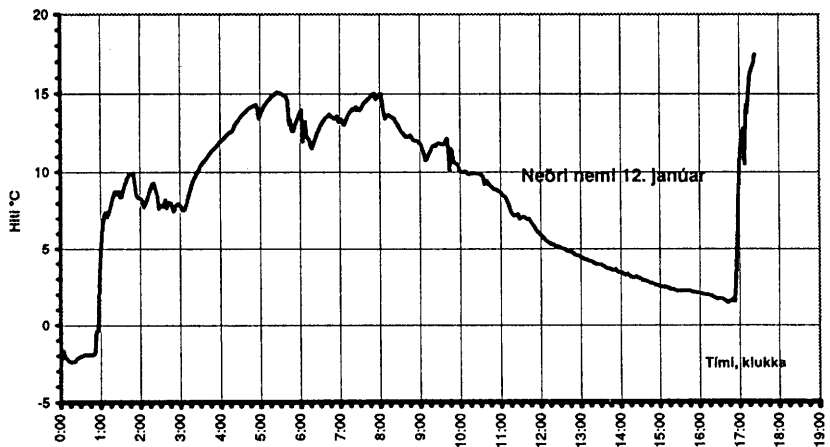
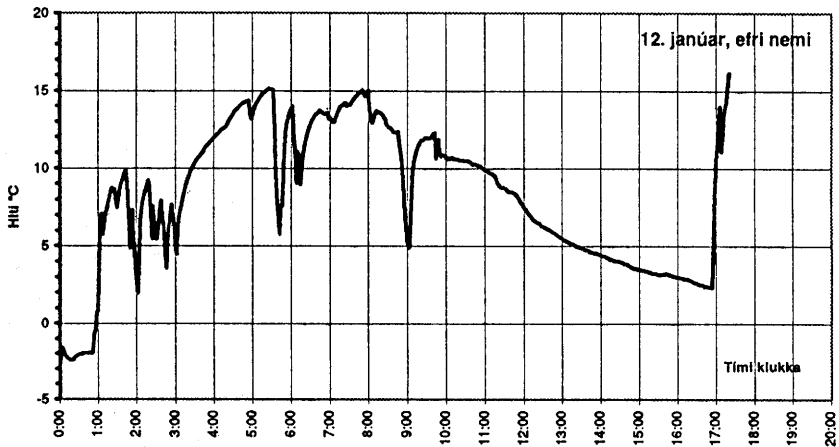
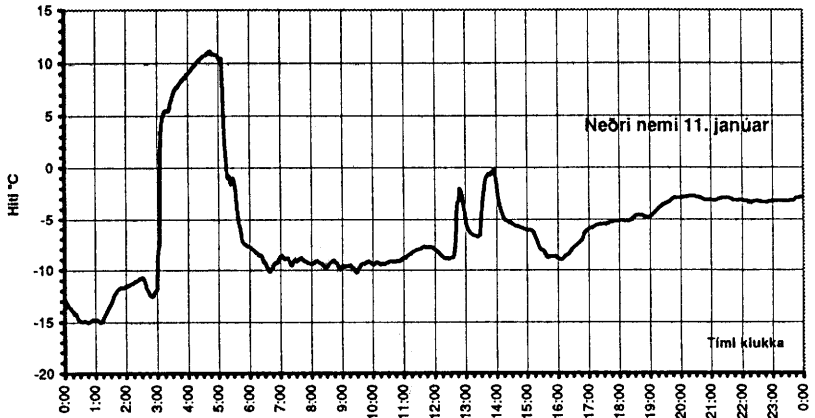
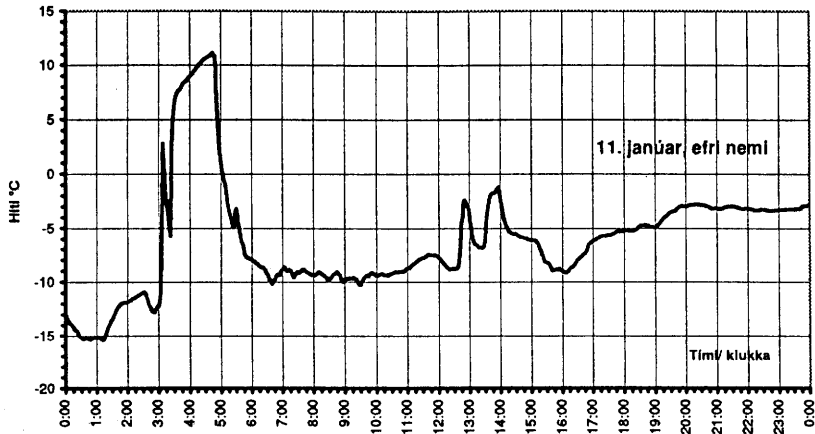
Samánburður á boráætlun og borun holu ÖJ-1 með veðurtöfum:

1. Flutningur og uppsetning bors fór 4 daga fram úr áætlun.
2. Borun fyrsta áfanga er samkvæmt áætlun.
3. Mælingar, fóðrun og steyping fóðringar fyrsta áfanga fór 2 daga fram úr áætlun (steyppt tvisvar).
4. Borun annars áfanga er samkvæmt áætlun.
5. Mælingar, fóðrun og steyping fóðringar annars áfanga fór 9 daga fram úr áætlun (steyppt þrisvar).
6. Kjarnataka í 799 m er samkvæmt áætlun.
7. Borun þriðja áfanga niður í 1035 m fór 2 dag fram úr áætlun (hrun).
8. Borun í hrunkafla, mælingar, fóðrun með leiðara og ádæling í verklok fór 6 daga fram úr áætlun, mastur verður ekki fellt nú vegna aðstæðna á borstað og vegatálma fyrir þungavinnutæki við Hengladalsá.

MYND 2. Framvinda borunar holu ÖJ-1 á Ölkelduhálssvæði.

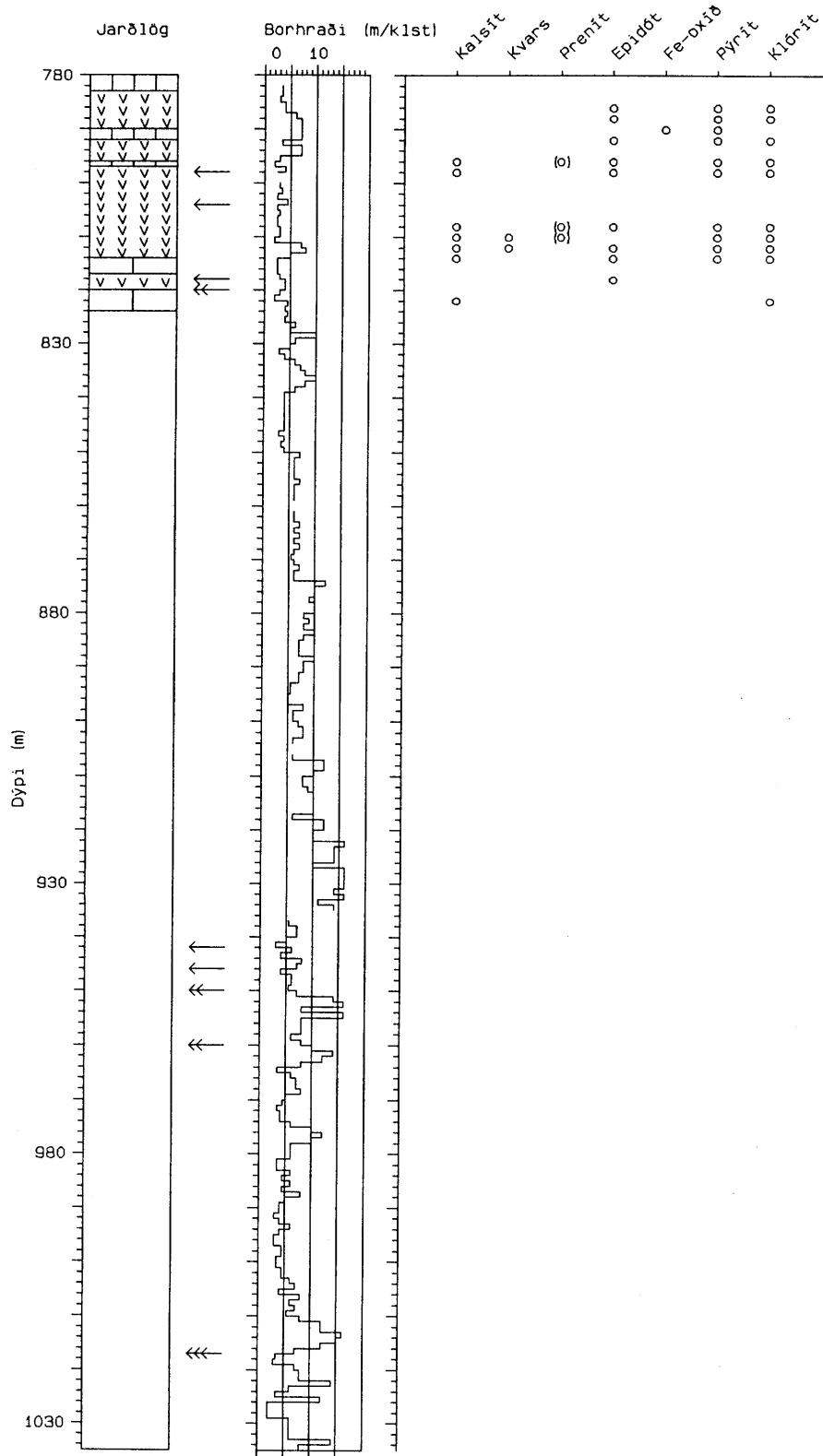


MYND 3. Hiti í svarfassa á meðan á borun 3. áfanga holu ÖJ-1 stóð.



MYND 3. (frh.) Hiti í svarfkassa á meðan á borun 3. áfanga holu ÖJ-1 stóð.

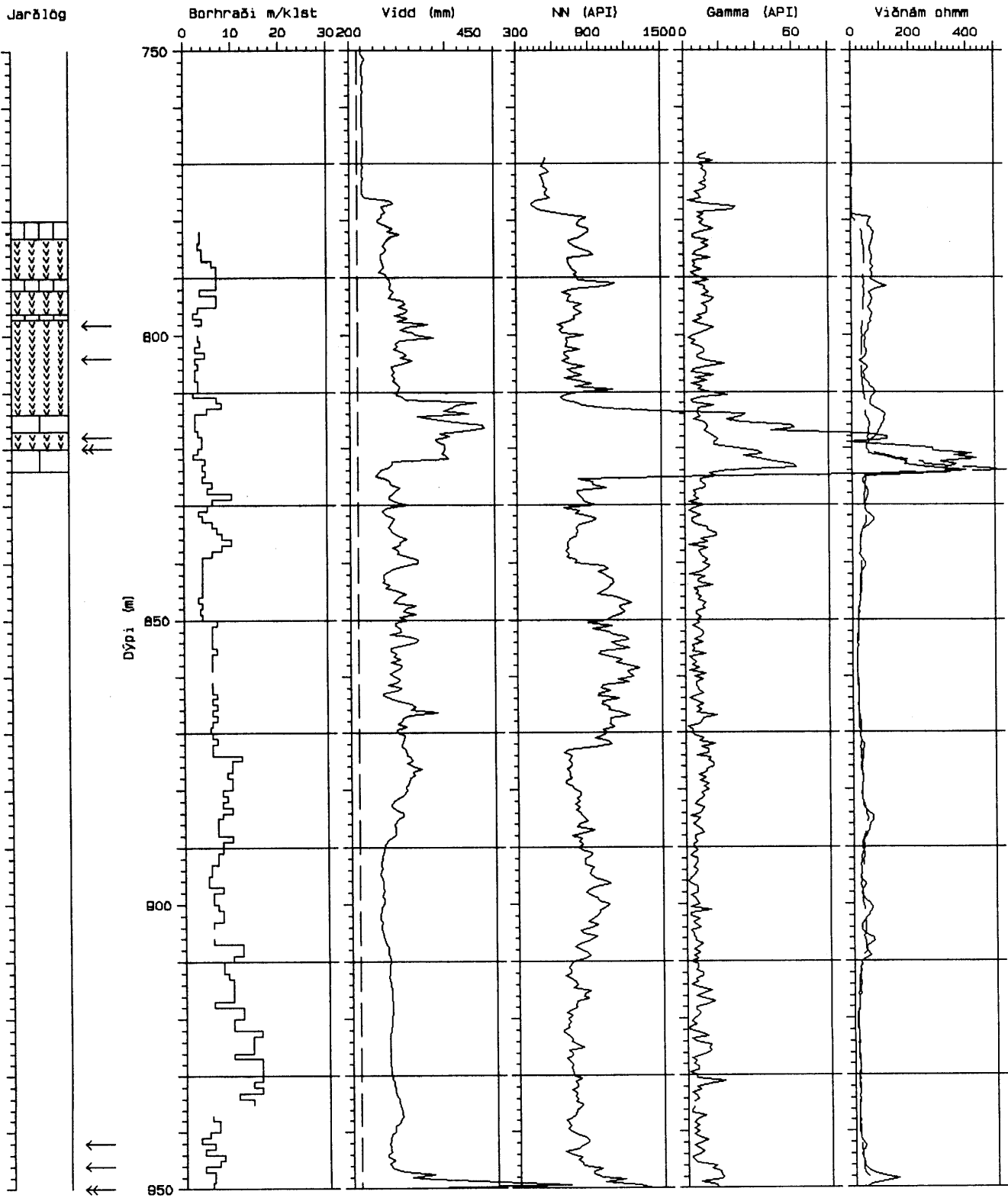
Ölkelduháls, hola ÖJ-1; Jarðlög, æðar, borhraði og ummyndun



MYND 5. Hola ÖJ-1. Einfaldað jarðlagasnið og ummyndun samkvæmt svarfgreiningu.

JHD-JF-8715 ÁsG
Fri Feb 24 16: 41: 28 1985

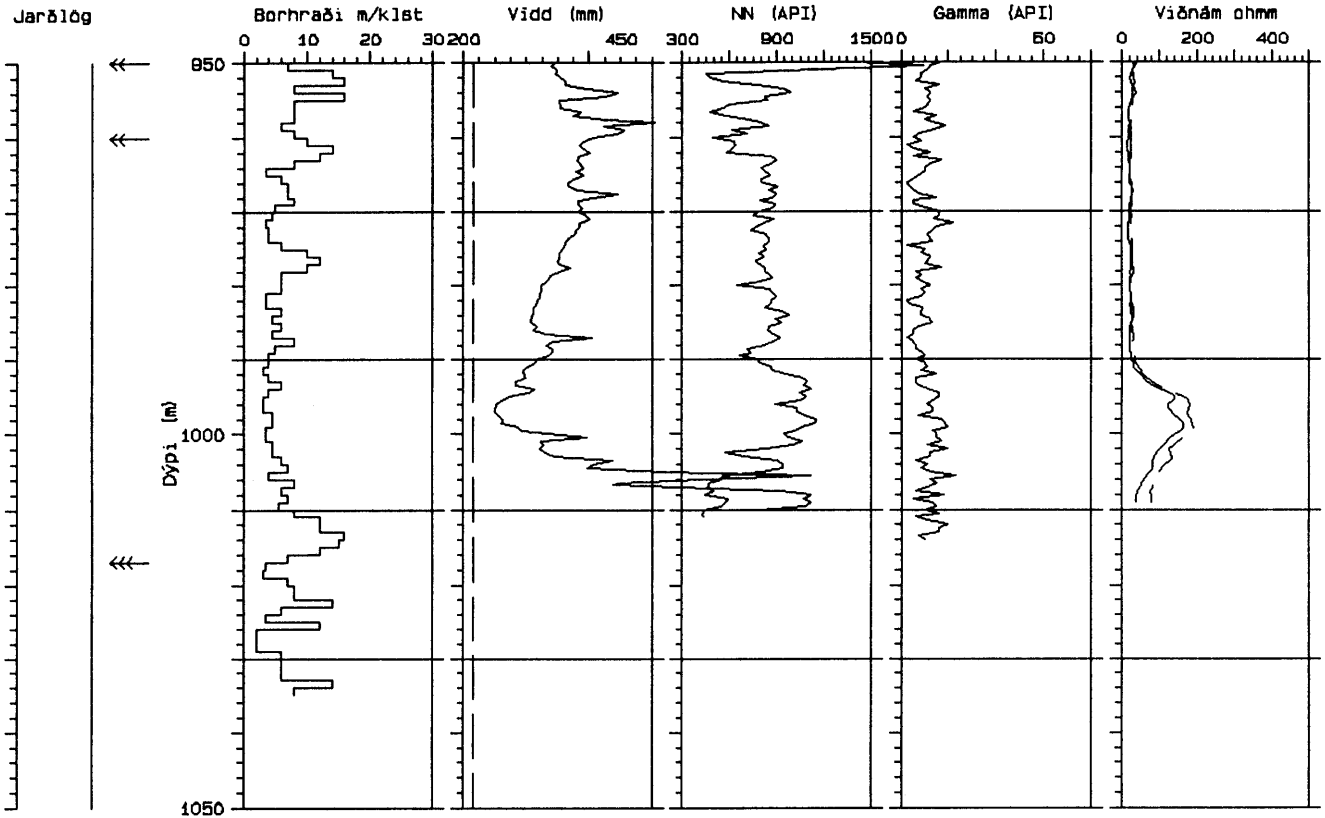
Ólkelduháls hola ÖJ-1 Jarðlagasnið og jarðlagamælingar



MYND 6. Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar í holu ÖJ-1.

JHD-JF-8715 ÁsG
Fri Feb 24 16: 43: 31 1985

Ólkelduháls og hola ÖJ-1 Jarðlagasnið og Jarðlagamælingar



Skýringar við jarðlagasnið

Fersklegt fín-meðalkorna basalt

Túff

Ummyndað fín-meðalkorna basalt

Svarf vantar

← : Lítil vatnsæð

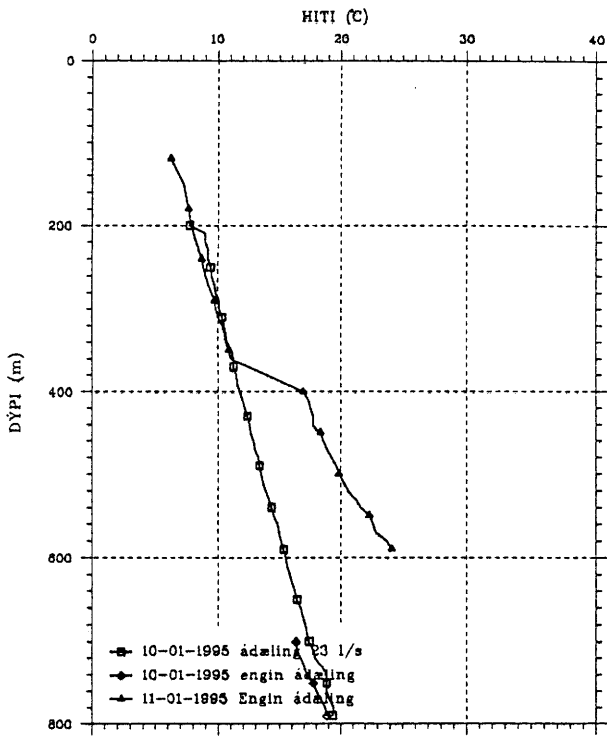
↔ : Stór vatnsæð

↔ : Meðal vatnsæð

MYND 6. (frh.) Jarðlög, vatnsæðar, borhraði og jarðlagamælingar í holu ÖJ-1 (frh.).

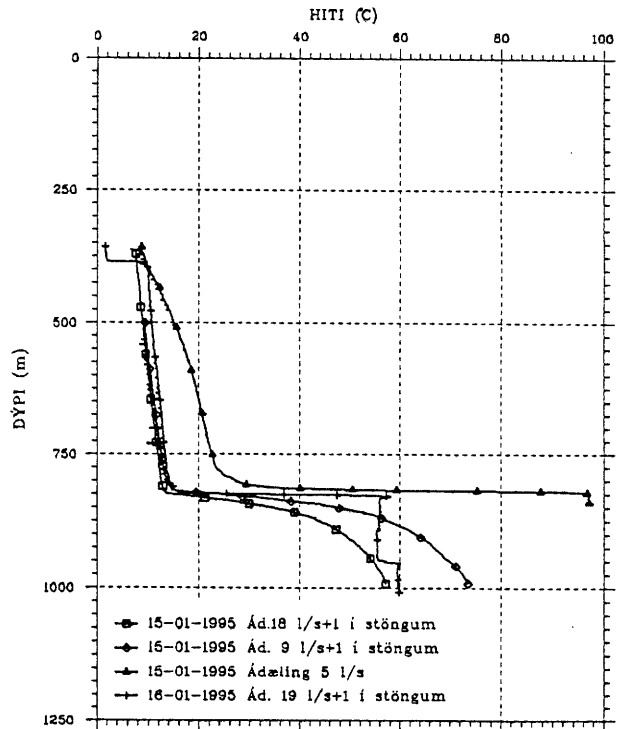
17 Feb 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Hitamælingar við kjarnatöku



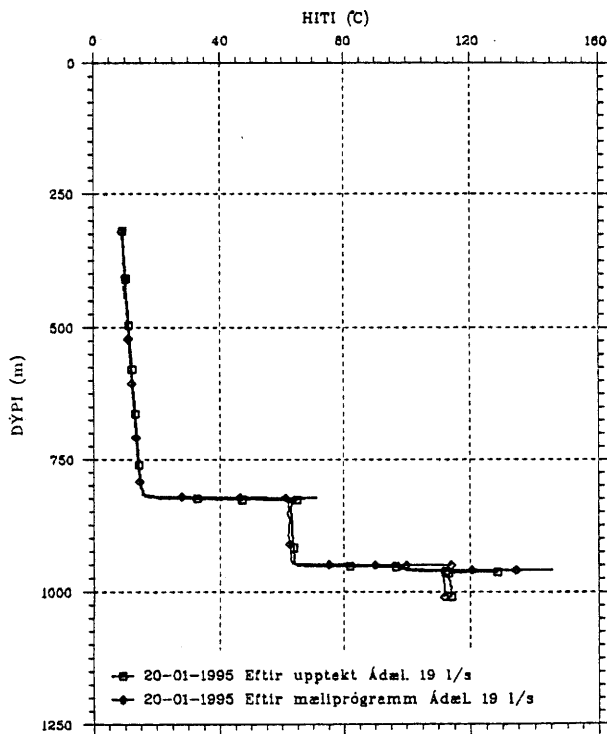
17 Feb 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Hitamælingar í stöngum



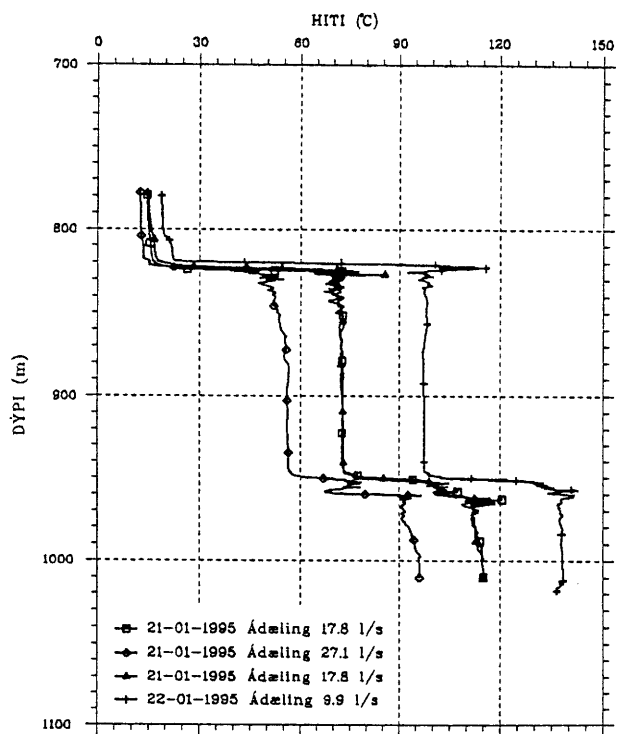
17 Feb 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Hitamælingar eftir upptekt

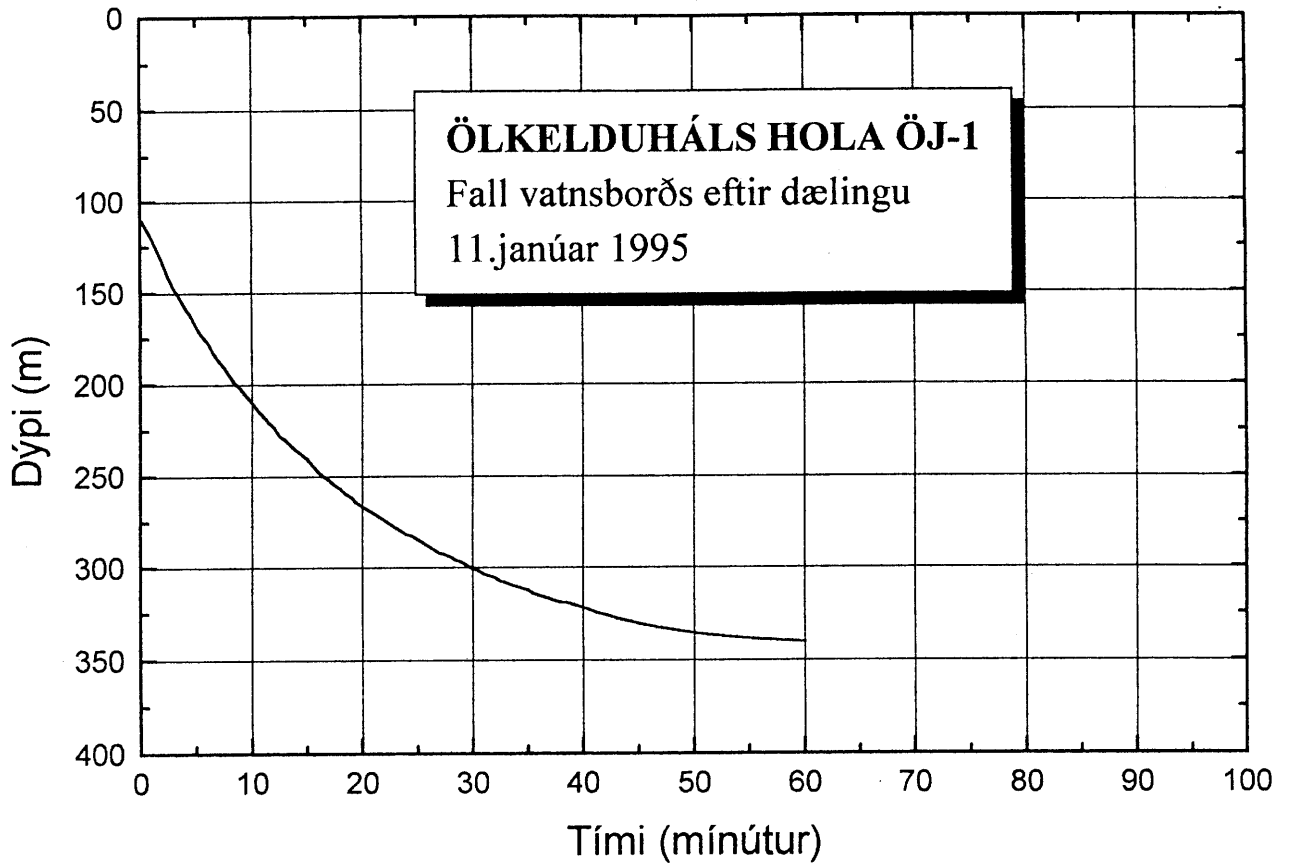


17 Feb 1995 bs
L= 95101 Oracle

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1
Hitamælingar í þrepadælingu



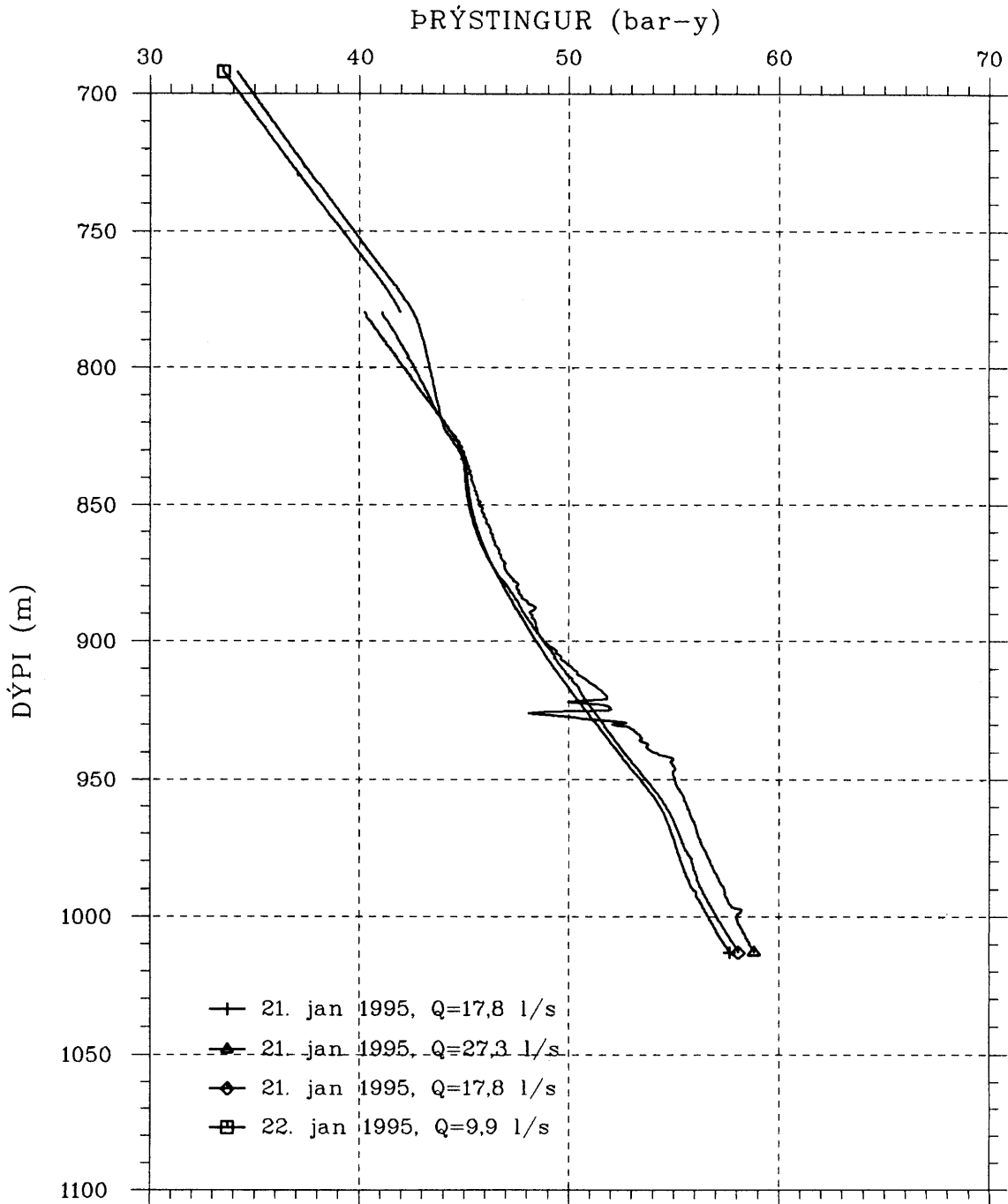
MYND 7. Hitamælingar í 3. áfanga borunar holu ÖJ-1.



MYND 8. Fall vatnsborðs eftir dælingu 11. janúar 1995.

31 Jan 1995 Ómar
L= 95101 Vinnsla

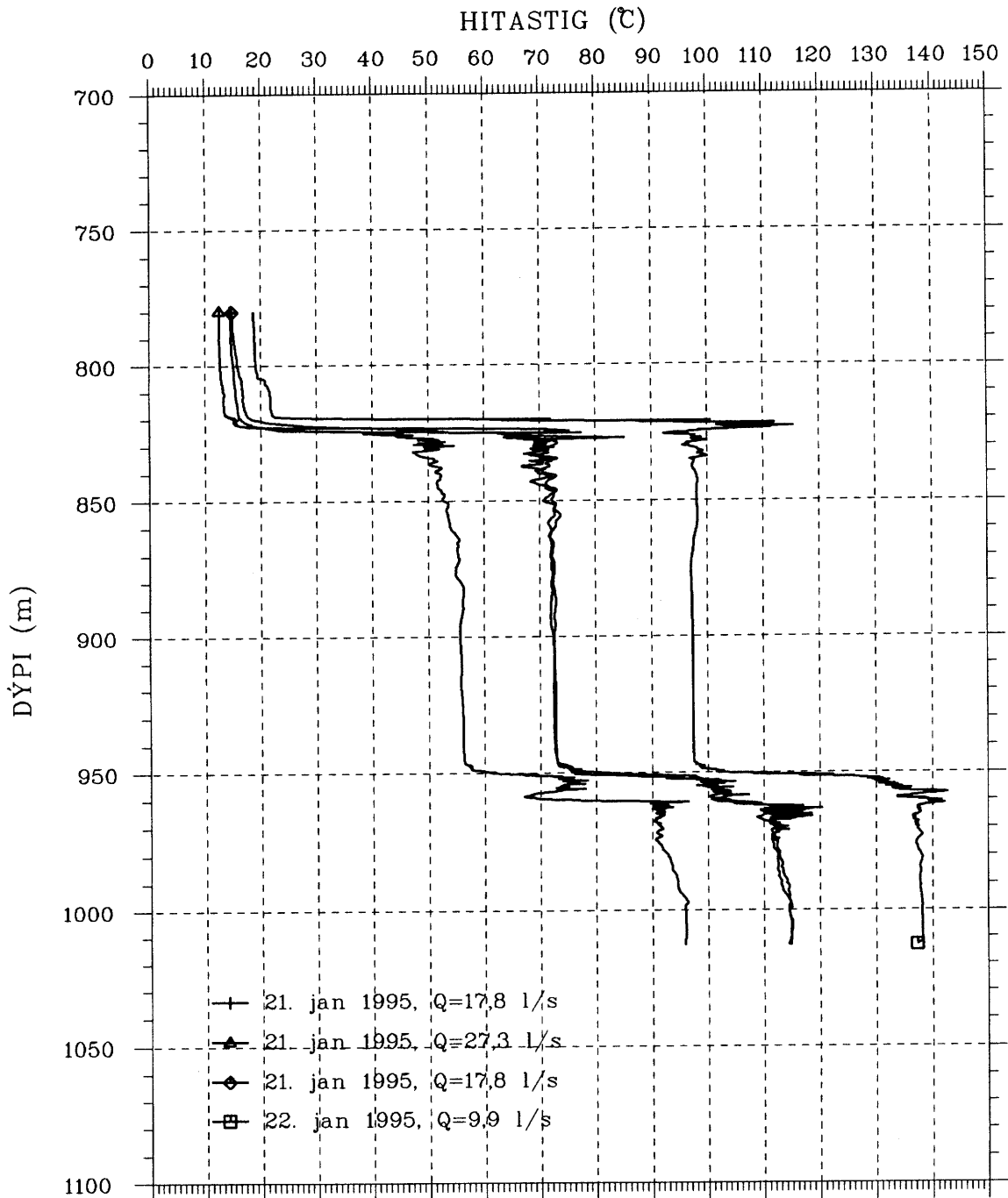
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1



MYND 9. Þrýstimælingar í þrepadælingu í holu ÖJ-1.

31 Jan 1995 Ómar
L= 95101 Vinnsla

ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar í þrepadælingu



MYND 10. Hitamælingar í þrepadælingu í holu ÖJ-1.

VIÐAUKI V-5

Borun holu ÖJ-1 - 4. áfangi

ÖLKELDUHÁLSSVÆÐI
Hola ÖJ-1, 4. áfangi
Upphitun, upphleyping og blástur

Benedikt Steingrímsson, Einar Gunnlaugsson,
Gestur Gíslason, Grímur Björnsson
og Ómar Sigurðsson

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-96003/JHD-07 B

Mars 1996

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. YFIRLIT YFIR TÍMABILIÐ 22. JANÚAR - 1. OKTÓBER 1995	3
3. MÆLINGAR Í UPPHITUN	4
4. UPPHLEYPING	5
5. AFL OG AFKÖST	6
6. EFNASAMSETNING JARÐHITAVÖKVANS	7
6.1 Mat á hita	7
6.2 Samsætumælingar	8
6.3 Vinnslueiginleikar jarðhitavökvans	8
7. HITI OG ÞRÝSTINGUR Í BLÆSTRI	9
8. LOKUN ÖJ-1 EFTIR BLÁSTURPRÓFUN	10
8.1 Holutoppsþrýstingur við lokun	10
8.2 Þrýstijöfnun holunnar eftir blástur	10
9. HEIMILDIR	11

TÖFLUSKRÁ

1. Mælingar í upphitun	4
2. Loftdæling á ÖJ-1 í júlí til ágúst 1995	6
3. Aflmælingar á holu ÖJ-1	6
4. Efnasamsetning djúpvatns í holu ÖJ-1	7
5. Efnahitamælar	8
6. ÖJ-1. Niðurstöður samsætumælinga	8
7. ÖJ-1. Ópalmettun	9
8. ÖJ-1. Samsetning gass í gufu	9

MYNDASKRÁ

1. Vatnsborð í upphitun	12
2. Hitamælingar í ádælingu í lok borunar og í byrjun upphitunar	13
3. Hitamælingar í upphitun	14
4. Þrýstimælingar í upphitun	15
5. Þrýstingur á 900 og 1000 m dýpi á upphitunartímabilinu	16
6. Samanburður aflferla	17
7. ÖJ-1. Aflmælingar	17
8. ÖJ-1. Samanburður á styrk efna	18
9. ÖJ-1. Efnajafnvægi	18
10. Samsætur	19
11. Kalsítmnettun	19
12. Hita- og þrýstimælingar í blæstri	20
13. ÖJ-1. Þrýstingur eftir lokun	20
14. Jöfnun þrýstings á 1000 m dýpi. Nálgun við sprungulíkan	21
15. Jöfnun þrýstings á 1000 m dýpi. Mæligildi ásamt mátferli fyrir sprungulíkan	21

1. INNGANGUR

Hola ÖJ-1 er fyrsta rannsóknarholan, sem boruð er á Ölkelduhálssvæðinu. Hún er á Ölkelduhálsi fyrir miðjum Þverárdal, rúmlega 2 km suðvestur frá Tjarnarhnjúk en um 1 km suðaustan Kýrgils. ÖJ-1 var höggboruð í 70 m dýpi í október 1994, en borun með jarðbornum Jötni hófst í lok nóvember og lauk á 1035 m dýpi þann 22. janúar 1995. Hönnun holunnar gerði ráð fyrir borun í allt að 2000 m dýpi (Sverrir Þórhallsson o.fl., 1994), en á rúmlega 1000 m dýpi lenti Jötunn í hrungjörnu bergi, sem ekki varð við ráðið, og var borun hætt.

Hola ÖJ-1 er fódruð með 9 5/8" vinnslufóðringu í 778 m dýpi, en 7"-leiðari er frá 735 í 1013 m dýpi. Stendur leiðarinn á botnfalli sem safnaðist í holuna vegna hrungjarna bergsins. Leiðarinn er allur raufaður, ef frá eru taldir efstu 26 metrarnir (tvö rör) sem eru heil. Holan skar nokkrar mjög opnar vatnsæðar. Helstu vatnsæðar vinnsluhlutans eru á um 825, 950, 960 og rétt neðan 1000 m dýpis. Dýpsta æðin er í hruninu í botni holunnar. Dýptartölurnar hér að ofan eru miðaðar við drifborð Jötuns, sem var tæplega 7 metra yfir jörð (kjallarabrun).

Framgangi borunar holu ÖJ-1 og rannsóknum á holunni á meðan á borun Jötuns stóð hefur verið lýst í þremur áfangaskýrslum (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1994, 1995a og 1995b). Í þeirri skýrslu, sem hér birtist, er fjallað um upphitun holunnar eftir borun, upphleypingu holunnar og blástursprófun og spannar skýrslan tímabilið 22. janúar til 25. september 1995. Þáttur Jarðhitadeildar í verkinu var unninn samkvæmt rannsóknasamningi milli Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar.

2. YFIRLIT YFIR TÍMABILIÐ 22. JANÚAR - 1. OKTÓBER 1995

Bormenn hættu dælingu í holu ÖJ-1 þann 22. janúar 1995 um kl 03 og lauk þar með eiginlegu borverki, og upphitun hennar eftir borun hófst. Athuganir á holunni síðustu daga borunarinnar höfðu sýnt að millirennsliríkti í holunni, enda þótt dælt væri stöðugt í hana vatni. Rann inn um æðar á um 825, 950 og 960 m, en út um botnæðina neðan 1000 m dýpis. Út frá hitamælingum var áætlað að framlag æða til millirennslisins væri um 25 l/s, óháð því hversu mikil ádæling bormanna var (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1995b).

Millirennslíð í holunni gerði það að verkum að innstreymisæðarnar í 825, 950 og 960 m dýpi voru nánast ókæðar eftir borunina, og ljóst að þær færu strax í fullan hita þegar slókt yrði á dælum Jötuns. Búast mátti því við mjög hraðri upphitun í holunni strax eftir borun, og líklegt að holan færi mjög fljótlega undir þrýsting. Hafist var þess vegna strax handa um að koma hljóðdeyfi og öðrum blástursbúnaði við holuna.

Fyrstu hita- og þrýstimælingarnar eftir borun ÖJ-1 voru gerðar 23. janúar og þær næstu þremur dögum síðar. Mælingarnar sýndu að millirennsliskafllinn neðan 800 m hefði hitnað strax í 180-190°C, en síðan hefði upphitunin verið mjög hæg, og var svo áfram. Blæðingartappa var komið fyrir í holutoppi, og fór holan fljótlega að pústa öðru hvoru í gegnum tappann, en gufu- og gasstreyni var aldrei það mikið að blæðingin hefði ekki undan. Þann 11. júlí var komið með loftpressu að holunni og lofti dælt á toppinn. Var haldið 30-40 bar þrýstingi á holutoppi fram til 9. ágúst, þegar holunni var hleypt í gos. Blástursprófunin stóð fram til 21. september og var fylgst reglulega með afli holunnar og tekin sýni til efnagreininga og samsætumælinga. Eftir lokun holunnar var síðan fylgst með þrýstijöfnun, og lækkun holutoppþrýstings í næstu daga.

Yfirlit um mælingar og aðrar aðgerðir sem gerðar voru á og í holu ÖJ-1 á tímabilinu 22. janúar til 1. október 1995 er sýnt í töflu 1.

Tafla 1. Mælingar í upphitun

Dagsetn.	Tími	Mælingar	Athugasemdir
95.01.22	03:00		Bormenn hætta dælingu (9,9 l/s)
95.01.23	12:20-13:30	Am-hitamæling	Vatnsborð 311 m
95.01.23	13:45-14:45	Am-þrýstimæling	
95.01.26	16:05-16:45	Go-hitamæling	Vatnsborð 302 m
95.01.26	16:50-17:30	Am-þrýstimæling	
95.01.26	17:45-18:45	Am-hitamæling	
95.02.08	12:30-13:10	GO-hitamæling	Vatnsborð 288 m
95.02.08	13:00-14:00	Am-þrýstimæling	
95.02.08	14:00-15:30	Am-hitamæling	
95.03.27	11:30-13:00	Ku-hitamæling	Vatnsborð 276 m
95.03.27	13:00-14:00	Am-þrýstimæling	
95.03.27	14:00-15:00	Am-hitamæling	
95.06.29	12:00-12:25	Go-hitamæling	Vatnsborð 274 m
95.06.29	12:53-13:24	Am-þrýstimæling	
95.06.29	13:40-15:06	Ku-hitamæling	
95.07.11	10:00		Byrjað að dæla lofti á holu
95.08.09	14:00		Upphleyping
95.08.30	13:00-14:45	Ku-hitamæling	Í blæstri Po=4 bar
95.08.30	15:10-16:30	Am-þrýstimæling	Í blæstri Po=4 bar
95.09.21	13:46		Blástursprófun lýkur
95.09.21	13:12-15:34	Am-þrýstimæling	Þrýstijöfnun

3. MÆLINGAR Í UPPHITUN

Upphitun holu ÖJ-1 stóð frá kl 03 aðfaranótt 22. janúar 1995, er kælingu vegna borverksins lauk, og til kl 14 þann 9. ágúst 1995, er blástursprófun holunnar hófst. Á þessu tímabili var farið fimm sinnum að holunni og hún hita- og þrýstimæld. Blæðingartappi var hafður í holu-toppnum og fór hola ekki undir þrýsting, þó heyrðist öðru hvoru smáhvæs frá holunni, sem benti til suðu undir vatnsyfirborði.

Vatnsborðbreytingar í holunni á upphitunartímanum eru sýndar á mynd 1. Í fyrstu mælingu 23. janúar var vatnsborð á um 311 m dýpi og hækkaði í 274 m fram til júniloka. Tvær vikurnar, eða svo, hækkaði vatnsborðið um 1-2 m/dag að meðaltali, en frá síðari hluta mars til júniloka er heildarhækkunin aðeins 2 m, sem sýnir glögg hve upphitun holunnar var orðin hæg, aðeins fáum vikum eftir borun.

Á mynd 2 eru sýndar fyrstu hitamælingarnar sem gerðar voru í upphitun, ásamt einni mælingu frá borlokum, þegar enn var dælt köldu vatni í holuna. Þá var bullandi rennsli milli æða í vinnsluhluta holunnar, eins og mælingin sýnir greinilega. Hitamælingin frá 23. janúar var gerð um hálfum öðrum sólarhring eftir að dælingu var hætt. Vegna millirennslins í borun var upphitun vinnsluhlutans mjög snögg og mældist hitinn þá neðan 800 m dýpis á bilinu 182-189°C og hækkaði einungis um 3-4°C á næstu þremur dögum (mynd 2).

Allar hitamælingarnar í upphitun ÖJ-1 eftir borun eru sýndar á mynd 3. Helstu hitabreytingarnar, sem sjást á myndinni, eru í fóðraða hluta holunnar ofan 800 m og má þar m.a. sjá kælipunkta við vatnsæðar sem tóku við köldu skolvatni í borun. Í síðustu hitamælingunni frá 29. júní fylgir hiti suðumarksferli fyrstu hundrað metrana frá vatnsborði, sem var á 274 m dýpi, en þar fyrir neðan eru flest ummerki um kælingu í borun horfin og hitinn á bilinu 190-199°C allt til holubotns. Telja verður að holan hafi verið komin í hitajafnvægi við bergið í síðustu mælingunni, enda vatnsborð orðið stöðugt eins og kom fram á mynd 1. Samkvæmt þessu er hola ÖJ-1 tengd hræringarvatnskerfi með vatnshita rétt tæplega 200°C.

Þrýstimælingarnar fimm, sem gerðar voru í upphitun holunnar, eru sýndar á mynd 4. Þar kemur fram hækkandi þrýstingur með tíma ofan 800 m dýpis, en litlar sem engar breytingar í vinnsluhlutanum. Endurspeglar þrýstimælingarnar í raun upphitun holunnar. Þrýstijafnvægi kemur gjarnan fram við helstu vinnsluæð háhitaholu, á meðan á upphitun holunnar stendur. Til að skoða þetta nánar var þrýstingur á 900 og 1000 m dýpi dreginn upp sem fall af tíma (mynd 5). Þær breytingar sem fram koma á myndinni eru innan skekkjumarka og er ekki hægt á grundvelli þrýstimælinga að segja til um hver opnasta æð holunnar er, þ.e. í 825, 950, 960 m eða botni. Það er þó ljóst að allar æðarnar eru mjög vel vatnsleiðandi. Sönnun á því hversu lek holan er má sjá á mynd 5, en þrýstipunkturinn, sem mældur var í lok ágúst, er úr holunni blásandi. Eins og sjá má af myndinni er niðurdráttur í blæstri hverfandi og innan skekkjumarka þrýstimælisins.

4. UPPHLEYPING

Strax eftir borun undir lok janúar var komið fyrir blástursbúnaði við holuna. Undirbúningur upphleypingar hófst þó ekki fyrr en á miðju sumri. Þá var komið með loftpressu á staðinn og lofti dælt á holutopp. Þá var vatnsborð í holunni á um 274 m dýpi. Síðan stóð holan undir þrýstingi í um 4 vikur. Tafla 2 sýnir yfirlit um toppþrýsting þennan tíma. Þegar loftinu var hleypt af holunni þann 9. ágúst kom hún í blástur. Á mynd 6 eru afköst holu ÖJ-1 borin saman við afköst borhola á Nesjavöllum og Kolviðarhóli. Þar sést að holu ÖJ-1 svipar til NJ-18 á Nesjavöllum, nema hvað vermið er lægra.

Tafla 2. Loftdæling á ÖJ-1 í júlíl til ágúst 1995

Dags.	Tími	Þrýstingur bar	Athugasemd
950711	10:00	0,0	Loftdæling hafin
950712		28,0	í gangi
950713	10:00	38,0	
950713	14:00	40,5	Dæla stöðvuð, hafði gengið í 26-29 klst.
950717	10:00	38,5	
950723	18:00	37,0	
950731		34,3	
950808		32,0	
950809	14:00	32,0	Upphleyping

5. AFL OG AFKÖST

Hola ÖJ-1 blés stöðugt frá 9. ágúst til 21. september 1995 eða í 43 daga. Allan tímann blés holan um 161 mm stút og 150 mm blendu. Á blásturstímanum var fylgst með afli og afköstum holunnar. Niðurstöður eru sýndar í töflu 3 og á mynd 7. Holutoppþrýstingur var einungis um 4 bar þann tíma sem holan blés og heildarrenslið um 30 kg/s. Vermí holunnar reiknaðist 880-900 kJ/kg sem samsvarar lítið eitt hærri hita en þeim sem mældist í holunni. Þetta samsvarar um 27 MW í varmaafli.

Tafla 3. Hola ÖJ-1, aflmælingar

Dagsetning	Po (barg)	Stútmæling		Vatnsmæling		Heildarrensli		Rensli v. 100°C		Varma- afl (MWth)
		Dc (mm)	Pc (barg)	Vh (mm)	rennsli (l/s)	Q (kg/s)	Ho (kJ/kg)	Gufa (kg/s)	Vatn (kg/s)	
09.08.95 14:23	4,1	161	0,40	200	24,68	29,7	878	6,0	23,6	26,1
09.08.95 14:42	4,1	161	0,40	200	24,68	29,7	878	6,0	23,6	26,1
09.08.95 15:50	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
10.08.95 13:40	3,9	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
12.08.95 15:40	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
14.08.95 15:20	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
16.08.95 10:20	4,0	161	0,50	200	24,68	30,3	915	6,7	23,6	27,7
23.08.95 14:20	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
30.08.95 10:30	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
13.09.95 00:00	4,0	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9
21.09.95 11:00	4,1	161	0,45	200	24,68	30,0	897	6,4	23,6	26,9

6. EFNASAMSETNING JARÐHITAVÖKVANS

Efnainnihald jarðhitavökvans má nota til að segja fyrir um jafnvægishita vökvans sem rennur í holuna, meta jafnvægisástand milli bergs og vatns og segja til um vinnslueiginleika. Á því tíma-bili sem hola ÖJ-1 blés voru tekin 6 sýni, nokkuð jafn dreifð yfir blásturstímabilið. Öll sýnin utan eitt voru tekin með sýnatökuskilju við holutopp, en daginn sem holunni var lokað var einnig tekið sýni af vatni sem soðið hafði í 100°C í hljóðdeyfi. Tafla 4 sýnir niðurstöður efnagreininga, þar sem vatn og gufa hafa verið reiknuð saman í einn vatnsfasa, og var notað vermið 843 kJ/kg, en það samsvarar þeim hita sem mældist í holunni, 198°C. Í töflunni er einnig efnasamsetning vatns sem soðið hefur í 100°C (sýni 95-5214).

Tafla 4. Efnasamsetning djúpvatns, vermi vatns = 840 kJ/kg

Dags. Sýni númer	16.08.95 5114	23.08.95 5201	30.08.95 5202	13.09.95 5211	21.09.95 5213	21.09.95 5214
Hitast. (°C)	198	198	198	198	198	100
Sýrust. pH/25°	5,76	6,14	6,10	5,70	6,16	9,60
CO ₂ (mg/kg)	497	309	338	432	333	28
H ₂ S (mg/kg)	48,1	30,1	31,5	122,3	32,9	13,4
SiO ₂ (mg/kg)	273	310	321	257	337	446
Na (mg/kg)	144	164	169	132	172	229
K (mg/kg)	14,6	19,4	18,3	13,1	17,1	22,9
Ca (mg/kg)	1,34	1,34	1,41	1,17	1,37	2,04
Mg (mg/kg)	0,0108	0,0072	0,0018	0,0188	0,0062	0,0020
SO ₄ (mg/kg)	46,7	47,0	34,2		33,6	47,1
Cl (mg/kg)	134	158	158	120	170	218
F (mg/kg)	0,81	0,78	0,81	0,58	0,79	1,06
Fe (mg/kg)	0,026	0,027	0,024	0,072	0,037	0,020
Al (mg/kg)	0,647	0,662	0,681	0,548	0,678	0,875

Þar sem langur tími leið frá því að borun holunnar lauk þar til að henni var hleypt upp, voru áhrif kælivatns sem notað er við borun hverfandi, og því litlar breytingar á efnasamsetningu einstakra sýna, eins og sést í töflu 4 og á mynd 8 þar sem styrkur valinna þátta er sýndur sem fall af tíma. Eitt sýni (95-5211) sker sig helst úr, en grunur leikur á að sýnatakan sé gölluð.

6.1 Mat á hita

Efnasamsetningu vatns og gufu má nota til að meta við hvaða hitastig jafnvægi hafi ríkt milli vökva og bergs. Í slíkum reikningum er ýmist stuðst við styrk efna í vatninu (t.d. SiO₂, CO₂, H₂S) eða hlutföll tveggja eða fleiri efna eða efnasambanda (t.d. Na/K, Na⁺/H⁺, ÖMg⁺²/H⁺). Það hitastig þar sem styrkur eða hlutfall efna í sýninu (Qsp) er það sama og fræðilega gildið (Ksp) er kallað jafnvægishitastig. Mynd 9 sýnir niðurstöður slíkra reikninga á sýni 95-5213 fyrir 9 efni eða efnahlutföll sem hafa reynst vel við túlkun við íslenskar aðstæður. Jafnvægishitinn ($\log(Qsp/Ksp) = 0$) er á bilinu 185-230°C fyrir 8 af efnunum, það níunda sýnir ekkert jafnvægi. Þetta tiltölulega þrönga hitasvið bendir til þess að í jarðhitakerfinu sem hola ÖJ-1 tekur vatn úr, sé efnafræðilegt jafnvægisástand milli bergs og vatns.

Í töflu 5 eru sýndar niðurstöður reikninga með þeim efnahitamælum sem best hafa reynst við

Tafla 5. ÖJ-1. Efnahitamælar

Sýni númer	Kvarts t(°C)	Na/K t(°C)	CO ₂ t(°C)	H ₂ S t(°C)
95-5201	211	226	210	221
95-5202	213	217	223	224
95-5213	216	208	223	225

túlkun á Nesjavöllum og við Kolviðarhól. Sýndir eru reikningar fyrir 3 sýni, og er samræmi gott, bæði milli einstakra sýna og milli efnahitamæla. Meðalhitastig reiknast $218 \pm 6^\circ\text{C}$, sem er óvenjugott samræmi. Þetta hitastig er hins vegar 20°C hærra en hitastig mældist við innstreymi í holuna.

6.2 Samsætumælingar

Til að kanna uppruna vökvans voru sýni tekin til greininga á samsætum súrefnis og vetnis. Niðurstaða mælinga er sýnd í töflu 6 og á mynd 10 ásamt niðurstöðum samsætumælinga frá Nesjavöllum og Kolviðarhóli. Sýnin frá ÖJ-1 hafa svipuð gildi og sýni frá Nesjavöllum, en Kolviðarhóll sker sig aftur á móti úr.

Tafla 6. ÖJ-1, Niðurstöður samsætumælinga.

Sýni	gufuhluti	$\delta^{18}\text{O}$ ‰(g)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰(v)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰(g)	δD ‰(v)	δD ‰
95-5202	0,21	-9,47	-5,88	-6,63	-84,4	-72,2	-74,76
95-5211	0,21	-9,44	-6,64	-7,23	-81,8	-71,4	-73,58

6.3 Vinnsloeiginleikar jarðhitavökvans

Vinnsloeiginleikar jarðhitavökva stjórnast helst af tveimur þáttum, annars vegar hvort hætt sé við útfellingum í borholum eða vinnslurásum og hins vegar hvort að taka þurfi tillit til styrks gass í gufu við vinnsluna.

Aðalefni í jarðhitavatni er kísill, og við suðu þess eða kælingu er hætt við að kísillinn fari að falla út úr vatninu og mynda ópal á pípuveggi og annað sem vatnið kemst í snertingu við. Þau mörk þar sem kísill getur byrjað að myndast eru kölluð ópalmettunarmörk, og í töflu 7 er sýnt við hvaða hitastig og þrýsting þau reiknast fyrir 3 sýni úr holu ÖJ-1. Nýverið lét Hitaveita Reykjavíkur kanna við hvaða aðstæður kísill fellur út úr jarðhitavatni á Nesjavöllum. Fyrsta stig í útfellingu er myndun fjölliða, þ.e. að kísilmólekúlin fara að tengjast saman í vatninu. Þessi mörk eru sýnd í töflu 7, en tilraunin og reynslan frá Nesjavöllum sýnir að kísill fer ekki að falla út þó svo að fjölliður myndist.

Útfelling kalsíts er stundum samfara suðu og kælingu jarðhitavökva. Á mynd 11 eru sýndar niðurstöður reikninga á því hvaða breytingar verða á mettunarástandi vatnsins með tilliti til kalsíts. Á myndinni kemur fram að kalsít er í jafnvægi við það hitastig sem vatnið hefur við vatnsæðina í holunni. Við suðu verður dálítill yfirmettun (hætta á útfellingum), sem nær há-

Tafla 7. ÖJ-1. Ópalmettun

Sýni númer	SiO ₂ (ppm)	Ópalmettun		Fjölliðunarmörk	
		t(°C)	P(bara)	t(°C)	P(bara)
95-5201	310	103	1,1	93	0,77
95-5202	321	106	1,2	96	0,86
95-5213	337	110	1,4	99	0,6

marki við 175°C en fer síðan minnkandi þar til jafnvægi er aftur náð við 80°C.

Í töflu 8 er sýnd efnasamsetning og heildarmagn gass í gufu við 100°C. Heildarstyrkurinn er lágur (0,4%), svipað því lægsta sem mælist á Nesjavöllum (0,4-0,9%), og verulega lægra en mældist í holu KhG-1 við Kolviðarhól (0,7%). Eins og við er búist er koldíoxíð (CO₂) langmestur hluti gassins, en styrkur brennisteinsvetnis (H₂S) er tölverður.

Tafla 8. ÖJ-1, Samsetning gass í gufu

Númer	95-5201	95-5202	95-5213
CO ₂	91,4	84,2	92,0
H ₂ S	7,8	15,2	7,8
H ₂	0,7	0,1	0,1
CH ₄	nd	nd	nd
O ₂	nd	nd	nd
N ₂	0,2	0,5	0,1
AR	nd	nd	nd
Gas í gufu (þyngdar %)			
Heildargas	0,38	0,42	0,41

7. HITI OG ÞRÝSTINGUR Í BLÆSTRI

Hola ÖJ-1 var hita- og þrýstimæld í blæstri þann 30. ágúst 1995. Þannig var staðið að mælingunum að u.þ.b. 4 m langt og 2" svert rör var skrúfað ofan á 3" holutoppslokann, mælum ásamt lóði komið fyrir í rörinu og tólinu síðan slakað niður í holuna án þess að trufla rennslið að neðan með því að hreyfa aðalloka. Óvenju auðvelt var að blástursmæla holu ÖJ-1 þar sem holutoppsframlengingin stóð með efri endann rétt upp í gegnum drifborð Jötuns. Var því hægðarleikur að koma mælum í og úr rörinu.

Mynd 12 sýnir mælingarnar sem söfnuðust. Eins eru sýndir á myndinni reiknaðir hita- og þrýstiferlar holu ÖJ-1, eins og forritið HOLA spáir þeim (Grímur Björnsson, 1987). Við gerð ferlanna er eingöngu stuðst við afköst holunnar á holutoppi svo og innanmál hennar. Holu-mælingarnar sýna að suða ríkti niður á u.þ.b. 450 m dýpi í blæstrinum, en þar fyrir neðan streymdi 198°C vatn upp holuna úr æðunum í vinnsluhlutanum. Eins sást með samanburði við þrýsting mældan í holunni dauðri, að nær enginn niðurdráttur verður milli holu og jarðhita-

kerfis í blæstrinum. Flokkast því ÖJ-1 í þann holuflokk þar sem afköst stjórnast nær eingöngu af hönnun holu en ekki af jarðhitakerfinu.

Reiknuðu hita- og þrýstiferlarnir á mynd 12 herma þokkalega mældu gögnin með þeirri undantekningu að holuforritið spáir suðu í holunni nokkru dýpra en er í raun. Þó svo að langlíklegast sé að þetta ósamræmi liggir í ónákvæmni þeirra reynslujafna sem holuforritið byggir á, er ekki lokað fyrir það skotið að hér valdi skekkja í aflmælingu. Þannig er auðvelt að ná góðu samræmi milli mælda og reiknaða þrýstingsins með því einu að auka rennslið úr 33 í 36 kg/s.

8. LOKUN ÖJ-1 EFTIR BLÁSTURPRÓFUN

8.1 Holutoppsþrýstingur við lokun

Þegar holunni var lokað þann 21. september var búist við að þrýstingur á holutoppi mundi fljótt falla niður og vatnsborð mælast í holunni. Holan stóð aftur á móti lengi með þrýstingi eins og mynd 13 sýnir. Þetta stafar eflaust af því að holan er í suðu í vatnsborði.

8.2 Þrýstijöfnun holunnar eftir blástur

Þrýstimælingar í blæstri bentu til mjög lítills niðurdráttar í holu ÖJ-1 þrátt fyrir töluvert rennsli úr holunni eða um 33 kg/s. Því var ákveðið að fylgjast með hvernig þrýstingur í holunni jafnaði sig eftir blásturinn og athuga þannig hver niðurdrátturinn í holunni var í raun. Komið var að holunni þann 21. september 1995 skömmu áður en lokað var fyrir blásturinn úr holunni. Síritandi mekanískum þrýstimæli (Ameradamæli) var slakað niður holuna meðan hún blés enn. Mælirinn var settur niður á 1000 m dýpi (drifborð Jötuns) eða nálægt neðstu æð holunnar. Komið var á 1000 m dýpi um kl. 13:38 og var mælirinn látinn jafna sig að umhverfinu í um 10 mínútur. Á meðan blés holan út í hljóðdeyfi um 33 kg/s með um 4,05 bar-g þrýstingi á holutoppi. Holunni var lokað um kl. 13:48 og gekk það greiðlega. Síðan var fylgst með þrýstingi á 1000 m næstu 97 mínúturnar, en byrjað var að hífa mælinn upp um kl. 15:25.

Þegar lesið var úr mælingunni kom í ljós að þrýstibreytingin var mjög lítil eins og blástursmælingar höfðu bent til. Breytingin yfir þann tíma sem fylgst var með þrýstingnum er 0,4 bar. Kvörðunarskekkja í mælinum getur verið um 1 bar, en hlutfallsleg skekkja í er miklu minni. Blástursmælingin og mæling á jöfnun þrýstings eftir blástur gefa því sömu niðurstöðu.

Þrýstijöfnunin var skoðuð með það í huga að meta vatnsleiðni við holuna, en ekki tókst að fá mat á vatnsleiðninni útfrá þrepaðælingu við borlok vegna mikils millirennslis í holunni (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1995b). Mæligildin frá þrýstijöfnuninni eru teiknuð á tvennan hátt á myndum 14 og 15. Þegar mynd 15 er grannt skoðuð sést að mæligildin nálgast að fylgja beinni línu með hallanum 0,5. Í forðafræði er slík hegðun almennt túlkuð sem línulegt aðflæði til holu um stóra sprungu (oft nær lóðrétta). Þannig fræðilegt líkan var fellt að gögnunum og er reiknuð þrýstijöfnun fyrir slíkt líkan sýnd sem heildregin lína á myndunum ásamt nálgunarstuðlum líkansins. Samkvæmt því er vatnsleiðnin við holuna mjög há ($22,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pas}$) sem er tæpri stærðargráðu hærri vatnsleiðni en svipuð túlkun gefur fyrir Nesjavallaholur. Þá bendir líkanið til stórrar sprungu með geisla (radíus) allt að 48 m.

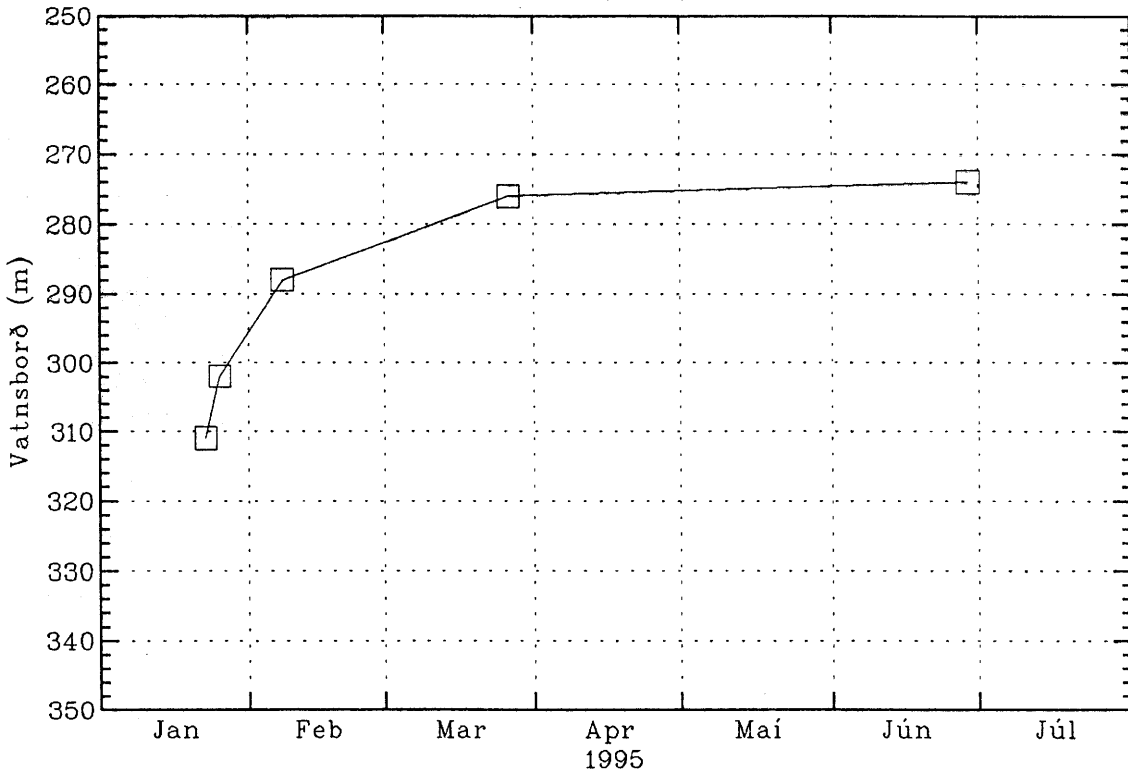
Samandregin niðurstaða túlkunarinnar er því sú, að vatnsleiðni við holu ÖJ-1 sé mjög há. Öflugt sprungustreymi er næst holunni og þegar holan blæs er niðurdrættinum við holuna dreift til stórs svæðis umhverfis hana.

9. HEIMILDIR

- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn og Sigurður Benediktsson, 1994. Ölkelduhálssvæði, Hóla ÖJ-1, 1. áfangi: Höggborun og borun fyrir 13 3/8" fóðringu í 309 m dýpi. Orkustofnun OS-94056/JHD-33 B.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðlaugur Hermannsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn Ómar Sigurðsson og Sigurður Benediktsson, 1995. Ölkelduhálssvæði, Hóla ÖJ-1, 2. áfangi: Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu frá 309 m í 781 m dýpi. Orkustofnun OS-95001/JHD-01 B.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Grímur Björnsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Jósef Hólmjárn, Sigurður Benediktsson og Sverrir Þórhallsson, 1994. Ölkelduhálssvæði, Hóla ÖJ-1, 3. áfangi: Borun vinnsluhluta frá 781 m í 1035 m. Orkustofnun OS-95007/JHD-05 B.
- Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson, Sigurður Benediktsson, Einar Gunnlaugsson og Benedikt Steingrímsson, 1994. Rannsóknarhóla á Ölkelduhálssvæði - Hönnun og verklýsing. Orkustofnun OS-94009/JHD-04 B.
- Grímur Björnsson, 1987. A multi-feedzone, wellbore simulator. M.S. ritgerð við University of California, Berkeley.

☐ Jarðhitadeild
17.11.95/bs

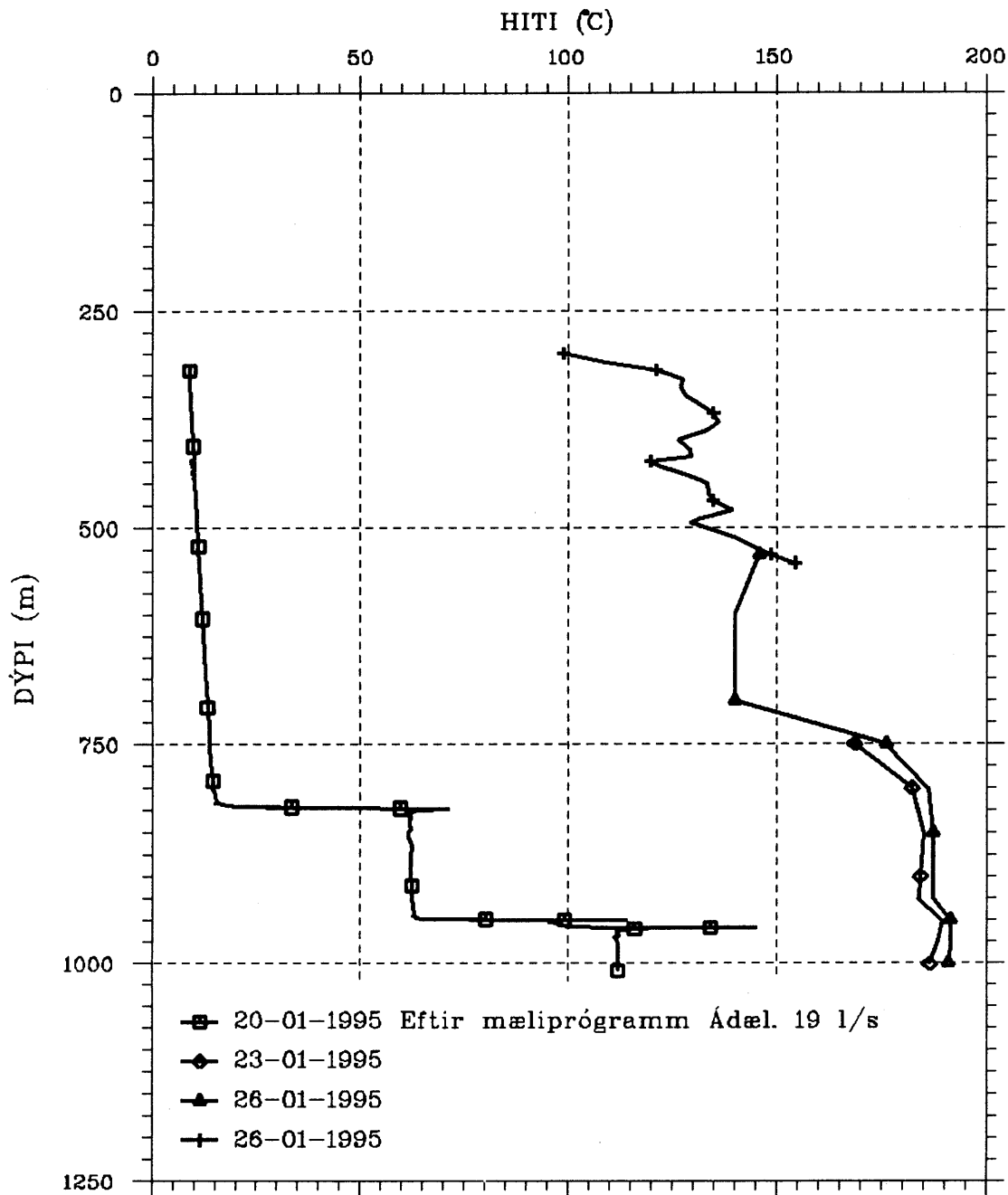
Ölkelduháls Hola ÖJ-1



Mynd 1. Vatnsborð í upphitun

20 Nov 1995 bs
L= 85101 Oracle

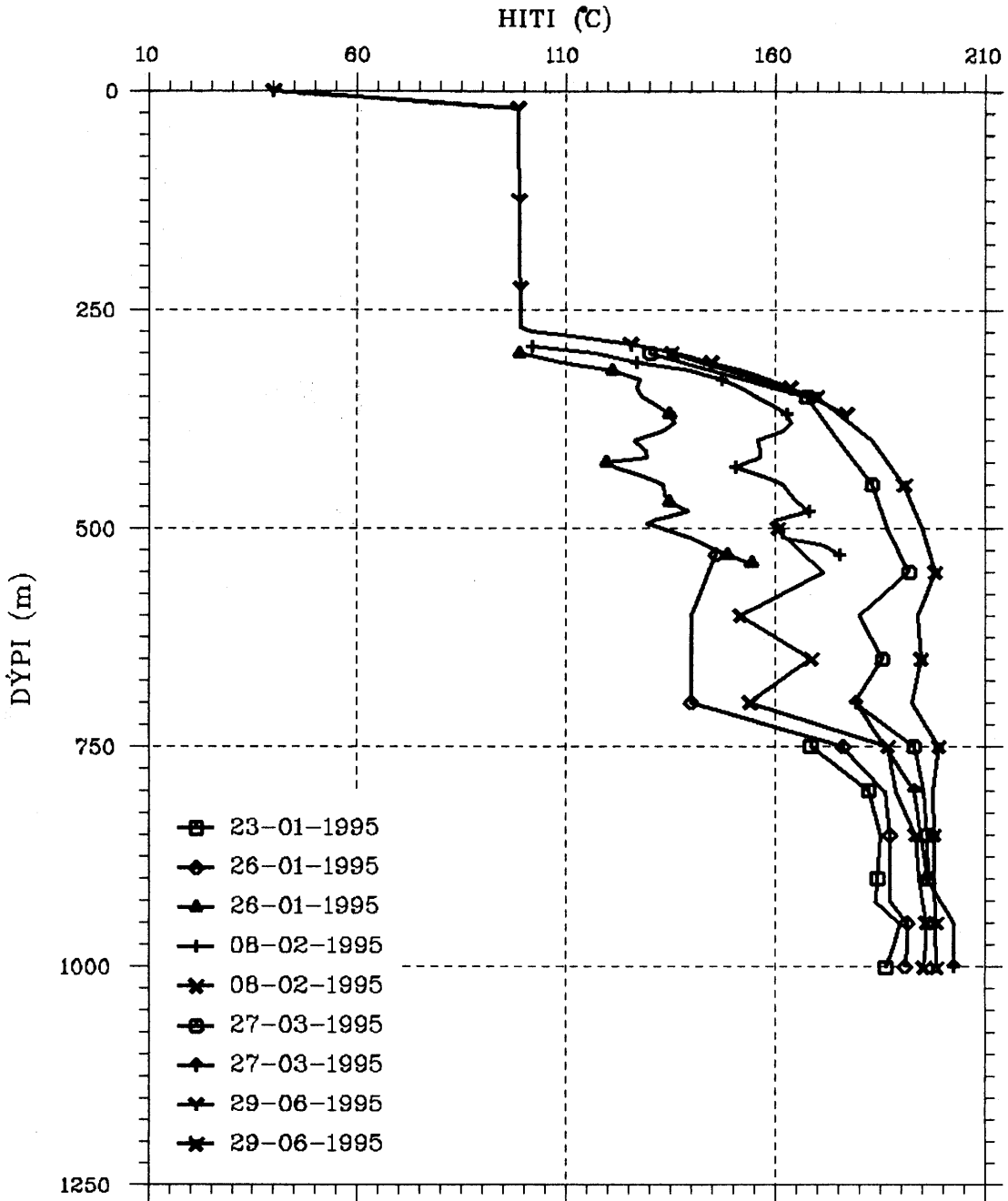
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælinga í og eftir borun



Mynd 2. Hitamælingar í ádælingu í lok borunar og í byrjun upphitunar

20 Nov 1995 bs
L= 95101 Oracle

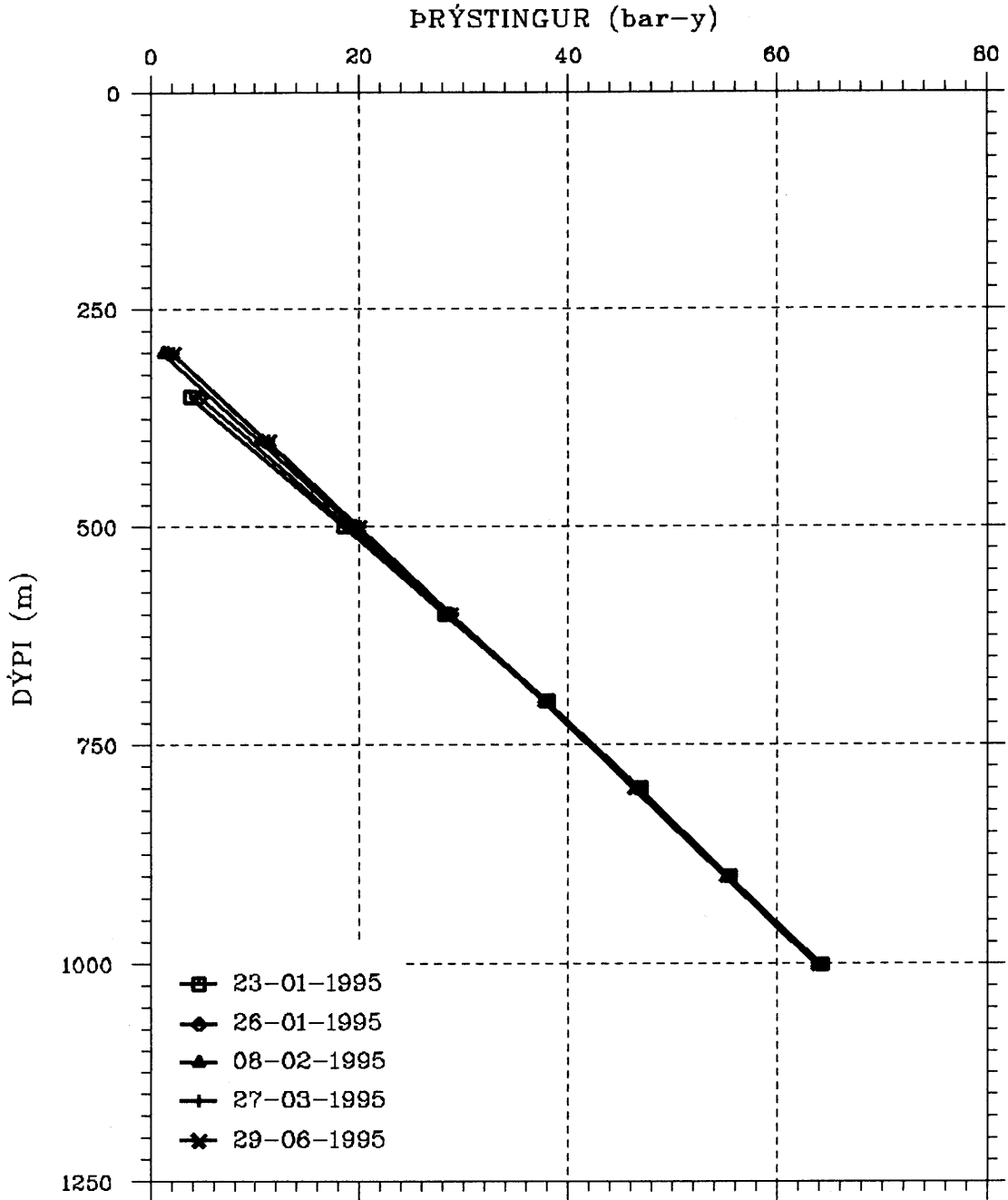
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Hitamælingar í upphitun



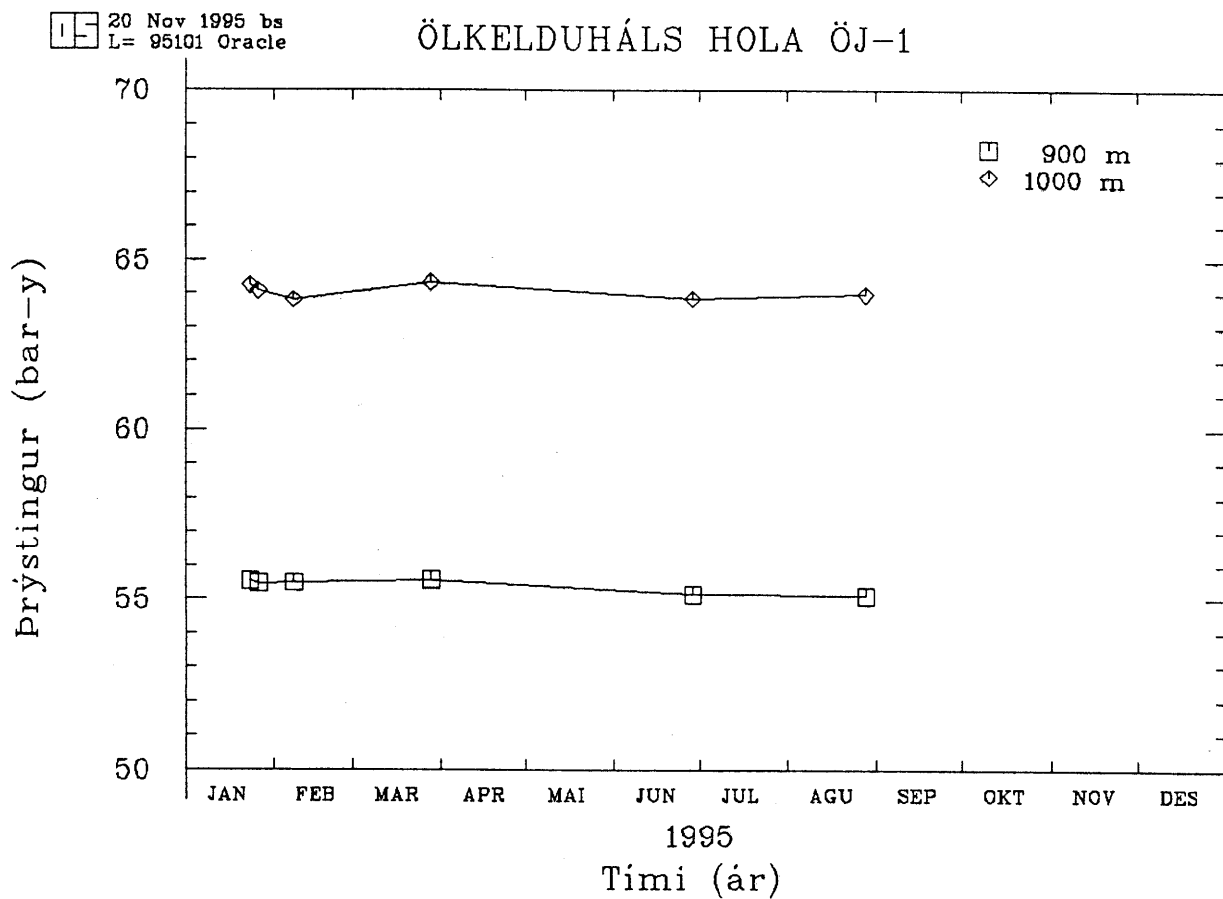
Mynd 3. Hitamælingar í upphitun

20 Nov 1995 bs
L= 95101 Oracle

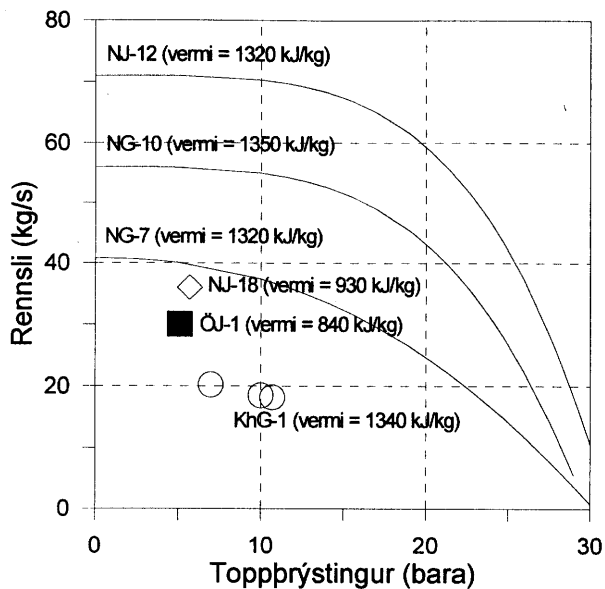
ÖLKELDUHÁLS HOLA ÖJ-1 Þrýstimælingar í upphitun



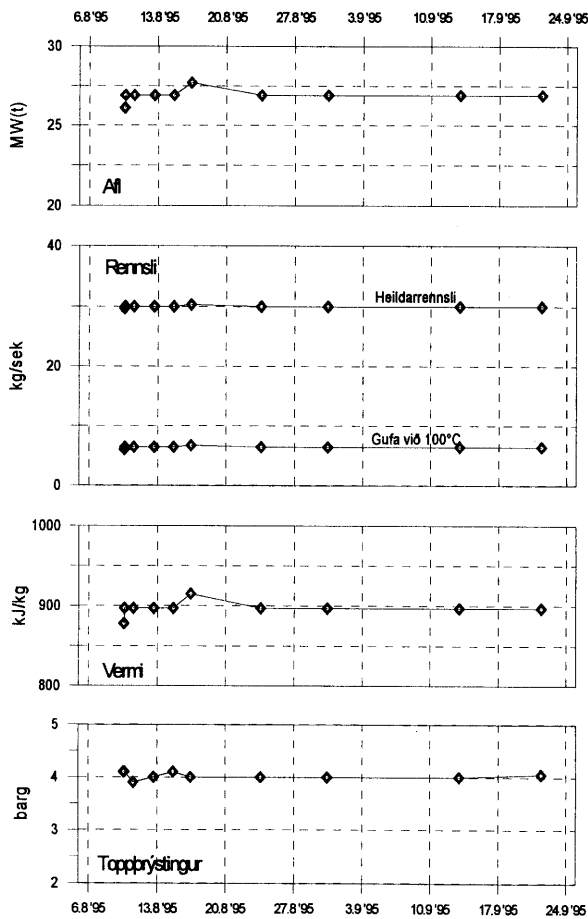
Mynd 4. Þrýstimælingar í upphitun



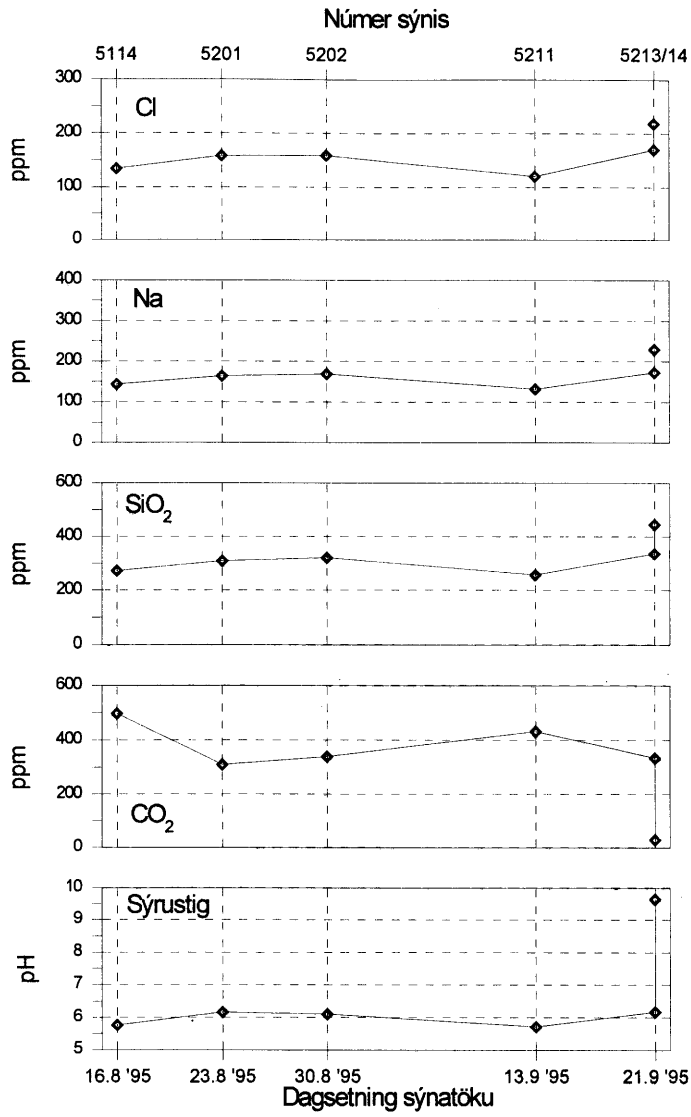
Mynd 5. Prýstingur á 900 og 1000 m dýpi á upphitunartímabilinu



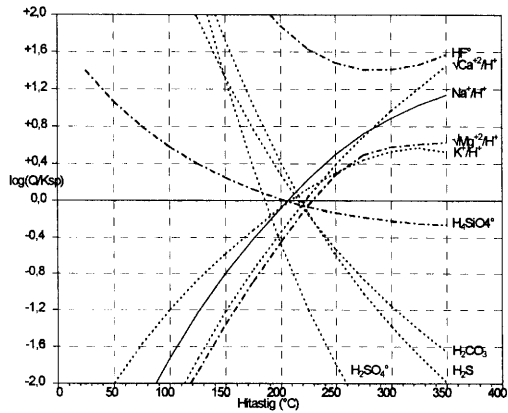
Mynd 6. Samanburður affferla



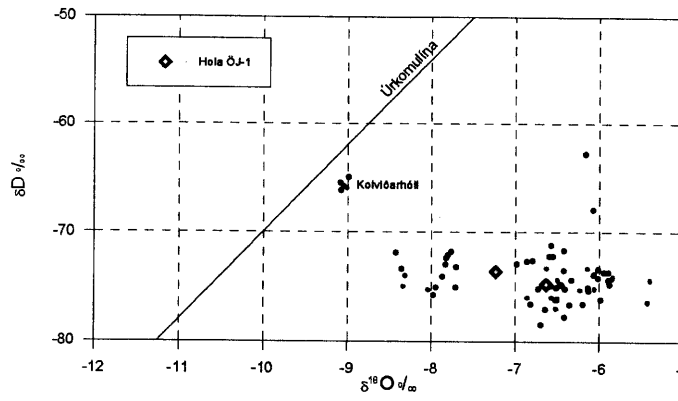
Mynd 7. ÖJ-1. Afmælingar



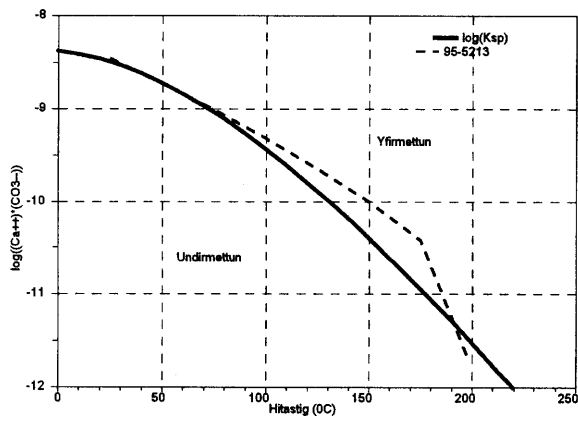
Mynd 8. ÖJ-1. Samanburður á styrk efna



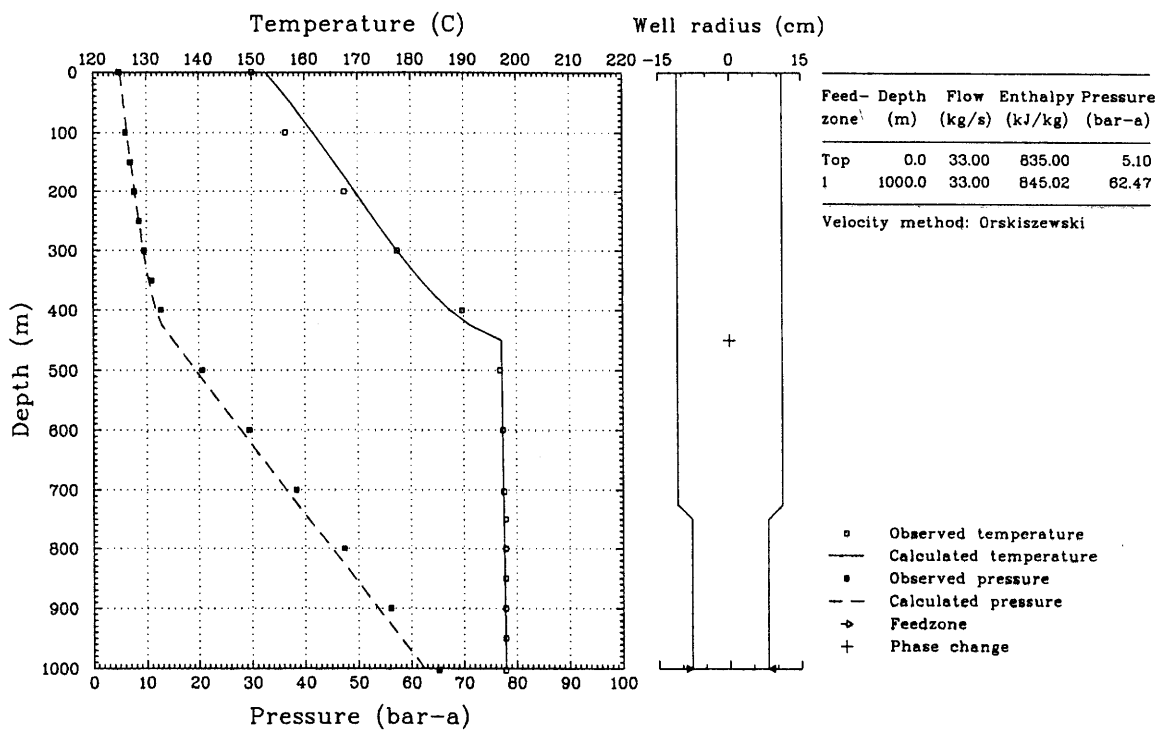
Mynd 9. ÖJ-1. Efnajafnvægi



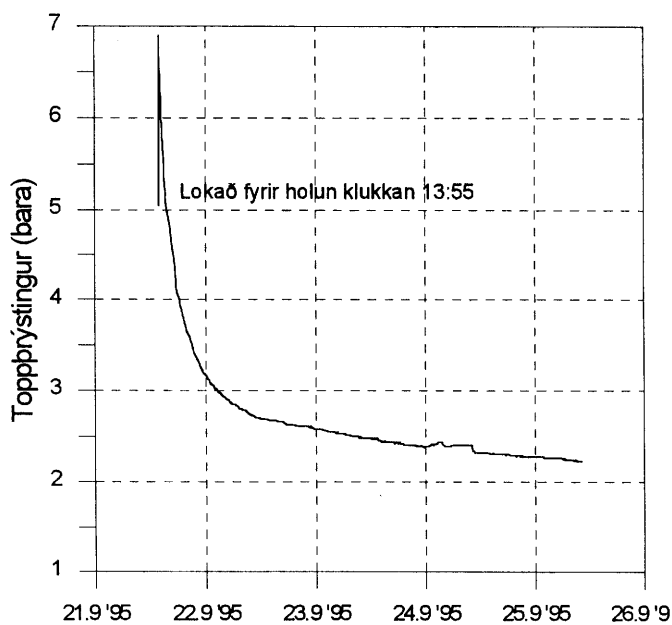
Mynd 10. Samsætur



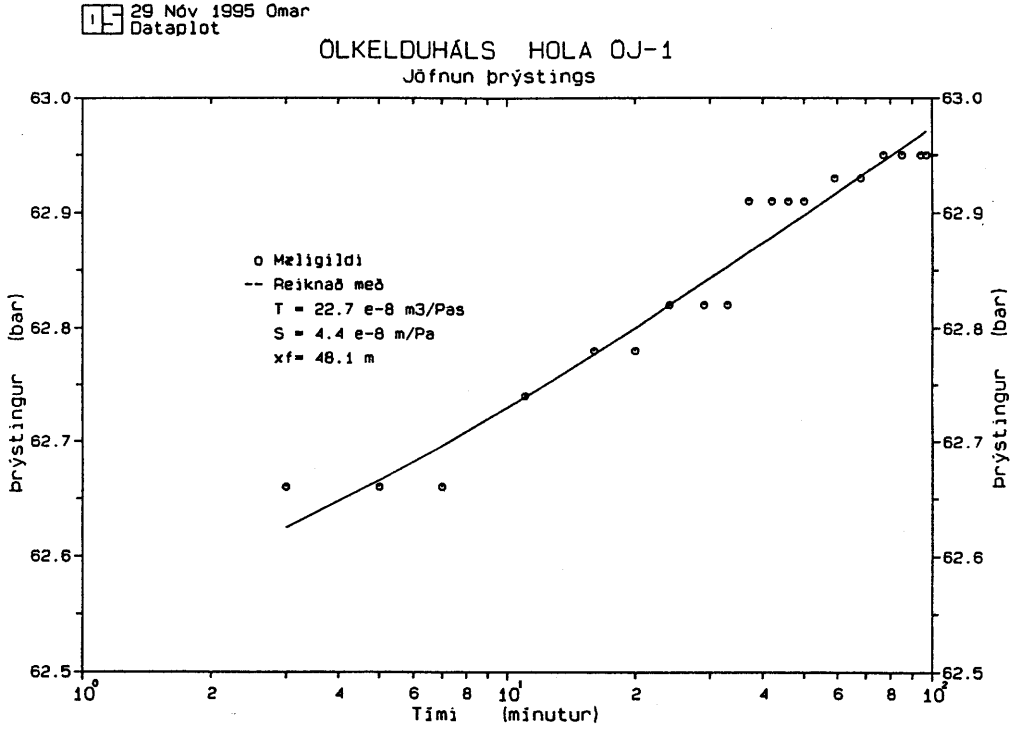
Mynd 11. Kalsítmættun



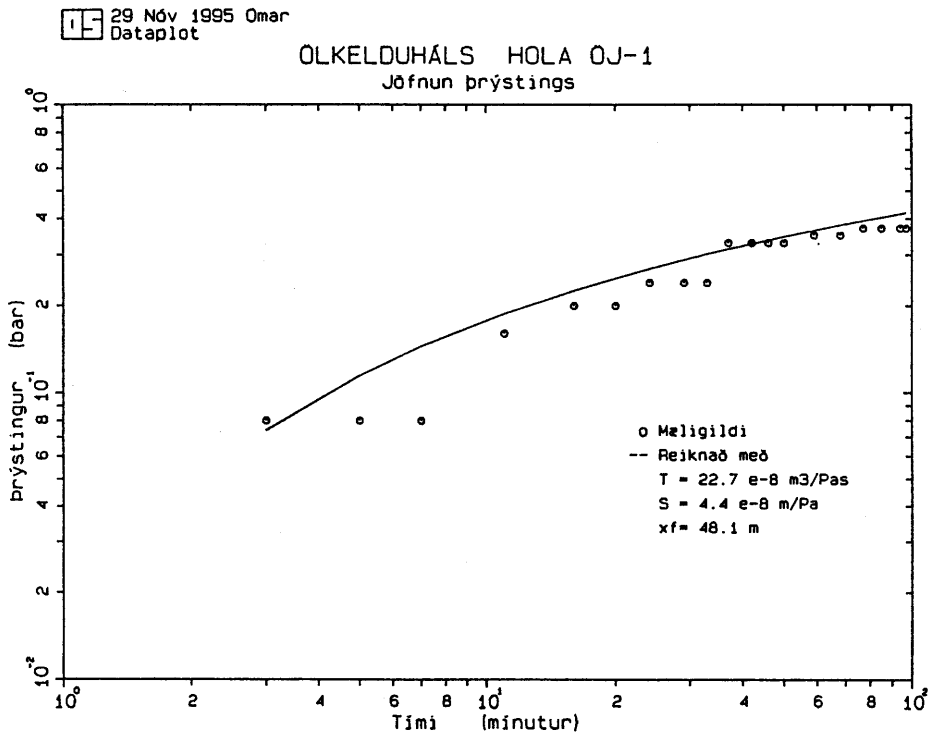
Mynd 12. Hita- og þrýstimælingar í blæstri



Mynd 13. ÖJ-1. Þrýstingur eftir lokun



Mynd 14. Jöfnun þrýstings á 1000 m dýpi. Nálgun við sprungulíkan



Mynd 15. Jöfnun þrýstings á 1000 m dýpi. Mæligildi ásamt mätferli fyrir sprungulíkan