



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**Benedikt Steingrímsson
Ásgrímur Guðmundsson
Guðjón Guðmundsson
Halldór Ármannsson
Jón Benjamínsson**

KRAFLA, HOLA KJ-3A

**Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar
Lokaskýrsla**

OS-84043/JHD-08
Reykjavík, maí 1984

**Unnið fyrir
Rafmagnsveitur ríkisins -
Kröfluvirkjun**



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Benedikt Steingrímsson
Ásgrímur Guðmundsson
Guðjón Guðmundsson
Halldór Ármannsson
Jón Benjamínsson**

KRAFLA, HOLA KJ-3A

**Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar
Lokaskýrsla**

**OS-84043/JHD-08
Reykjavík, maí 1984**

**Unnið fyrir
Rafmagnsveitur ríkisins -
Kröfluvirkjun**

ORKUSTOFNUNDags.
84.07.11
Dags.Tilv. vor
BS/ÁG/bþ
Tilv. yðar

Hr. Einar Tjörvi Eliasson
Yfirverkfraðingur
Kröfluvirkjun
Pósthólf 197
602 AKUREYRI

VARÐAR: RANNSÓKNIR Á HOLU KJ-3A Í KRÖFLU

Hér með fylgir lokaskýrsla um rannsóknir á holu KJ-3A í Kröflu. Jarðhitadeild Orkustofnunar hefur þegar sent Kröfluvirkjun tvær áfangaskýrslur um framgang verksins, en til hægðarauka eru skýrslurnar einnig birtar hér sem viaðaukar.

Lokaskýrslan er samantekt á niðurstöðum rannsókna á holu KJ-3A. Hún tekur til rannsókna meðan á borun stóð og upphitun eftir borun svo og til blástursprófana á holunni þar til hún var tekin í notkun 23. nóvember 1983.

Virðingarfyllst

Benedikt Steingrímsson

Ásgrímur Guðmundsson

ÁGRIP

Hola KJ-3A er á Leirbotnasvæðinu um 15 m austan við KG-3 og er ætlað að vinna vökva úr efri hluta jarðhitakerfisins. Hún var boruð á tíma-bilinu 24. september til 10. október 1983 og tók verkið alls 17 daga. Fyrst var borað með 444 mm krónu niður í 345 m dýpi og fóðrað með 340 mm fóðringu niður í 337 m. Síðan var vinnsluholan boruð með 311 mm krónu niður í 985 m dýpi og hún látin vera ófóðruð.

Borað var niður úr Basaltmyndun 1 (á 60 m dýpi), Móbergsmýndun 1 (á 150-160 m dýpi), Basaltmyndun 2 (á 380-420 m dýpi) og Móbergsmýndun 2 (á u.p.b. 830 m dýpi), en holan endar í Basaltmyndun 3. Ummýndun gefur til kynna, að fyrr í sögu jarðhitakerfisins hafi hiti fylgt suðumarksferli fyrir neðan 250 m dýpi, en síðan hafi efstu 800-900 m svæðisins kólnað.

Meginvatnsæðar holunnar eru á mótum Móbergsmýndunar 2, á 390 og 790 m dýpi. Þær virðast tengdar láréttum vatnsleiðandi lögum, sem eru sennilega fædd frá lóðréttum NA-SV sprungu, sem liggur á milli KG-3 og KJ-3A.

Berghiti er rúmar 200°C niður á 800-900 m og í u.p.b. 900 m er komið niður úr efri hluta svæðisins. Reiknað varmainnihald vökvans meðan holan var í blæstri bendir til 210°C innstrey mishita. Þrýstingur er sambærilegur við nærliggjandi efrihlutaholur.

Að efnasamsetningu til flokkast renni holunnar til efri hluta Leirbotnasvæðisins, en það kemur fram í litlum gasstyrk, háu sýrustigi vatnsins og yfirmettun þess með tilliti til kalsíts. Ekki er hægt að útiloka kalsítútfellingar, en yfirmettun kalsíts er þó minni en í KJ-9. Aftur á móti er opalmettunarþrýstingur innan við 2 bar a, svo að kísilútfellingar ættu ekki að vera til vandræða.

Hola KJ-3A var boruð fyrir lágþrýstiþrep Kröfluvirkjunar og er rekin við 3,5 bar mótpþrýsting. Heildarrennsli holunnar er um 30 kg/s, en þar af eru 5 kg/s lágþrýstigufa sem samsvarar 1,5 MW afli.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIÐ	2
EFNISYFIRLIT	3
TÖFLU- OG MYNDSKRÁ	4
1 STAÐSETNING	5
2 BORSAGA	6
3 JARÐLÖG	8
4 UMMYNDUN	15
5 VATNSÆÐAR	20
6 BERGHITI	22
7 ÞRÝSTINGUR Á VATNSÆÐUM	23
8 AFL	24
9 EFNASAMSETNING RENNIS	26
10 NIÐURSTÖÐUR	30
HEIMILDASKRÁ	32
VIÐAUÐI V-1 KRAFLA. Borun holu KJ-3A	35
VIÐAUÐI V-2 KRAFLA, HOLLA KJ-3A. Upphitun, upphleyping og blástur	59

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Afstöðumynd	5
2 Borun holu KJ-3A	6
3 Frágangur, halli og vatnsæðar	7
4 Jarðlagasnið	10
5 Einfölduð jarðlagasnið og skoltap í borun	14
6 Dreifing ummyndunarsteinda	17
7 Ummyndun og berghiti	18
8 Tengsl vatnsæða við jarðög í Leirbotnum	21
9 Staðsetning vatnsæða KJ-3A og KG-3	21
10 Berghiti	22
11 Þrýstingur á vatnsæðum	23
12 Aflsaga 1983.10.29 - 11.22	25
13 Aflferlar KW-2 og KJ-3A	25
14 Leirbotnar. Hugsanlegt rásastreymi efrihlutarennis	29

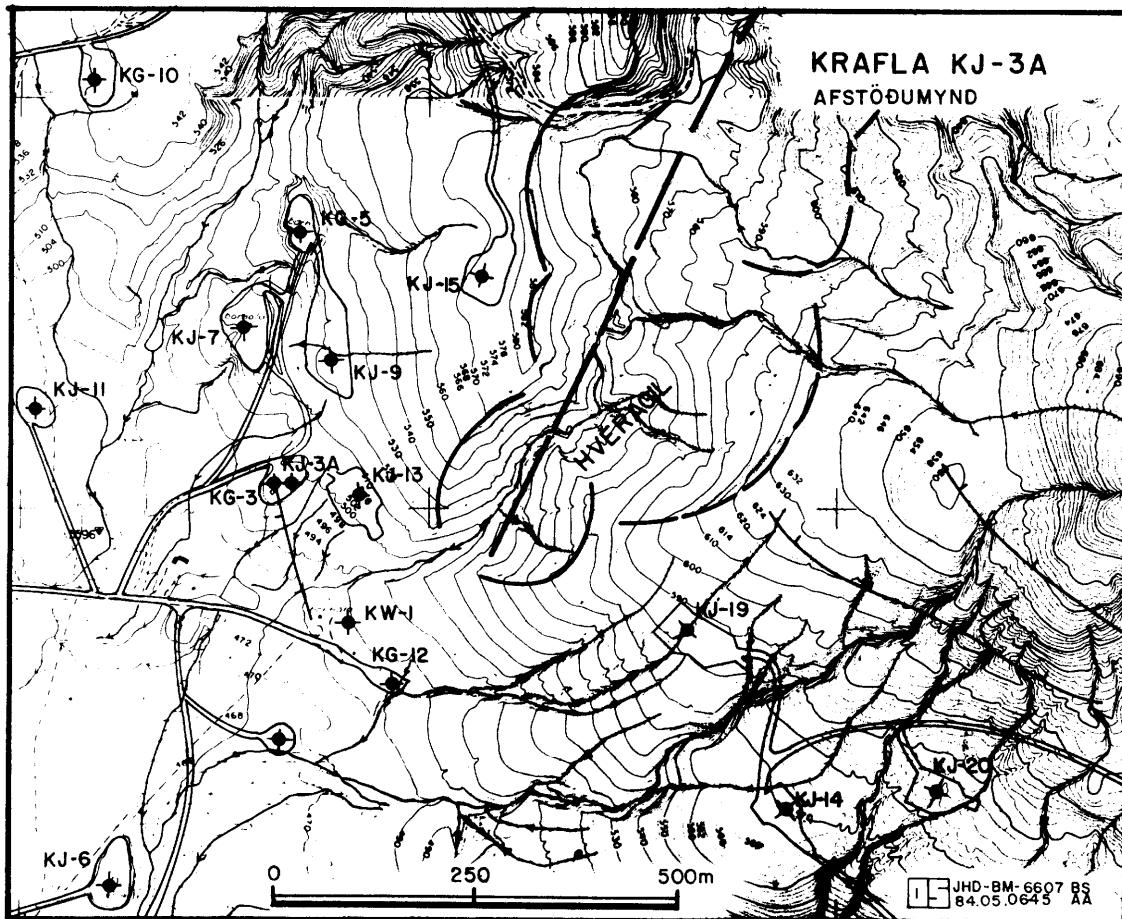
TÖFLUSKRÁ

1 Steindir notaðar til ákvörðunar á ummyndunarhita	15
2 Hola KJ-3A. Styrkur efna	26
3 Leirbotnar, efrihlutarenni. Gashlutföll og efnahiti ...	27
4 Leirbotnar, efri hluti. Afstæð fjarlægð hola frá uppstreymi miðað við gashlutföll.....	28
5 Leirbotnar, efrihlutarenni. Efnaeinkenni á hugsanlegum rásum	29
6 Leirbotnar, efrihlutarenni. Hugsnaleg ráseinkenni einstakra hola	29

1 STADSETNING

Sumarið 1983 var ákveðið að bora 800-1000 m djúpa holu í Kröflu sem nýtt yrði fyrir lágbrystiþrep vélar nr. 1 í virkjunninni. Holunni var valinn staður á Leirbotnasvæðinu eða nánar tiltekið um 15 m austan holu KG-3, og hlaut hún nafnið KJ-3A (sjá mynd 1).

KJ-3A er ætlað að ná vökva úr efri hluta Leirbotnakerfisins. Sá hluti þess er of kaldur fyrir háþrystiþrepið, og hefur því yfirleitt verið fóðraður af í vinnsluholum. Fyrirfram var búist við því að efri hlutinn næði niður í um 1000 m dýpi á þessum stað og vatnshiti væri um 210°C . Af skoltapsmælingum í borun nærliggjandi hola mátti enn fremur búast við góðri vatnsleiðni.



Mynd 1 Afstöðumynd

2 BORSAGA

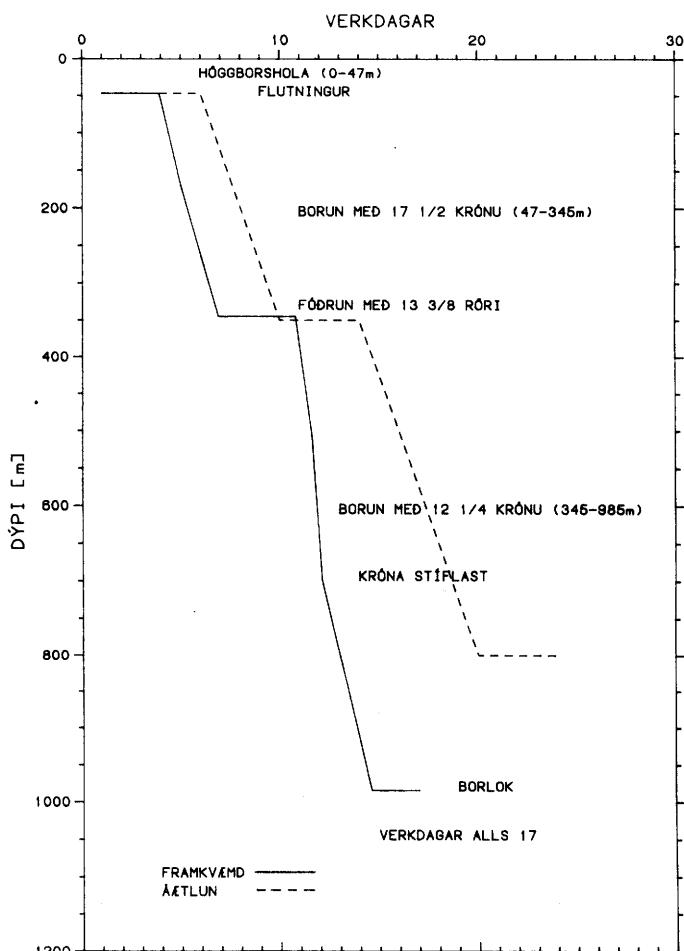
Verkið hófst 24. september 1983 er Jötunn var fluttur að 47 m djúpri höggborsholu. Þann 27. september var byrjað að bora með 444 mm (17 1/2") krónu. Borun gekk vel og var vatn notað til skolunar fyrstu 65 m, en neðan við 112 m dýpi var notað gel, þar sem botnfall hamlaði borun. Þann 30. september var dýpi orðið 345 m og þótti það hæfilegt fyrir fóðringu. Þá var skoltap innan við 1 l/s. Nokkrar tafir urðu við að koma fóðringunni fyrir vegna veðurs. Þegar skolun fyrir steypingu hófst, var komið umtalsvert skoltap, allt upp í 35 l/s. Eftir tvær þéttингaraðgerðir (Viðauki V-1) var lekinn kominn niður í 7 l/s og var þá steypt. Góð steypa kom upp en seig niður. Þar sem vatnsborð á svæðinu er u.p.b. á 100 m dýpi var ákveðið að steypa ofan á jafnóðum og steypan seig. Niðurstöður CBL-mælingar í fóðringunni sýndu engin skil í steypunni.

Borun vinnsluhluta holunnar hófst að faranótt 4. október og var notuð 311 mm (12 1/4") króna. Gekk borun hratt þar til í tæpum 700 m að krónan stíflaðist og taka varð upp (mynd 2). Tap hafði verið lítið fram til þessa en eftir upptekt var það orðið um 30 l/s og benti hitamæling til þess að mest tapaðist í tæplega 400 m dýpi. Fljótlega eftir að borun hófst á ný stíflaðist krónan aftur en stíflan náðist úr án þess að taka þyrfti upp. Eftir það var dregið úr borhraða með minnkun álags og borað þannig niður á 985 m dýpi, en þar var borun hætt. Að lokinni fjögurra tíma skolun var skoltap um 60 l/s. Þar með var tekið upp úr holunni og hætt. Enginn leiðari var settur í hol-

JHD.BM.6607.GJG
84.02.0332-T

KRAFLA HOLA KJ-3A BORUN

BORTÍMI 24.09.-10.10.1983



Mynd 2 Borun holu KJ-3A

una (mynd 3). Nokkrar hallamælingar voru gerðar á meðan borun stóð yfir og var mesti halli um 4° í 950 m dýpi. Samkvæmt hallamælingum er mesta hugsanlega frávik frá lóðlinu 37 m (mynd 3). Verkinu lauk 10. október og tók alls 17 daga.

JHD BM-6607-B5 '84.03.0470-EK																																											
KRAFLA HOLA KJ-3A																																											
Frágangur, halli og vatnsæðar																																											
<p>Staðsetning: Hnit X: 443.175 Y: 579.520 Höð yfir sjó 499,9m</p> <p>Fjarlægðir: Drifborð - kjallarabrun 4,56m , kjallarabrun - kragi 2,66m</p> <p>Höggborsföring: Utanmál 473mm, veggþykkt 8mm</p> <p>Öryggistöring: API 13 3/8, 68 # og 61 #, K-55 BTC, innanmál 317,9mm og 315,3mm</p> <p>Leiðari: Enginn</p>																																											
<table><thead><tr><th rowspan="2">ÆÐAR [m]</th><th rowspan="2">FÓÐRINGAR- DÝPI [m]</th><th rowspan="2">BORKRÓNUR [mm] BORDDÝPI [m]</th><th colspan="2">HALLAMÆLINGAR</th></tr><tr><th>DÝPI</th><th>HALLI</th></tr></thead><tbody><tr><td>170</td><td>47</td><td>559</td><td>250</td><td>0,4°</td></tr><tr><td>235</td><td>336,4</td><td>444</td><td>507</td><td>2,4°</td></tr><tr><td>350</td><td></td><td>345</td><td>750</td><td>3,2°</td></tr><tr><td>390</td><td></td><td>311</td><td>950</td><td>4,0°</td></tr><tr><td>(660)</td><td></td><td>985</td><td></td><td></td></tr><tr><td>790</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>850</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table> <p>DÝPTARTÖLUR MIÐADAR VIÐ DRIFBORÐ</p>		ÆÐAR [m]	FÓÐRINGAR- DÝPI [m]	BORKRÓNUR [mm] BORDDÝPI [m]	HALLAMÆLINGAR		DÝPI	HALLI	170	47	559	250	0,4°	235	336,4	444	507	2,4°	350		345	750	3,2°	390		311	950	4,0°	(660)		985			790					850				
ÆÐAR [m]	FÓÐRINGAR- DÝPI [m]				BORKRÓNUR [mm] BORDDÝPI [m]	HALLAMÆLINGAR																																					
		DÝPI	HALLI																																								
170	47	559	250	0,4°																																							
235	336,4	444	507	2,4°																																							
350		345	750	3,2°																																							
390		311	950	4,0°																																							
(660)		985																																									
790																																											
850																																											

Mynd 3 Frágangur, halli og vatnsæðar

3 JARÐLÖG

Eins og fram kemur á mynd 1 er KJ-3A boruð í vel þekkt svæði. Þess vegna þótti ekki ástæða til að gera venjubundnar jarðlagamælingar. Svarf var samt sem áður greint á staðnum eins og venja er og fyrstu niðurstöður birtar í áfangaskýrslu að lokinni borun. Unnið var við frekari úrvinnslu veturinn 1983-84 og eru niðurstöður birtar á mynd 4. Hér er um að ræða fullunnið jarðlagasnið og eru allir megin-drættir, sem koma fram í því sambærilegir við þau jarðlög, sem nágrannaholurnar skera.

Jarðlögunum hefur verið skipt niður í nokkuð vel afmarkaðar jarðlagamyndanir, sem taldar eru tilheyra ákveðnum tímabilum í jarðsögunni (Valgarður Stefánsson o.fl. 1984).

Basaltmyndun 1 (jarðlög frá nútíma). Hún sést efst í holunni og basaltlagið á 50-60 m dýpi tilheyrir henni. Þar eru jafnframt neðri mörk myndunarinnar.

Móbergsmyndun 1 (síðasta jökulskeið). Hún spannar bilið frá 60 m niður á 150-170 m dýpi. Túff og breksíur einkenna myndunina, en fáein þunn fínkornótt basaltlög sjást frá 117 m niður á 130 m dýpi og eitt á tæplega 90 m dýpi. Móbergsset sést á milli 100 og 110 m og hefur það einnig fundist í nærliggjandi holum á svipuðu dýpi.

Basaltmyndun 2 (síðasta hlýskeið). Hún nær frá 150-170 m niður á 420 m dýpi. Eins og nafn myndunarinnar gefur til kynna eru basalthraunlög einkennanadi og engin innskot sjáanleg. Ummynndað glerjað basalt er einkennandi á 150-170 m dýpi, en þar neðan við og niður á liðlega 310 m dýpi er ummyndað meðalgrófkornótt basalt ráðandi og í mörgum tilfellum virðist bergið vera plagióklasdílótt. Síðan taka við ummynduð fínkornótt og glerjuð basaltlög niður á 420 m dýpi. Neðri mörk myndunarinnar er ekki gott að staðsetja nákvæmlega, en þau gætu legið á bilinu 380 - 420 m. Á því bili er sterkt æð og er hún á svipuðu dýpi í nærliggjandi holum.

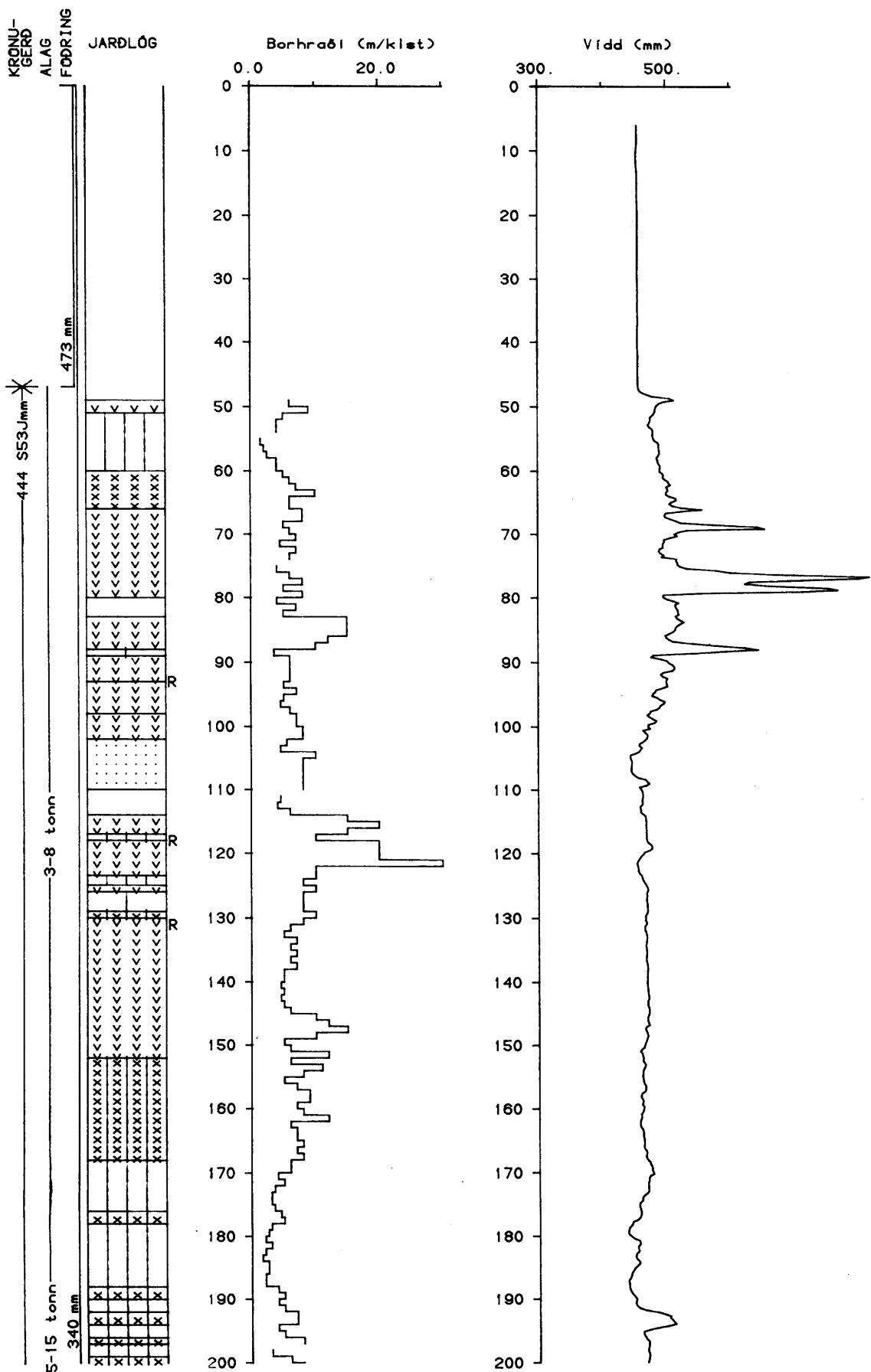
Móbergsmyndun 2 (öskjufylling). Hún nær frá 420 m niður á um það bil 830 m dýpi. Mjög útfellingarákt móbergstúff einkennir myndunina. Neðan 700 m dýpis sjást dólerítinnskot og eykst tíðni þeirra niður á við. Fá og þunn basaltlög gegnumstinga túffið. Einna athyglisverðast við myndunina er, að hún virðist nánast vatnsheld, en öflugar vatnsæðar koma fram á efri og neðri mörkum hennar. Bergið er mjög útfellingarákt eins og áður segir og er líklegt að ummyndun og útfelling hafi þétt myndunina algjörlega. Neðarlega eða á 790-800 m dýpi er greinileg æð, sem kemur fram í þunnu túfflagi á milli dólerítinnskota.

Basaltmyndun 3 (fyrri hluti síðasta hlýskeiðs). Hún byrjar í 830 m dýpi, en um neðri mörkin er ekki vitað vegna inniskotakraðaks. Þunn dólerítinnskot gegnumstinga myndunina ofan 910 m dýpis, en þar fyrir neðan eru inniskot nánast einrráð. Basaltlögin, sem þarna sáust eru mjög glerjuð og blöðrótt. Oft á tíðum var ekki ljóst hvort um væri að ræða basaltbreksiur eða þunn hraunlög. Þrjú ísúr inniskot sáust, líklega díórit, og fellur það vel að niðurstöðu greininga í nærliggjandi holum. Neðsta æðin í holunni er á 850 m dýpi og kemur hún inn, þar sem þunnt dólerítinnskot sker glerjæða basaltið.

Á mynd 5 eru sýnd samhliða einfölduð jarðlagasnið af holum KJ-3A og KG-3 og breytingar á skoli í holunum. Ekki er annað að sjá en að allir meginhrættir séu eins.

JHD-BJ-6607 ÁsG
84.03.0436 T /1

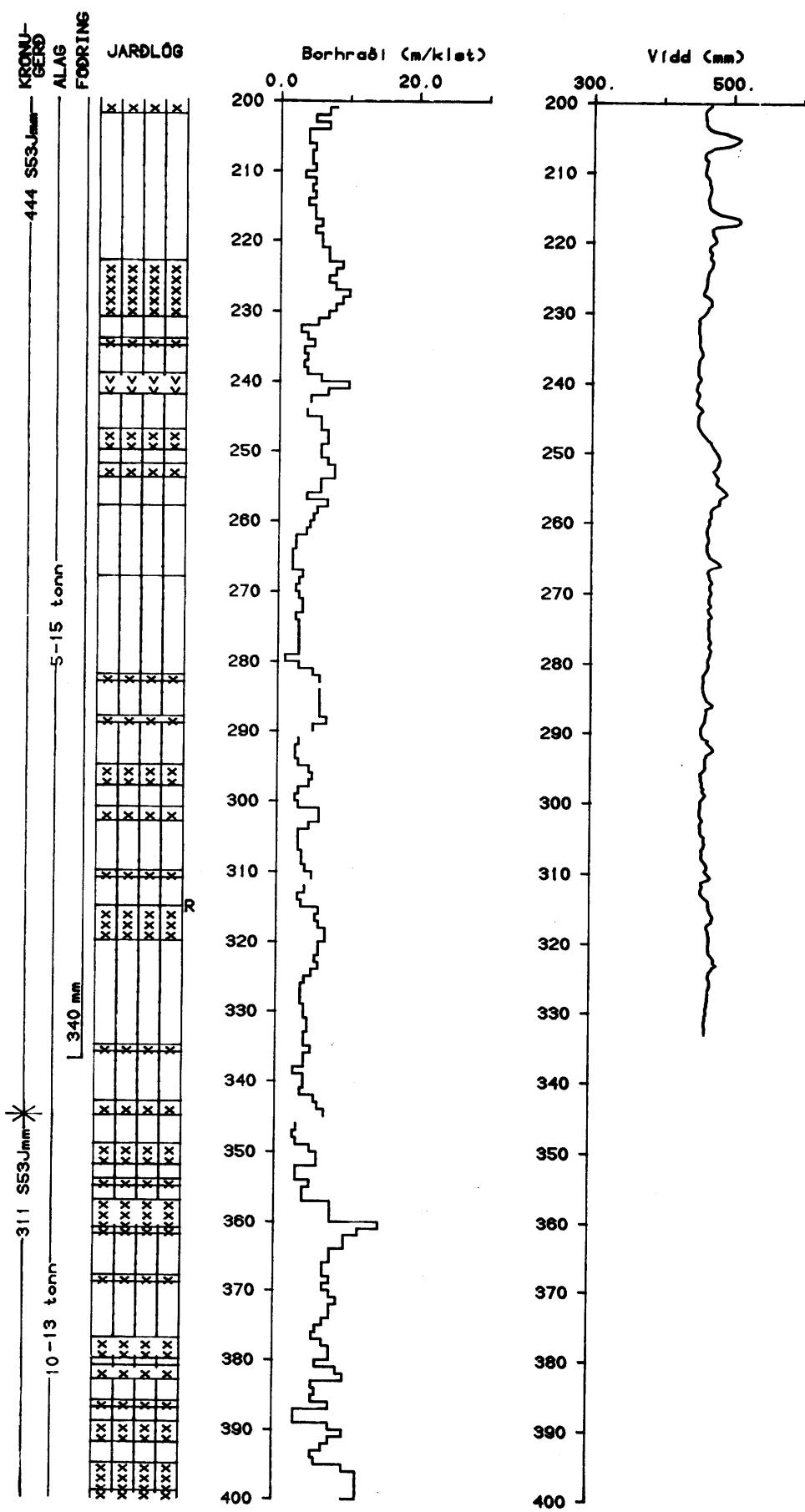
KJ-3A JARÐLAGASNIÐ



Mynd 4 Jarðlagasnið

JHD-BJ-6607 ÅeG
84.03.0436 T / 2

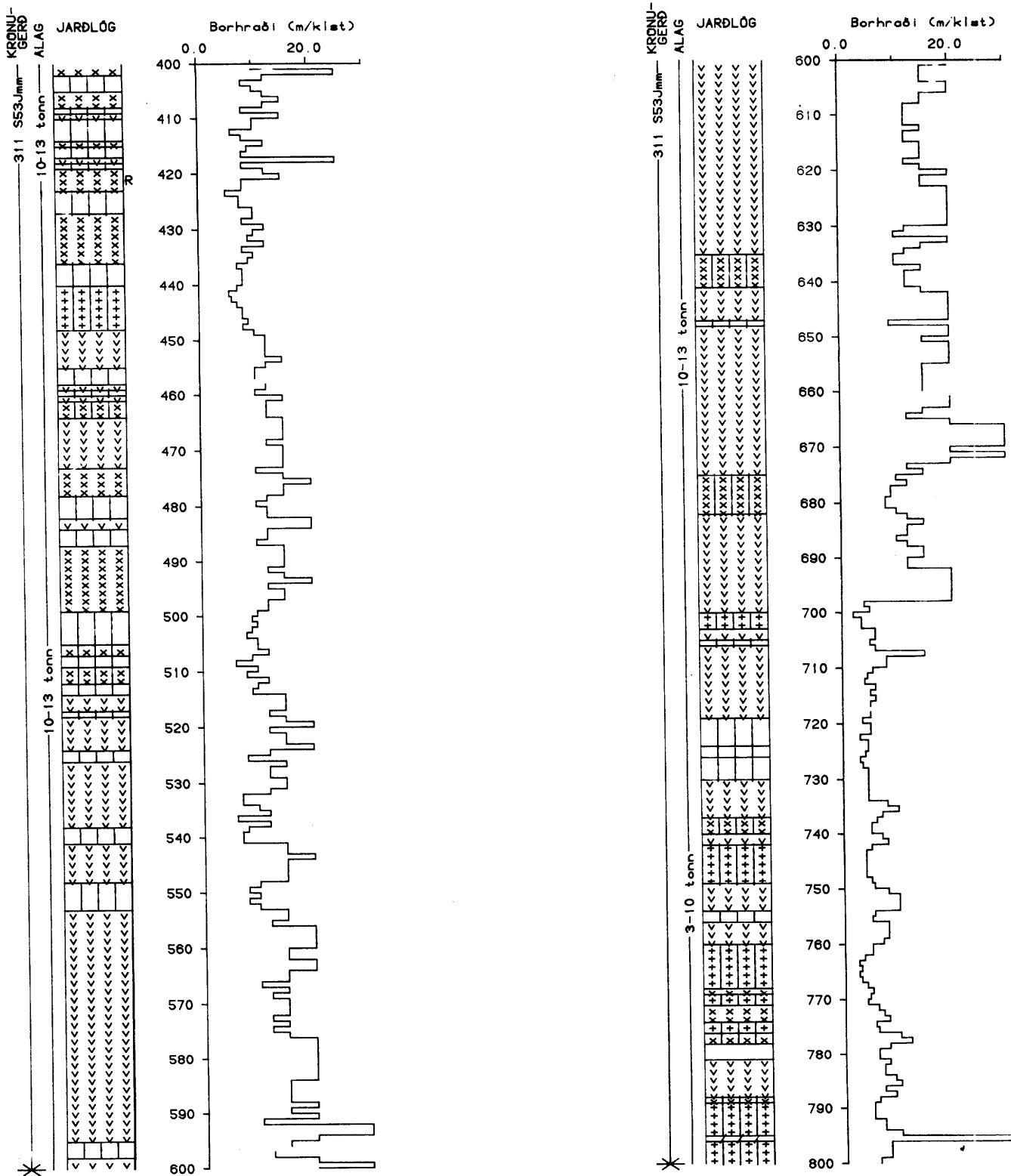
KJ-3A JARDLAGASNID



Mynd 4 Jarðlagasnið frh.

JHD-8J-6607 ÅG
84.03.0436 T /3

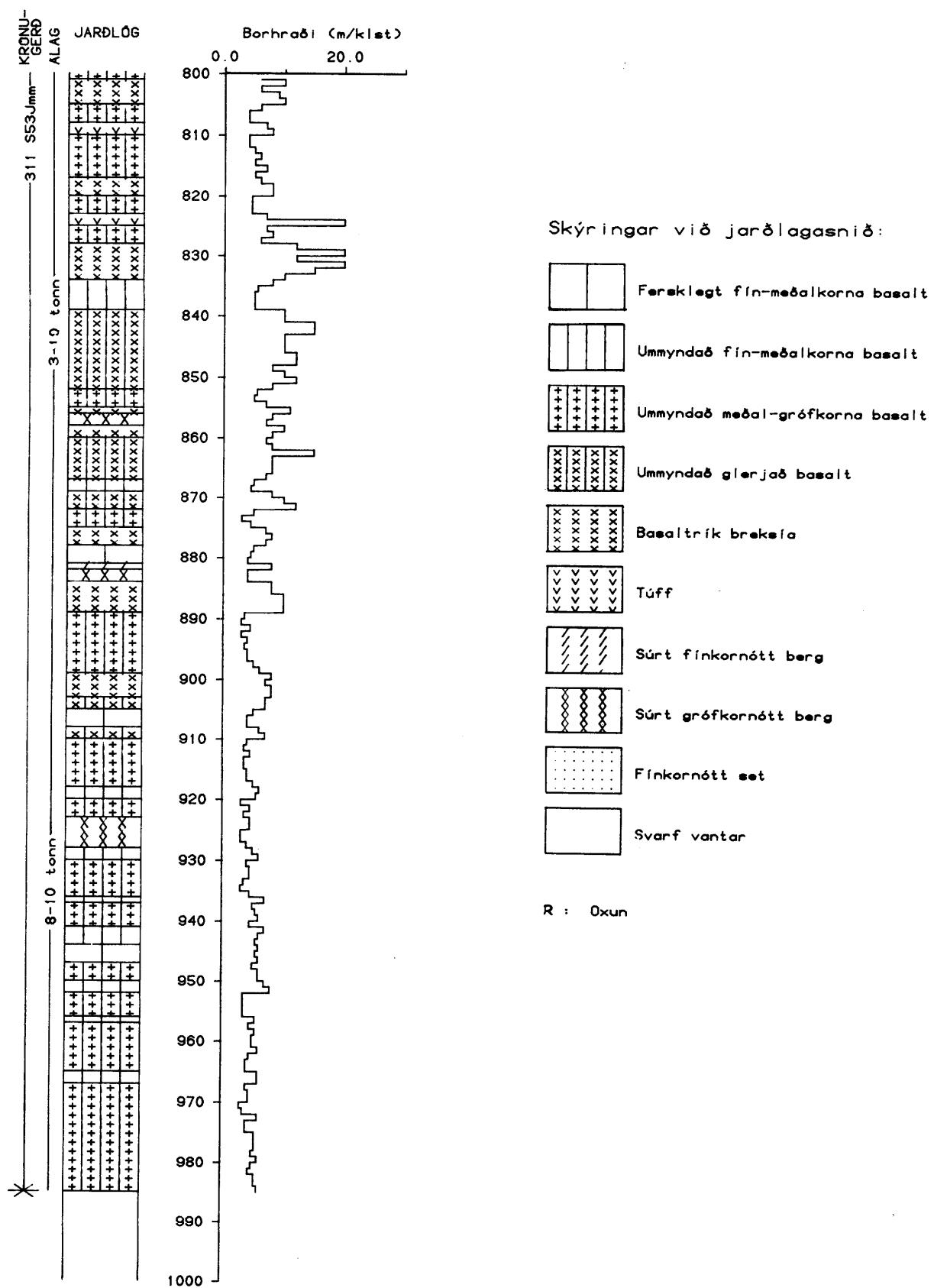
KJ-3A JARÐLAGASNÍÐ



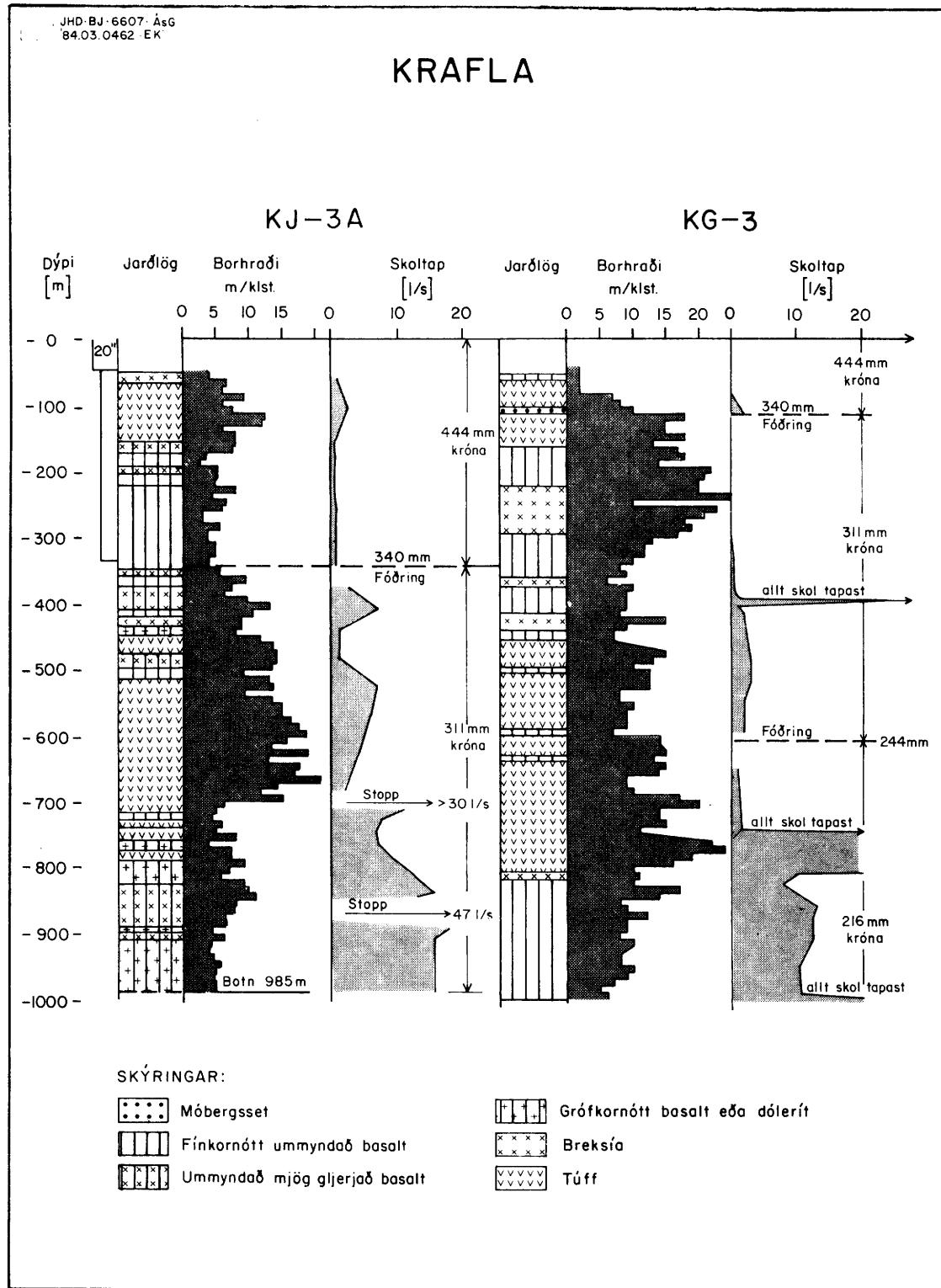
Mynd 4 Jarðlagasnið frh.

JHD-BJ-6607 ÁsG
84.03.0436 T /4

KJ-3A JARÐLAGASNIÐ



Mynd 4 Jarðlagasnið frh.



Mynd 5 Einfölduð jarðlagasnið og skoltap í borun

4 UMMYNDUN

I áfangaskýrslu um borun KJ-3A (Viðauki V-1) var lítið fjallað um ummyndunarsteindir á þeirri forsendu, að ósamræmi væri milli mælds hita í Leirbotnasvæðinu og þess hita, sem ummyndunarsteindir gefa til kynna. Samt sem áður var ummyndun athuguð á sambærilegan hátt og gert hefur verið við rannsóknir á svarfi úr Kröfluholum. Markmiðið með því var að kanna hvort einhvers konar breytingar væru greinanlegar frá því hola KG-3 var boruð 1975 (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1976). Niðurstöður benda til, að allir meginindrættir í ummyndun svæðisins séu óbreyttir frá 1975.

Gaumgæfileg athugun á fyrirliggjandi gögnum bendir hins vegar til, að ósamræmið milli núverandi berghita í Leirbotnasvæðinu og ummyndunar sé minna en hingað til hefur verið halddið fram. Hér verður í stuttu máli gerð grein fyrir því hvernig nota má ummyndun til að túlka breytingar í þróunarsögu jarðhitasvæðisins. Lykillinn að slikri túlkun er þekking á því hitabili, sem ummyndunarsteindir myndast og þrífast á. I töflu 1 eru nefndar þær steindir, sem mest verður lagt upp úr hér á eftir í túlkun gagna úr KJ-3A og tilgreint á hvaða hitabili þær myndast og eru stöðugar á.

TAFLA 1 Steindir notaðar til ákvörðunar á ummyndunarhi

Steindir	Myndast við °C	Hverfa við °C
Laumontít	?-200	≈ 200
Wairakít	≈ 200-?	
Smektit	?-200	≈ 200
Blandlagsleir	≈ 200-(220-230)	≈ 220-230
Klórít	≈ 220-340 *	?
Prenít	≈ 200-?	?
Epidót	≈ 230-340 *	?

* Hæstur mældur hiti í borholu á landinu

Annars végir er um að ræða ummyndunarsteindir, sem myndast við hærri hita en 230°C og virðast ekki brotna niður þó að viðkomandi svæði kólni. Hins végir ummyndunarsteindir, sem hverfa þegar komið er í hita undir 230°C . Þetta er mikilvægt að hafa í huga því ef t. d. epidót og blandlagsleir finnast saman má telja mjög líklegt að kólun hafi átt sér stað á svæðinu.

A mynd 6 er sýnd dreifing ummyndunarsteinda samhliða einfölduðu jarðlagasniði. Ekkert ferskt gler fannst og er ummyndun því að magni til mjög mikil sérstaklega í móberginu og glerjaða hluta basallaganna. I efstu 200-250 metrunum eru smektít og zeólitar einkennandi ummyndunarsteindir og gefa þær til kynna hitastig undir 200°C . Tilvist blandlagsleirs og vísbending um wairakít falla ekki vel að þessari mynd, en hugsanlega eru þessar steindir að hverfa. Nokkuð skörp skil virðast vera á 200- 250 m dýpi. Smektít hverfur á tæpum 200 m og blandlagsleir tekur þar við, wairakít greinist svo öruggt sé á tæplega 250 m dýpi og laumontít hverfur alveg á um 280 m dýpi. Hníga þar af leiðandi flest rök að því, að á þessu dýptarbili liggi 200°C mörkin.

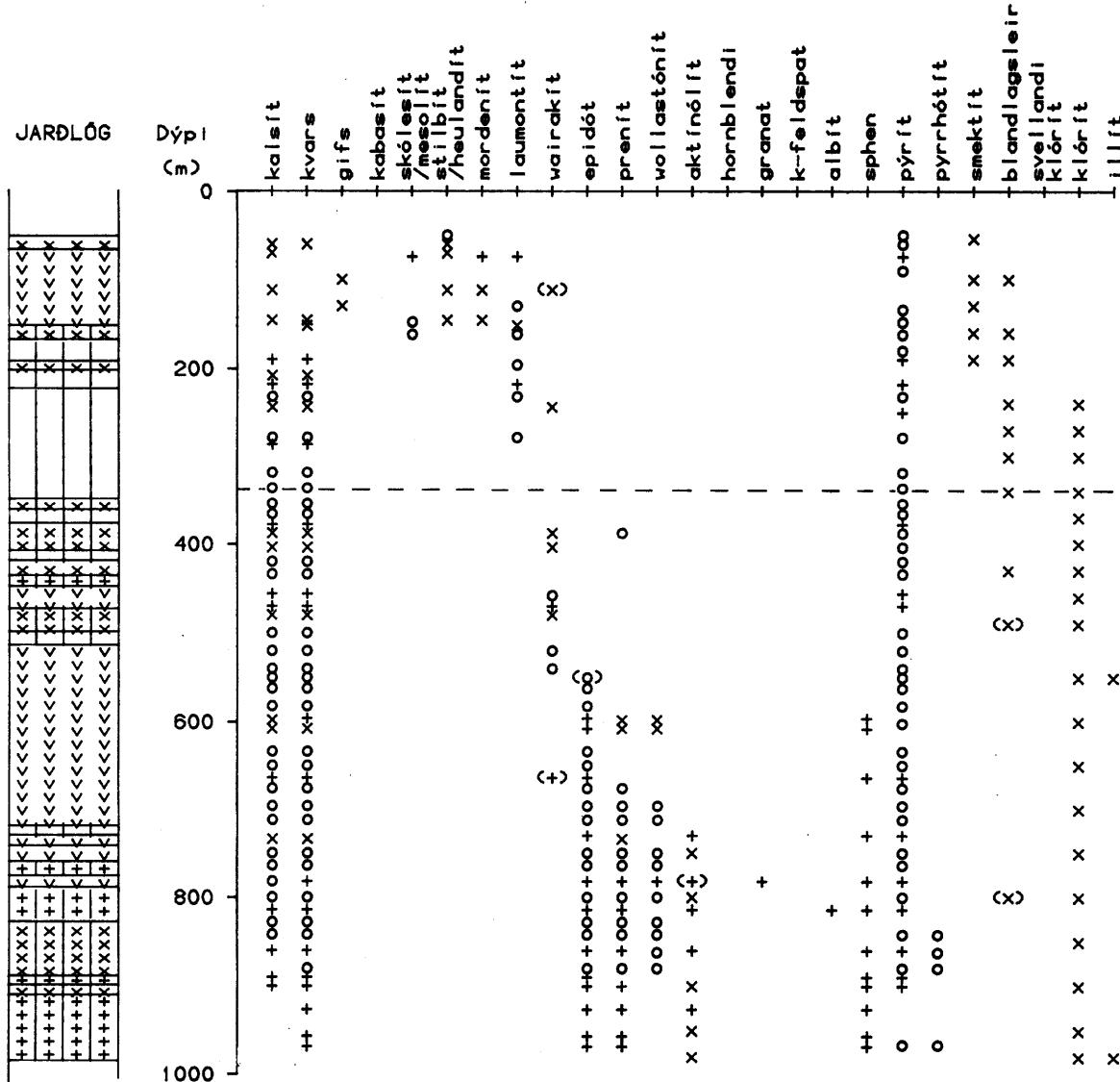
Klórít og blandlagsleir sjást saman meira og minna niður á 500 m dýpi og er líklegast, að blandlagsleirinn sé í jafnvægi við ríkjandi ástand. Þar af leiðandi sýnir klórít merki um kólunum á þessu dýptarbili. Wairakít virðist hverfa á um 550 m dýpi, en ekki er ljóst hvað það þýðir. Af ofansögðu má vera nokkuð ljóst, að gott samræmi er milli mælds hita og ummyndunarhita niður á 500-550 m dýpi.

Epidót finnst fyrst á 550 m dýpi og er einkennandi ummyndunarsteind frá tæpum 600 metrum og niður holuna. Á um 600 m dýpi sést wollastónít og fannst samfellt frá 650 m niður í tæpa 900 m. Aktínólít finnst fyrst á 730 m dýpi og samfellt þaðan og niður. Klórít sést samfellt frá tæpum 250 m niður á botn holu í 985 m dýpi. Tilvist ofangreindra ummyndunarsteinda gefur til kynna berghita ofan við $230-250^{\circ}\text{C}$, en það er í nokkru ósamræmi við mældan hita. Ef jarðlagasnið og dreifing ummyndunarsteinda á mynd 6 eru borin saman kemur í ljós, að blandlagsleir og klórít sjást saman frá 250 m og niður á 550 m dýpi, en þar fyrir neðan sést blandlagsleir aðeins á u.p.b. 800 m dýpi. Frá 550 m og niður á u.p.b. 800 m dýpi er móbergstúff ráðandi berggerð. Í nærliggjandi holum, þar sem hitamælingar eru ekki truflaðar af rennsli eins og í KJ-3A, mælist ívið hærri hiti á sama dýptarbili heldur en fyrir ofan og neðan (Jarðhitadeild 1977). Vatnsleiðni er þar mjög treg og hefur hugsanlega valdið því, að túffið kólnaði hægar. Ummyndunarsteindir gefa til kynna, að hiti hafi að minnsta kosti verið kominn í 230°C á 550 m dýpi og í $250-260^{\circ}\text{C}$ á um 600 m dýpi, en þar fyrir neðan sést epidót samfellt. Líklegt er að hitinn hafi farið hækkandi með dýpi og fyrir neðan 1000 m dýpi hafi hann verið sambærilegur við núverandi hitaástand.

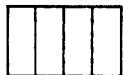
JHD-BJ-6607 A-G
84.03.0437 T

KJ-3A

DREIFING UMMYNDUNARSTEINDA



Skýringar:



Ummyndað fin-mæðalkorna basalt

\times : XRD-graining



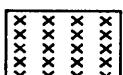
Ummyndað meðal-grófkorna basalt

+ : Punnsne i òargreining



Ummynðað glerjað basalt

(C) : Oviss greining

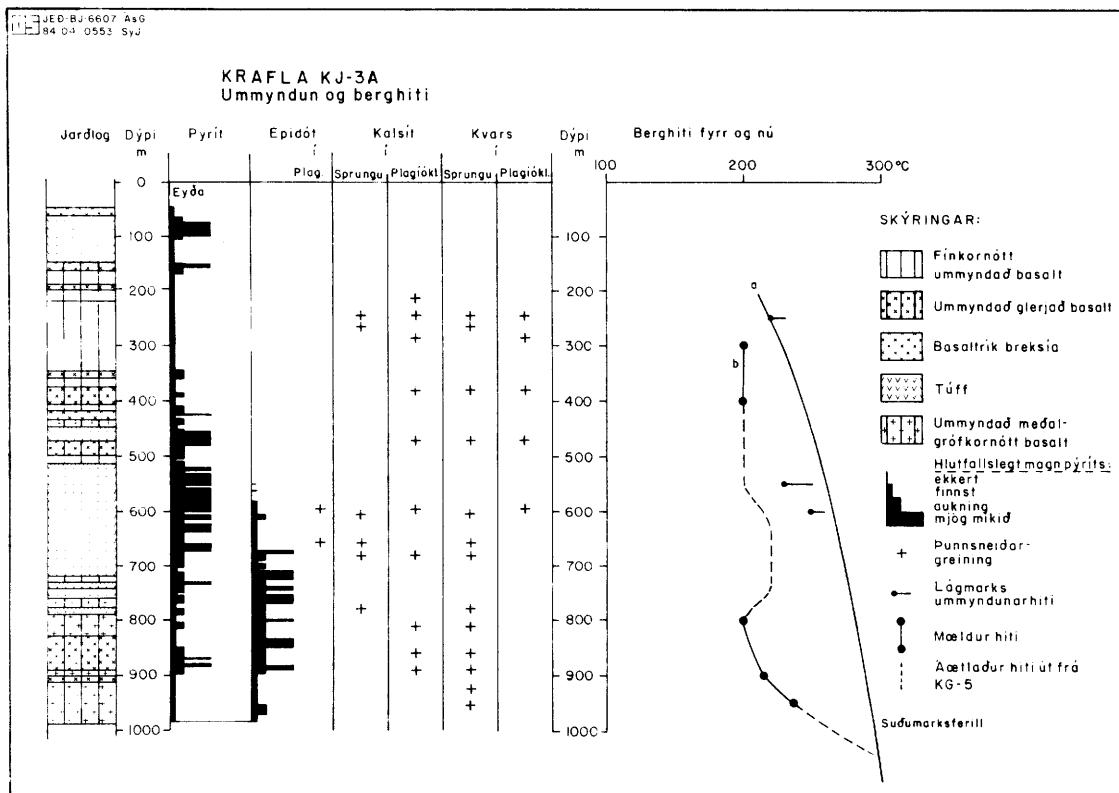


Basal trisk break(s)

Natürliche Färbungen



Túff



Mynd 7 Ummundun og berghiti

Samkvæmt því hefði hitastig getað fylgt suðumarksferli langleiðina til yfirborðs (mynd 7 ferill a). Síðar meir hefur svæðið kólnað niður í núverandi ástand (mynd 7 ferill b) og er vísrending um það í ummynduninni, þar sem blandlagsleir sást niður á 550 m og síðan eitt sýni á um 800 m dýpi. Ekki er fullkomlega ljóst hvenær og hvernig kólununin byrjaði. Líkur eru fyrir því, að kólununin sé tengd N-S brotakerfinu og kælingin því greið eftir sprungunum niður í láréttu leiðaranana, í þessu tilfelli niður á rúmlega 800 m dýpi. Ennfremur nær kæling inn eftir öllum láréttum leiðurum þar ofan við, sem eru í tengslum við sprungurnar (mynd 8). Ef til vill er þetta skýring á háum hitastigli frá liðlega 800 m niður í 1000 m á Leirbotnasvæðinu við holu KJ-3A og í næsta nágrenni, en fram til þessa hefur því verið haldið fram, að þétt innskotslög á u.p.b. 900-1200 m dýpi aðskilji jarðhitakerfin.

Hér að framan hefur verið fjallað um ummyndunarsteindir, sem gefa nokkuð ákveðna vísrendingu um hitastigsbreytingar í jarðhitakerfinu en öðrum steindum gerð lítil sem engin skil. Fleiri þætti en bein tengsl við hitastig má sjá við athugun á ummyndunarsteindum og má nefna sem dæmi hugsanlega efnaflutninga innan jarðhitakerfisins. Á mynd 7 eru sýndar hlutfallslegar magnbreytingar á pýrti og epidóti með dýpi og

eru þær fundnar með beinum athugunum á svarfi samhliða borun. Magnbreytingar á pýríti virðast fyrst oa fremst vera háðar berggerð og vatnsinnihaldi bergsins. Svipað má ef til vill segja um epidót en þar koma einnig skýrt fram áhrif hækkandi hita. Kalsít og kvars eru algengustu ummyndunarsteindirnar og var reynt að meta við hvaða aðstæður þær mynduðust, sbr. mynd 7. Samkvæmt því virðist kvars vera meira í sprungum heldur en kalsít, en kalsít aftur á móti meira í sjálfu berginu.

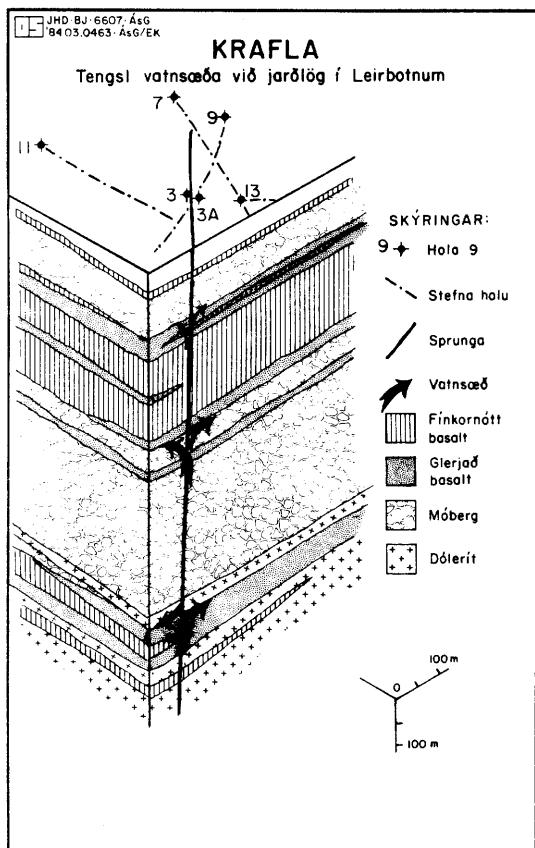
5 VATNSÆÐAR

Alls fundust 7 vatnsæðar í holu KJ-3A, og eru 5 þeirra í vinnsluhluta holunnar. Æðarnar eru merktar m.a. inn á mynd 9, en æðar KG-3 eru sýndar þar til samanburðar. Opnustu vinnsluæðar KJ-3A eru á 390 og 790 m dýpi, en öflugar æðar komu einmitt fram í KG-3 á svipuðu dýpi (396 og 810). Hvorug holan var þrepadæld, og er því ekkert mat til á vatnsleiðni þeirra.

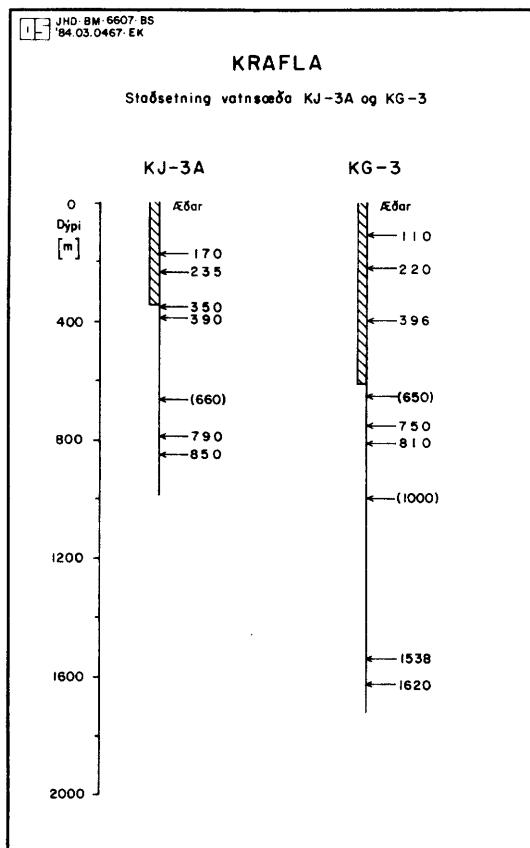
Um staðsetningu æða KJ-3A og tengsl þeirra við jarðlagastaflann er eftirfarandi vitað:

- 170 m. Æðin er á mótum Móbergsmyndunar 1 og Basaltmyndunar 2. Engar skoltapsbreytingar urðu við æðina í borun, en í hitamælingum eftir steypingu fóðurrörs í holuna er kælipunktur á þessu dýpi.
- 235 m. Engar skoltapsbreytingar urðu í borun, en hins vegar mældist kæling á þessu dýpi í hitamælingu eftir steypingu fóðurrörs. Æðin er á mótum tveggja basaltlaga. Basaltið er mun glerjaðra við æðina en á næstu tugum metra fyrir ofan og neðan 235 m dýpi.
- 350 m. Æðin er rétt neðan fóðurrörsenda. Hún er tengd glerjuðu basaltlagi eða basaltkarga við hraunlag. Skoltap í borun var 3 l/s en æðin kemur skýrt fram í hitamælingu eftir að hætt var að dæla í holuna við lok borunar.
- 390 m. Æðin sést í hitamælingum. Hún er á mótum Basaltmyndunar 2 og Móbergsmyndunar 2. Engar breytingar voru sjáanlegar á skoltapi. Sterk æð er á u.p.b. þessu dýpi í holum KG-3, KJ-9 og KJ-13.
- 660 m. Óveruleg æð er á þessu dýpi skv. hitamælingu. Engar skoltapsbreytingar urðu hér í borun. Samkvæmt borhraðalínuriti gæti verið örþunnt basaltlag (hart) á 660 m dýpi, en það sést ekki í svarfinu.
- 790 m. Neðri mörk Móbergsmyndunar 2 eru á u.p.b. þessu dýpi í KJ-3A, og eykst tíðni innskota verulega þegar komið er niður fyrir 800 m dýpi. Æðin sést greinilega í hitamælingu og einnig sjást skoltapsbreytingar.
- 850 m. Æðin kemur fram í hitamælingum. Á rúmum 850 m sker þunnt dólerítinnskot glerjuð basaltlög. Svipað innskot er einnig að finna í tæpum 860 m.

Á mynd 8 eru ofangreind atriði dregin saman og sýnt á einfaldan hátt hvernig helstu æðar KJ-3A tengjast jarðfræðilegri uppbyggingu svæðisins. Besta láréttu leiðnin virðist vera á mótum móbergs- og basaltmyndananna, en löðrétt streymi í kerfinu á þessum stað er talið tengjast sprungu, sem liggur NV-SA við holutopp KG-3. Hreyfðist sú sprunga í umbrotunum veturinn 1975/76 og olli m.a. skemmd á fóðringu KG-3 á u.þ.b. 75 m dýpi.



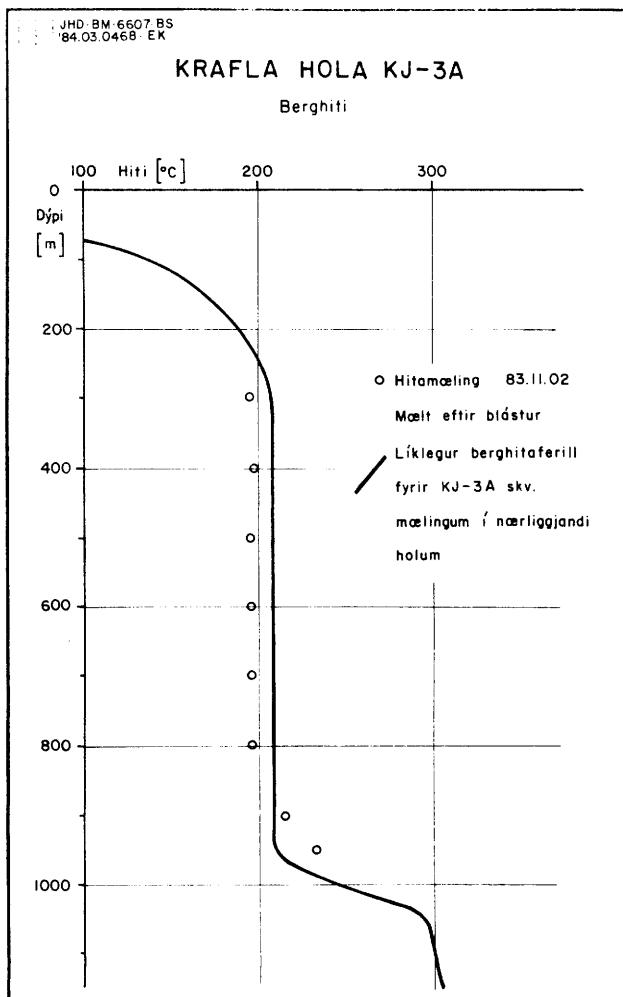
Mynd 8 Tengsl vatnsæða við jarðlög í Leirbotnum



Mynd 9 Staðsetning vatnsæða KJ-3A og KG-3

6 BERGHITI

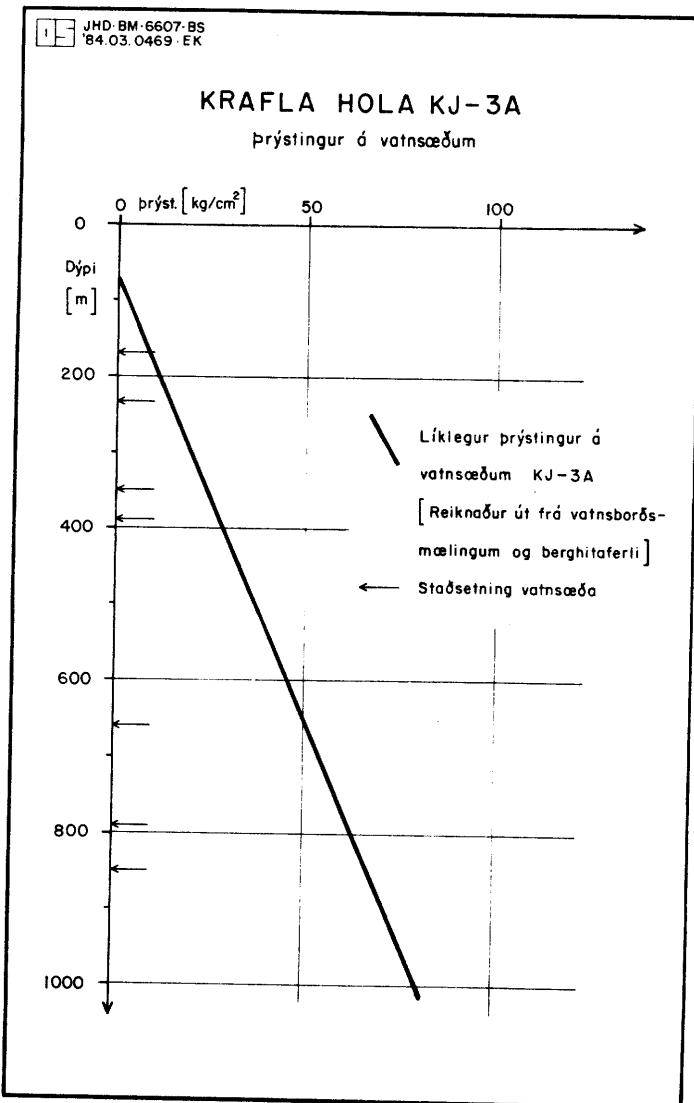
Hitaástand Leirbotnasvæðisins er vel þekkt. Samkvæmt hitamælingum í holum nærri KJ-3A var fyrirfram búist við um 210°C hita í KJ-3A, og enn fremur að efri hluti Leirbotnasvæðisins næði niður á u.p.b. 1000 m dýpi á þessum stað. Á mynd 10 er þessi berghitaferill sýndur ásamt niðurstöðu þeirrar einu hitamælingar, sem gerð hefur verið í holunni. Af myndinni virðist spáin um berghita ekki hafa staðist fyllilega. Til dæmis nær efri hluti jarðhitakerfisins ekki dýpra en í 900 m dýpi, og samkvæmt hitamælingunni er kerfið nokkru kaldara en við var búist eða um 200°C . Það skal þó tekið fram að hitamælingin var gerð skömmu eftir að holan fór í blástur, og því ekki ljóst hvort hún var orðin fullheit eftir borun. Annað atriði sem einnig gæti ruglað mælinguna er millistreymi úr æðum á 350-390 m dýpi niður í æðar á 790-850 m dýpi. Reiknað varmainnihald fyrir holuna í blæstri bendir til 210°C innstrey mishita og verður því að teljast líklegt að berghiti við KJ-3A sé hærri en hitamælingin frá 2. nóvember 1983 gefur til kynna.



Mynd 10 Berghiti

7 ÞRÝSTINGUR Á VATNSÆÐUM

Engar þrýstimælingar eru til úr holu KJ-3A áður en hún fór í blástur. Engu að síður hefur verið reynt að meta þrýsting á vatnsæðum útfrá vatnsborðsmælingum í upphitun eftir borun, og berghitaferli. Er niðurstöðan sýnd á mynd 11. Gott samræmi er við þrýsting í nærliggjandi holum.



Mynd 11 Þrýstingur á vatnsæðum

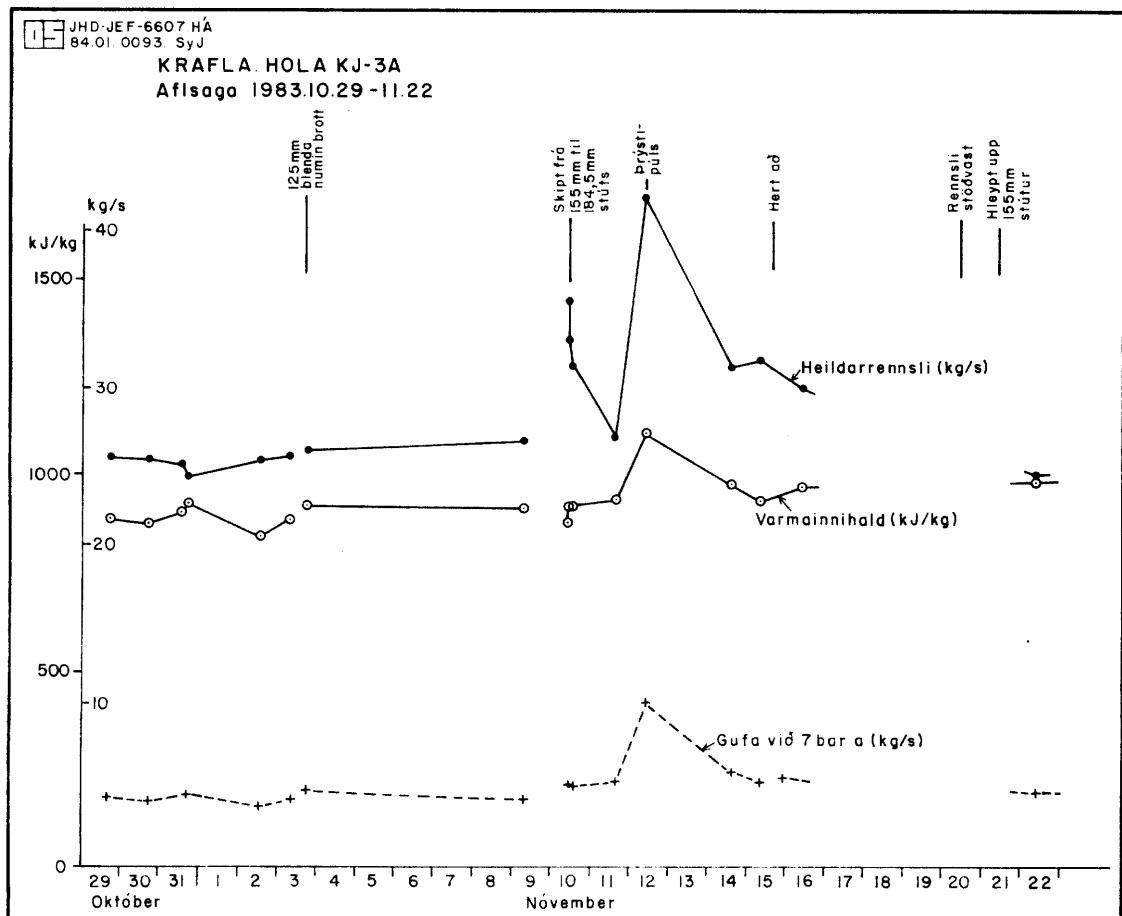
8 AFL

KJ-3A var hleypt í blástur 29. október 1983. Fyrstu vikurnar blés holan út í hljóðdeyfi, en frá 23. nóvember hefur hún blásið inn á lágþrýstihluta gufuveitunnar.

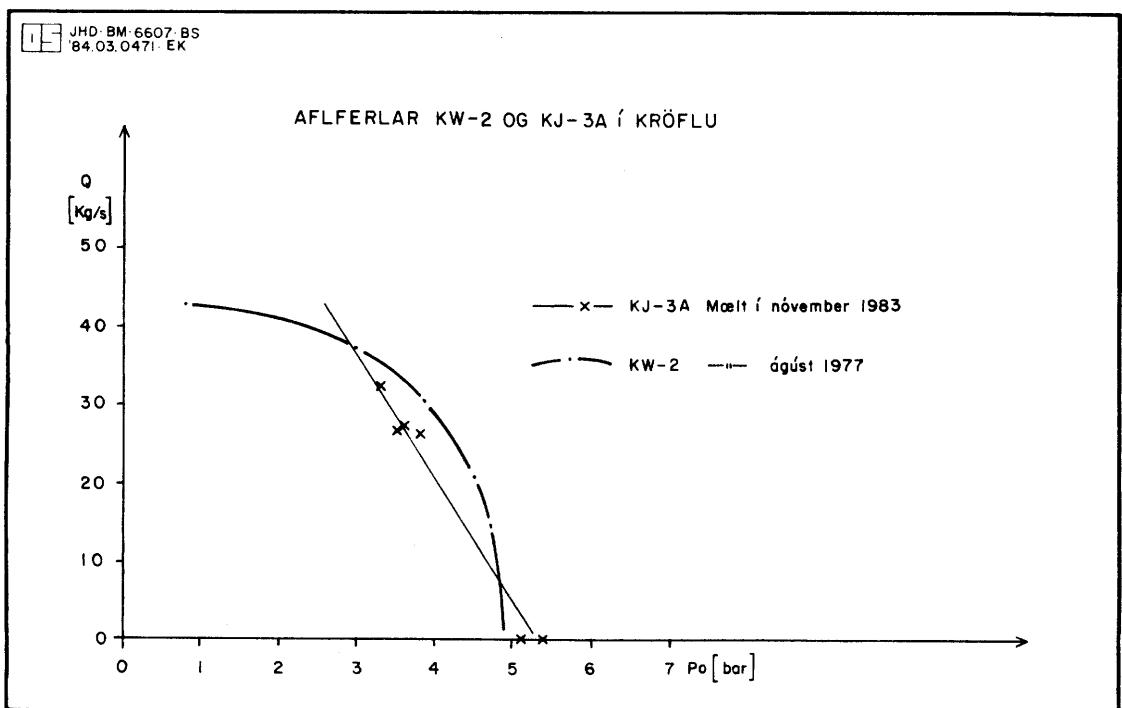
Á tímabilinu 29. október - 23. nóvember var holan aflmæld reglulega, en engar mælingar eru til á afli hennar eftir að hún var tekin í notkun. Greint er frá niðurstöðum mælinganna í viðauka (V-2), en aflsaga holunnar fyrstu vikurnar í blæstri er sýnd á mynd 12. Nokkrir punktar á aflferli fengust með notkun misstórra mælistúta, ásamt lokunarþrýstingi. Er sá ferill sýndur á mynd 13, en til samanburðar er sýndur aflferill KW-2, en hann er dæmigerður fyrir holur, sem vinna úr efri hluta Leirbotnasvæðisins.

Snemma fór að bera á afslsveiflum í KJ-3A. Fóru þar saman breytingar í heildarflæði og varmainnihilði. Auðveldast reyndist hins vegar að fylgjast með óróanum með því að sírita þrýsting á holutoppi. Breytist þrýstingur verulega og mælist í einstaka hviðum langt upp fyrir þann lokunarþrýsting, sem sýndur er á mynd 13. Greint er frá þessum athugunum í Viðauka V-2. Talið er að orsök þýstihviðanna sé sú að heitur vöki úr neðri hluta Leirbotnakerfisins brjóti sér öðru hvoru leið inn í holuna, og hefur verið bent á holu KG-3 sem hugsanlega tengingu milli KJ-3A og neðri hluta.

Afl KJ-3A er af ofangreindum ástæðum nokkuð breytilegt. Í vinnslu er holan rekin við u.p.b. 3,5 bar a móþrýsting og gefur hún því skv. aflferlinum á mynd 13 um 30 kg/s, þar af er lágþrýstigufa um 5 kg/s, sem samsvarar 1,5 MW afli í virkjuninni. Í þrýstihviðunum eykst aflið hins vegar, og lætur nærrí að það tvöfaldist í stærstu hviðunum.



Mynd 12 Afslaga 1983.10.29 - 11.22



Mynd 13 AFLFERLAR KW-2 og KJ-3A

9 EFNASAMSETNING RENNIS

Eitt sýni var tekið til efnagreininga úr holu KJ-3A haustið 1983. Niðurstöður efnagreininga reiknaðar til heildarstyrks í renni skv. forritinu HHEIL (Trausti Hauksson 1981) eru skráðar í töflu 2. Fjallað er um efnahlutföll og samanburð við efnasamsetningu rennis annarra hola og útfellingahættu í viðauka V-2. Helstu hagnýtar niðurstöður eru:

TAFLA 2 Krafla, Hola KJ-3A. Styrkur efna

Dags.	Sýni	Po nr	Ho bar a	SiO ₂ kJ/kg	Na mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	SO ₄ mg/kg
831031	1071	4,4	922	381	202	23,1	3,2	0,01	262

Cl mg/kg	F mg/kg	UE mg/kg	CO ₂ mg/kg	H ₂ S mg/kg	H ₂ mg/kg	CH ₄ mg/kg	N ₂ mg/kg	R _n dpm/kg
25	0,55	994	619	60,4	0,85	0,77	6,17	411

- 1) Gasstyrkur er það lítill, að hann ætti ekki að verða til trafala við vinnslu.
- 2) Sýrustig vatns er hátt.
- 3) Mettunarþrýstingur ópals er innan við 2 bar a, svo að kísilfellingar ættu ekki að verða til vandræða.
- 4) Vatnið er yfirmettað með tilliti til kalsíts, svo að ekki er unnt að útiloka kalsítútfellingar. Yfirmettun þessi er þó minni en í holu KJ-9, sem þarf að hreinsa árlega vegna slikra fellinga.

Að efnasamsetningu til flokkast renni holunnar til efrihlutarennis á Leirbotnasvæði. Í þeim holum er yfirleitt lítill munur á styrk efna í vatnfasa, nema þá helst í flúorstyrk. Aðalmunurinn liggar hins vegar í gasstyrk og hlutföllum milli styrks hinna ýmsu gastegunda. Gestur Gíslason o.fl. (1978) notuðu þennan mun til að ráða efrihlutaholum eftir fjarlægð frá uppstreymi, sem gert er ráð fyrir að sé afrennsli frá neðrihluta. Þær niðurstöður, sem síðar hafa fengist staðfesta þá

röðun og nú er unnt að fella þær tvær efrihlutaholur, sem síðan hafa byrjað blástur, inn í þá mynd. Í stuttu máli er hugmyndin sú, að hlutföllin $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ og $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ lækki í átt frá uppstreymi vegna mismunandi leysni þessara gastegunda í vatnsfasa ($\text{H}_2\text{S} > \text{CO}_2 > \text{H}_2$). Í töflu 2 eru þessi hlutföll rakin fyrir þær holur, sem upplýsingar eru til um hreinan efrihluta í. Í sömu töflu eru einnig upplýsingar um kvarshita og alkalihita (Stefán Arnórsson o.fl. 1983). Stuðst var við meðaltöl, þar sem þau voru tiltæk, en annars valin kennisýni. Þá verður röð holanna miðað við fjarlægð frá uppstreymi sú, sem sýnd er í töflu 3.

TAFLA 3 Leirbotnar, efrihlutarenni.
Gashlutföll og efnahiti

Hola nr	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ (mg/mg)	$\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ (mg/mg) $\times 10$	T kvars °C	T Na/K
KJ-3A	10,2 1)	14,1 1)	226 1)	227 1)
KJ-9 (E)	7,7 2)	10,6 2)	240 3)	207 3)
KG-5	7,7 4)	6,7 4)	230 4)	211 4)
KW-2	4,4 5)	2,6 5)	218 6)	182 6)
KG-8	3,3 7)	0,95 7)	215 8)	223 8)
KJ-11 (E)	1,8 9)	0,45 9)	219 10)	218 10)

- 1) Sýni nr 1071 1983.10.31
- 2) Meðaltal 1977.02.06-07.23 (9 sýni).
- 3) Sýni nr 1141 1977.06.30
- 4) Meðaltal 1983.08.03-09.13 (2 sýni).
- 5) Meðaltal 1975.01.09-1980.06.11 (15 sýni)
- 6) Sýni nr 1020 1980.06.11.
- 7) Meðaltal 1976.11.08-1982.08.03 (27 sýni)
- 8) Sýni nr 1035 1983.07.31
- 9) Meðaltal 1977.04.26-11.08 (3 sýni)
- 10) Sýni nr. 1198 1977.11.05
- (E) Eingöngu efrihluti

Gestur Gíslason o.fl. (1978) gerðu ráð fyrir, að um einhvers konar láréttan leiðara væri að ræða í efri hluta og að beint samband væri

milli holanna. Lektarprófanir á Suðurhlíða- og Hvíthólasvæðum hafa hins vegar leitt í ljós sprunguleiðni (Valgarður Stefánsson o.fl. 1984, Benedikt Steingrímsson o.fl. 1984). Þar sem jarðlagaskipan er í grundvallaratriðum ekki frábrugðin öðrum hlutum Kröflusvæðisins í Leirbotnum, eru góðar líkur til þess, að einnig sé um sprunguleiðni að ræða þar. Að auki má geta þess, að niðurstöður úr holu KJ-9 og hlutur efrihlutarennis þar verða ekki túlkaðar á annan veg en þann, að rennsli sé um sprungur (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Margar vís-bendingar eru um sprunguleiðni efri hluta jarðhitakerfisins í Leirbotnum, þó að staðfestingar hennar hafi ekki verið leitað með þrepadælingu holu KJ-3A. Í eftifarandi umfjöllun verður gert ráð fyrir vatnsleiðni eftir lóðréttum (eða hallandi) sprungum með NA-SV-læga stefnu.

TAFLA 4 Leirbotnar, efri hluti. Afstæð fjarlægð hola
frá uppstreymi miðað við gashlutföll

Röð frá uppstreymi	1	2	3	4	5	6
Holur	KJ-3A	KJ-9(E)	KG-5	KW-2	KG-8	KJ-11(E)
((E) = eingöngu efri hluti)						

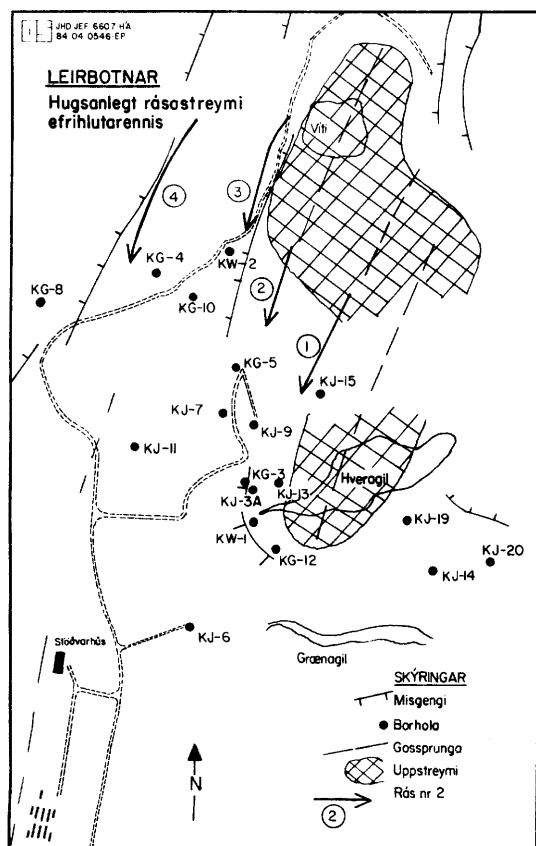
Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson (1980) kortlöggðu helstu upp-streymissvæði við Kröflu með hliðsjón af gasstyrk og gashlutföllum í gufuaugum. Komust þeir að raun um, að eitt helsta uppstreymissvæðið væri í kringum Víti og Hveragil. Halldór Ármannsson (1983) leiddi getum að því, að þar gæti verið um tvö aðskilin uppstreymissvæði að ræða. Líklega liggja nokkrar rásir efrihlutavatns frá uppstreymissvæðinu við Víti, og taka holurnar inn vökva úr mismunandi rásum, sumar úr fleiri en einni. Halldór Ármannsson og Benedikt Steingrímsson (1984) hafa fjallað um áhírf blöndunar á efnahita og hvernig ákveðið mynstur efnahita gæti verið einkennandi fyrir renni hverrar rásar. Í töflu 3 kemur fram munur á kvarshita og alkalíhita í mismunandi holum. Með hliðsjón af þeim niðurstöðum er í töflu 5 gerð tillaga um einkenni rennis fjögurra hugsanlegra meginrása, en rennsli hverrar er e.t.v. blanda. Í töflu 6 er svo sýnt hvaðan hver hola fær hugsanlega sitt renni og á mynd 14 hugsanleg staðsetning rásanna með tilliti til uppstreymis. Hola KG-10 ber mjög svipuð efnahitaeinkenni og KW-2, en gasstyrkur þar er truflaður af neðrihlutarenni. Hún er þó höfð með í töflu 6.

TAFLA 5 Leirbotnar, efrihlutarenni. Efnaeinkenni á hugsanlegum rásum

Rás nr	T kvars	T Na/K	T kvars/ T Na/K	CO ₂ /H ₂ S (mg/mg)	H ₂ /H ₂ S (mg/mg)×10	
1	220-230	220-230	Tkvars	TNa/K	ca 10	10-15
2	> 230	> 210	Tkvars >	TNa/K	5-10	5-10
3	≈ 220	≈ 180	Tkvars >	TNa/K	ca 5	1-5
4	≈ 220	≈ 220	TKvars	TNa/K	< 5	< 1

TAFLA 6 Leirbotnar, efrihlutarenni. Hugsanleg
ráseinkenni einstakra hola

Hola nr.	KJ-3A	KJ-9(E)	KG-5	KW-2	KG-10(E)	KG-8	KJ-11(E)
Rásir nr.	1	1,2,3	2,3	3	3	4	4



Mynd 14 Leirbotnar. Hugsanlegt rásastreymi efrihlutarennis

10 NIÐURSTÖÐUR

Hola KJ-3A er boruð í svæði, sem þegar var vel þekkt út frá eldri borunum. Rannsóknir á holunni bættu því litlu við þá mynd af uppbýggingu og vinnslueiginleikum Leirbotnasvæðisins, sem fyrir lágu. Samandregnar niðurstöður rannsóknanna eru eftirfarandi.

1. Jarðlagastaflinn við KJ-3A skiptist í basalt- og móbergsmýndanir. Efst eru jarðög frá nútíma (Basaltmyndun 1) og ná þau niður á 50-60 m dýpi. Síðan tekur við Móbergsmýndun 1 frá síðasta jökulskeiði, og er hún u.p.b. 100 m þykk. Basalt frá síðasta hlýskeiði er að finna frá 150-170 m dýpi niður í holubotn (985 m), og klýfur öskjufyllingin (Móbergsmýndun 2) það í tvær myndanir, Basaltmyndun 2 og 3. Öskjufyllingin kemur fram í KJ-3A á u.p.b. 400-830 m dýpi. Fá innskot greinast í efri hluta holunnar, en neðan 910 m dýpis eru innskot nær einráð. Flest innskotanna eru úr basalti, en þrjú ísúr innskot voru greind. Fellur það sem og annað vel að niðurstöðum jarðlagagreininga í nærliggjandi holum.
2. Aðeins ein hitamæling hefur verið gerð í holu KJ-3A eftir að borun lauk, og er ekki fyllilega ljóst hvort hitajafnvægi var náð í holunni þegar mælingin var gerð. Niðurstöður sýna þó að berghitaverill KJ-3A er svipaður ferli nærliggjandi hola. Efst fylgir hitastig suðumarksferli, en eftir að um 200°C hita er náð (u.p.b. 250 m dýpi) breytist hitastig ekki með dýpi fyrr en komið er niður úr efri hluta svæðisins á u.p.b. 900 m dýpi. Varmainnihald borholurennis svarar til 210°C innstrey mishita, er það nokkuð hærra hitastig en mældist við vatnsæðar, og bendir það m.a. til þess að holan hafi ekki verið í hitajafnvægi þegar hitamælingin var gerð.
3. Ummynndun í efri hluta Leirbotnasvæðisins hefur längum verið talin endurspeglar hitaástand svæðisins, þegar það var mun heitara en það er í dag. Athugun á ummynndun KJ-3A sýnir að þetta er ekki allskostar rétt. Með því að bera saman dreifingu ummynunarsteinda og þau hitastigsbil sem þær eru taldar þrífast við, má greina merki þess að svæðið hafi kólnað, og draga upp ummynnarferil, sem samsvarar betur núverandi hitaástandi svæðisins.
4. Alls fundust sjö vatnsæðar í KJ-3A, og eru fimm þeirra neðan vinnslufóðringa. Sterkustu æðarnar eru á 390 og 790 m dýpi, þ.e. við efri og neðri jaðra öskjufyllingarinnar. Sterkar æðar komu fram á svipuðum dýpum í holu KG-3, og sést reyndar að á um 400 m dýpi í flestum nærliggjandi holum, sem sýnir að um láréttan vatnsleiðara er að ræða.

5. Renni holunnar er dæmigert efrihlutarenni. Gasstyrkur er lágur og sýrustig vatnsins hátt. Nokkur hætta er á kalsítútfellingum í holunni, en þess ber að geta að yfirmettum með tilliti til kalsíts er minna en t.d. í holu KJ-9.

Samanburður á gashlutföllum í renni úr efrihlutaholum bendir til að KJ-3A sé "stytst" frá uppstreymisrás úr neðri hluta svæðisins.

6. KJ-3A er lágþrýstihola með lokunarþrýsting um 5,5 bar og samsvarar varmainnihald um 210°C innstrey mishita. Í vinnslu er holan rekin við 3,5 bar mótþrýsting og gefur hún um 30 kg/s í heildarflæði. Hlutur lágþrýstigufu er um 5 kg/s.
7. Aflsveiflur hafa mælst í holunni. Í sveiflunum fylgjast að aukið massastreymi og hækkan varmainnihalds. Fer toppþrýstingur í stærstu hviðunum langt upp fyrir venjulegan lokunarþrýsting holunnar. Ástæðan fyrir þessum breytingum er talin vera sú, að renni úr neðri hluta svæðisins brjóti sér öðru hvoru leið inn í holuna. Bent hefur verið á holu KG-3 sem hugsanlegan leiðara milli neðri hlutans og holu KJ-3A.

HEIMILDIR

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Halldór Ármannsson, Hilmar Sigvaldason, Jón Benjamínsson & Ómar Sigurðsson 1983: Krafla, Hola KJ-9. Aflsaga, efnabreytingar og endurborun. Orkustofnun, OS-83075/JHD 13. 56 s.

Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius & Ómar Sigurðsson 1984: Krafla, Hola KJ-23. Borun og rannsóknir. Lokaskýrsla. Orkustofnun, OS-84032/JHD 03.

Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1978: Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustofnun, OS-JHD-7846. 45 s.

Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980: Krafla. Samsetning gass í gufuaugum. Orkustofnun, OS-80027/JHD 16. 51 s.

Halldór Ármannsson 1983: An improved model of the flow in the Krafla geothermal system. 4th Int. Symp. on Water-Rock Interaction, August 29 - September 3, 1983, Misasa, Japan: 32-35.

Halldór Ármannsson & Benedikt Steingrímsson 1984: Krafla, Hola KJ-22. Upphitun, upphleyping og blástur. Orkustofnun, OS-84008/JHD-2 B. 26 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðmundur Ó. Friðleifsson & Einar Gunnlaugsson 1976: Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu. Borun vatnsæðar og niðurstöður berggreininga. Orkustofnun, OS JHD 7641. 22 bls.

Jarðhitadeild 1977: Krafla. Mælingar í borholum September "74 - apríl "77. Orkustofnun OS JHD 7720.

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson & Hördur Svavarsson 1983: The chemistry of geothermal waters in Iceland: III Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochim. Cosmochim Acta, 47: 567-577.

Trausti Hauksson 1981: Lýsing á forritunum LHEIL, HHEIL, LHLUT og HHLUT. Orkustofnun, TH-81/07. 20 s.

Valgarður Stefánsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Guðni Axelsson,

Halldór Ármansson, Hilmar Sigvaldason, Jón Benjamínsson & Ómar Sigurðsson 1984: Krafla. Holur KJ-16, 17 og 18. Rannsóknir samhliða borun og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, (í undirbúningi).



ORKUSTOFNUN
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

- 35 -

VIÐAUKI V-1

KRAFLA
Borun holu KJ-3A

Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Dagbjartur Sigursteinsson
Guðjón Guðmundsson
Sigurður Benediktsson

OS-83092/JHD-31 B

Október 1983

EPMISYFIRLIT

	Bls.
1 INNGANGUR	3
2 Borun fyrir 340 mm fóðringu	3
3 Borun 311 mm vinnsluholu	6
4 JARELÖG OG UMMYNDUN	8

TÖFLUR

1 Gangur borunar	10
2 Fóðrunarskýrsla	11
3 KRAFLA HOLA 3A. Borholumælingar	13

MYNDIR

1 Afstöðumynd er sýnir staðsetningu holu KJ-3A	14
2 Einfaldað jarðlagasnið og mælingar í borun	15
3 Hitamælingar í borun	16
4 Upphitun í 334 m	17
5 Steyping 13 328" fóðringar	18
6 Hitamæling eftir steypingu 13 328" fóðringar	19
7 CBL-mæling	20
8 Hitamæling í borun	21
9 Hitamælingar við borlok	22
10 Hitamælingar við borlok	23
11 Framvinda borunar	24

1 INNGANGUR

Seinni hluta sumars 1983 var ákveðið að bora 800-1000 m holu í Kröflu í peim tilgangi að nýta hana fyrir lág-prýstíprep vélar nr. 1 í Kröfluvirkjun. Eiginleikar efrakerfisvökva í Leirbotnasvæðinu voru taldir henta vel, en þar er um að ræða vökva með lágt gasinnihald og hitastig á bilinu 200-230°C. Vinnsludýpi mun vera frá 300-400 m niður á liðlega 1000 m dýpi. Fram að þessu hefur þetta svæði verið fóðrað af, þar sem útilokað hefur verið að vinna bæði úr efra og neðra kerfi í sömu holu. Framhaldið var því að velja borstað, þar sem vænta mætti gðös árangurs. Öll gögn varðandi boranir í Leirbotnasvæðið voru yfirfarin. Alls var um að ræða 9 holur (KW-1, KG-3, KG-5, KJ-6, KJ-9, KJ-11, KG-12 og KJ-13), en aðeins þrjár þeirra, KG-3, KG-5 og KJ-13, virtust skera sterkar æðar á umræddu vinnsludýpi og er það fyrst og fremst byggt á skoltapsmælingum í borun. Vænlegasti kosturinn þótti því vera við holur KG-3 og KJ-13 (mynd 1) og var holan staðsett skammt austan við KG-3, en þó þannig að hún var austan við sprungu, sem talin er hafa skemmt fóðringu í KG-3 á u.p.b. 70-80 m dýpi. Í borskýrslum KG-3 voru skráð þrjú meiri-háttar skoltöp, p.e. yfir 40 l/s, en aðeins eitt í KJ-13.

KG-3	KJ-13
-----	-----
396 m	384 m
750 m	
830 m	

Dýptartölur eru miðaðar við drifborð viðkomandi bortækis Holunni var gefið nafnið KJ-3A.

2 Borun fyrir 340 mm fóðringu

Föstudaginn 23. september var mastur Jötuns fellt við holu KJ-23 og flutningur á holu KJ-3A undirbúinn. Verkið vannst fljótt og vel og klukkan 22:20 priðjudagskvöldið 27. september var byrjað að bora.

Aður hafði höggbor 3 borað niður á 47 m dýpi (ath. dýptartölur eru miðaðar við drifborð Jötuns) og fóðrað með 473 mm (18 5/8") fóðringu. Jötunn hóf borun með 444 mm (17

1/2") krónu af gerðinni S-53 J. Til að byrja með var vatn notað til skolunar, p.e. niður á 112 m dýpi, en þá var botnfall orðið um 10 m og því sýnt að nauðsynlegt væri að nota gel til að fleyta borsvarfinu til yfirborðs. Borun gekk snurðulaust og var komið niður á 345 m dýpi skömmu fyrir miðnætti 30. september og var það jafnframt fóðringardýpi. Á mynd 2 eru sýnd samhliða einfaldað jarðlagasnið, meðaltalsborhraði fyrir hverja 10 m, skoltap, dæling og prýstingur á dælum. Þar kemur skýrt fram að lítið sem ekkert skoltap var meðan á borun stóð, en við stangaríbætingu í 225 m tapaðist eitthvað skol um stundarsakir án þess að það kæmi fram í reglubundnum tapmælingum fyrir og eftir. Í töflu 1 eru tölulegar upplýsingar um hvernig borunin gekk.

Eftir að borun lauk var holan skoluð á þriðja tíma og var aðeins eins meters botnfall að því loknu. Þá var leðjunni (gelinu) skolað úr holunni og holan hreinsuð eins og unnt var. Að afstöðnum þessum hreingerningum var holan hitameld innan í stöngum og eru niðurstöður sýndar á mynd 3 ásamt hitamælingu, sem gerð var eftir að stangir höfðu verið teknar upp úr holunni. Ferill A er mæling niður holuna, en þar var beðið í tæpar 30 mínútur og fylgst með upphitun. Ferill B er mæling upp. Á mynd 4 er sýndur upphitunarhraði og reyndist hann vera um 4° á 20 mínútum, en holunni var haldið fullri á meðan með innan við eins sekúnduliters dælingu. Að víddarmælingu lokinni var fóðrun undirbúin og um hádegisibilið þann 1. október var byrjað að fóðra. Veður tafði fyrir þannig að fóðringin var ekki komin niður í holuna fyrr en milli klukkan 2 og 3 nóttina eftir. Undir morgun var búið að tengja stangir við stungustykki og byrjað að skola og kæla holuna. Allar upplýsingar varðandi fóðringu eru sýndar í fóðringarskýrslu í töflu 2. Fljóttlega varð vart við 15 l/s skoltap, sem jókst smáum saman og var það komið í u.p.b. 35 l/s um klukkan 11, en minnkaði síðan í 20 l/s án þess að nokkuð hefði verið að gert. Aður en farið var út í fóðringarsteypingu var reynt að pétta lekann eins og mögulegt var. Tvær svokallaðar leka-steypingar voru reyndar. Sú fyrri fór fram á þann hátt að fyrst var dælt niður 1000 l af 10% CaCl₂ (vegsalt) upplausn, þar á eftir fóru 1000 l af vatni. Því næst var dælt 1000 l af glervatni (vandglas) og þar á eftir 1000 l af vatni og aðgerð lauk með dælingu á þunnri steypulögum. Að aðgerð lokinni minnkaði lekinn sem hér segir:

eftir 30 mín	13 l/s
" 60 "	6 "
" 90 "	9 "

Lekinn var breytilegur, en árangur þótti ekki viðunandi og var þetta því endurtekið með tvöfalt meira magni en í fyrra skiptið. Skoltap minnkaði eftir það niður í 7 l/s. Alls voru notuð 5 tonn af sementi, tvö tonn í fyrri aðgerðina, en þjú í þá seinni. Þegar hér var komið sögu var ákveðið að reyna að steypa főringuna. Steyping byrjaði kl 18:15 og var lokið kl 19:05. Steypt var úr 40 tonnum af sementi, sem var blanda af G-sementi og Portlandsementi. Meðal eðlisþyngd steypunnar var um 1,6. Eðlisþyngd steypunnar sem kom upp var 1,5, en steypan seig niður og féll prýstingur á dælu við það úr 19 kg/cm^2 í 0. Í eftirdælingu fór prýstingur upp í $17,5 \text{ kg/sm}^2$, sem benti til þess að steypan hefði ekki sigið meira en fáeina tugi metra. Á mynd 5 er sýnt hvernig steypingin gekk.

Þar sem grunnvatnsborð á svæðinu er á 80-90 m dýpi mátti telja líklegt að ekkert vatn væri ofan á steypunni og var því fljóttlega farið í að steypa það sem á vantaði ofan frá. Prisvar sinnum þurfti að steypa, þar sem steypan seig jafnharðan. Í fyrri tvö skiptin voru samtals notuð 8 tonn en 2 tonn í þá síðustu. Alls voru notuð 55 tonn af sementi í steypurnar. Eftir að þessum aðgerðum var lokið hafði steypan sigið 4 m niður fyrir kjallarabotn og var steypt upp áður en byrjað var að bora á ný.

Aðfaranótt mánudagsins 3. októbers var kraginn (flangsinn) soðinn á og um morguninn var byrjað að koma öryggislokum fyrir. Um klukkan 11 var hafist handa við mælingar. Fyrst var hitamælt (mynd 6) og síðan var CBL-mælt (mynd 7). Við þá mælingu sáust ekki neinar veilur í steypunni, þar sem búist var við steypuskilum.

Áður en króna var sett niður til áframhaldandi borunar var hitamælt og er mælingin sýnd á mynd 6. Samkvæmt henni var óhætt að setja krónuna niður í 250 m án þess að kæla holuna. Þar neðan við þótti öruggara að tína stangirnar niður, eina í einu og kæla holuna til að koma í veg fyrir ofhitnun krónunnar. A 311 m dýpi var komið niður á stungustykki og var það borað úr ásamt steypunni sem var þar neðan við. Áður var getið um að főringarendinn væri á 337 m dýpi, en holan var boruð niður í 345 m með 444 mm krónu. Í 339 m dýpi var komið niður úr steypunni og því ljóst að nokkuð stórv skápur mundi verða undir főringarendanum, þegar byrjað yrði að bora með 311 mm krónunni.

3 Borun 311 mm vinnsluholu

Borun vinnsluhluta KJ-3A byrjaði kl 04:20 aðfaranótt 4. október. Notuð var 311 mm (12 1/4") króna af gerðinni FP-62. Borunin fór rólega af stað og var álagið 12-14 þúsund pund og snúningshraði krónu 60-70 sn/mín (snúnigar á minútu). Fljóttlega var álagið aukið í 24-26 þúsund pund og jökkst borhraðinn verulega við pað. Þegar komið var niður á 699 m stíflaðist krónan, er verið var að bæta í stöng. Nauðsynlegt reyndist að taka upp borstrenginn til að hreinsa stífluna úr krónunni. Þá kom í ljós að holan tók við meira en 30 l/s, en aðeins minniháttar skoltöp höfðu komið fram í borun fram að því. Reyndar kom þetta ekki á óvart því áður hafði komið vísbending um pað sem í vændum var, þegar hallamælt var á rúmlega 500 m dýpi, og tók holan þá greinilega við meiru en komið hafði fram áður í reglu bundnum mælingum. Holan var hitamæld (mynd 8) áður en að niðursetningu kom til þess að sjá hversu djúpt setja mætti niður krónuna án kælingar. Samkvæmt mælingunni var óhætt að setja niður í 620 m án kælingar, en kæla holuna þar neðan við. Borun hófst á ný kl 02:10 aðfaranótt 6. október. Fljóttlega stíflaðist krónan aftur, en stíflunni var spýtt úr án þess að til upptektar kæmi. Eftir þetta var ákveðið að fara hægar í sakirnar og álagið þar af leiðandi minnkað. Pað var nokkuð breytilegt, 5-20 þúsund pund, og var pað aukið í hörðu bergi en dregið úr því þegar linaðist. Lítillsháttar töf var þegar prýstibarki á "standpipe" sprakk, en annars gekk borun vel og var lokið 8. október kl 14:55. Í töflu 1 eru dregnar saman nokkrar tölulegar upplýsingar um gang borunar. Á mynd 2 eru sýnd samhliða einfaldað jarölagasnið, meðaltalsborhraði fyrir 10 metra bil, halli holu, skoltapsbreytingar, dæling og prýstingur á dælum. Miðað við þær sjáanlegu breytingar á skoli, sem eru sýndar á mynd 2, mætti ætla að nokkrar sæmilegar æðar hefðu verið skornar, en eins og áður var getið um tók holan við yfir 30 l/s þegar stoppað var í 699 m og samkvæmt hitamælingu er sú æð á um 400 m dýpi. Þegar dýpið var 796 m minnkaði rennsli úr holunni um stundarsakir og benti pað til þess að þar hafi verið skorin æð.

Að lokinni borun var holan skoluð í 4 tíma og jökkst tapið við pað smám saman, en pað var 20 l/s þegar borun lauk. Einum og hálfum tíma síðar var það komið í rúma 23 l/s og 1/2 tíma síðar í 30 l/s. Að fjórum tíum liðnum frá því að borun lauk var tapið nálægt 60 l/s. Næst var holan

hallamæld á premur stöðum. Aður hafði verið hallamælt á 507 m dýpi. Niðurstöður mælinganna eru sem hér segir:

Dýpt holu	Halli
250 m	0,4°
507 m	2,4°
750 m	3,2°
950 m	4,0°

Eftir hallamælingar var hitamælt innan í stöngum og eru niðurstöður sýndar á mynd 10. Meðan á hitamælingu stóð var dælt 23 l/s, en dæling var síðan aukin í 35 l/s og var vatnsborð på á 75 m dýpi. Að afstaðinni hitamælingu var holan keld frá krónu í u.p.b. einn tíma á meðan útbrot var undirbúið. Byrjað var að brjóta út rétt fyrir miðnætti og var því lokið undir morgun. Þá var hitamælt á nýjan leik og eru niðurstöður sýndar á mynd 10 ásamt niðurstöðum úr hitamælingum, sem gerðar voru seinni part dagsins, þ.e. premur tímum eftir að hætt var að dæla á holuna.

A mynd 11 er sýnt hvernig verkinu miðaði áfram en það tók alls 17 verkdaga.

BORHOLUMÆLINGAR, sem gerðar voru á meðan borun stóð yfir, eru skráðar í töflu 3. Öllum jarðlagamælingum var sleppt að þessu sinni þar sem verið var að bora í tiltölulega vel pekkt svæði. Í fóðringardýpi (345 m) voru gerðar hitamælingar (mynd 3) og víddarmæling. Á víddarmælingunni kemur fram að holan er nokkuð útvískað á bilinu frá 50-100 m dýpi en mjög lítið þar fyrir neðan.

Eftir steypingu fóðurrörs var CBL-mælt og sýnir sú mæling að steypan er öll svipuð að gæðum og engin eiginleg skil koma fram milli þess sem steypt var neðan frá og ofan frá. Þó má af mælingunni ráða að steypan ofan frá nær niður á u.p.b. 57 m dýpi (mælt frá drifborði Jötuns) (mynd 7a og 7b). Hitamælingar sem gerðar voru eftir steypingu eru sýndar á mynd 6.

Eftir að borun vinnsluhluta holunnar hófst voru aðeins gerðar hitamælingar, fyrst þegar bordýpi var 699 m og síðan við borlok (myndir 8-10). Á hitamælingunum koma fram æðar á tæplega 400 m, 790 m og 850 m dýpi en einnig smáæð á um 660 m dýpi. Dælingu var hætt í holuna sunnudaginn 9. október kl 13:30 og var hitamælt 2 1/2 tíma seinna. Á þeirri mælingu (mynd 10) kemur fram millirennslu úr 400 m

æðinni niður í 850 m. Líklegt má telja að holan verði fljótt að hitna þar sem svo öflugt millirennslí er í henni (í 400 m hafði holan hitnað um $5,7^{\circ}\text{C}$ á 53 minútum). Í þessari síðustu mælingu var vatnsborð á 107,5 m dýpi en hafði verið í 75 m dýpi við 35 l/s ádælingu (dýptartölur miðaðar við driftborð Jötuns).

4 JARÐLÖG OG UMMYNDUN

Hola KJ-3A var staðsett á nokkuð vel pekktu svæði. Eins og fram kemur á afstöðumynd (mynd 1) þá er holan á milli KG-3 og KJ-13, en þó nær þeirri fyrr nefndu. Þrátt fyrir að lítilsháttar munur sé á jarðlögum KJ-13 og KG-3, þá eru megin myndanirnar þær sömu og fellur KJ-3A vel inn í þá heildarmynd.

Þetta dýptarbil, sem hér er um að ræða, hefur verið skipt niður í nokkuð vel afmarkaðar jarðlagamyndanir eins og gert verður grein fyrir hér á eftir:

Basaltmyndun I: Hún sést efst í holunni og tilheyrir basaltlagið á 50-60 m dýpi henni og eru það jafnframt neðri mörk myndunarinnar.

Móbergsmynndun I: Hún spannar bilið frá 60 m niður á 150 m dýpi. Túff og basaltbreksíur einkenna myndunina, en þunn fínkornótt basaltlög gegnumstinga hana hér og þar. Móbergsset sést á milli 100 og 110 m og hefur það einnig verið greint í nærliggjandi holum á svipuðu dýpi. Allt bergið er mikið ummyndað og ekkert ferskt berg var greint.

Basaltmyndun II: Hún nær frá 150 m niður í 420 m. Neðri mörkin er ekki gott að staðsetja, en þau gætu legið á bilinu frá 380 m niður í 420 m. Einmitt í þessum kafla kemur inn sterk æð og er hún á svipuðu dýpi í nærliggjandi holum. Það má segja að hún liggi nokkurnveginn á mótmum Basaltmyndunar II og Móbergsmynundunar II

Eins og nafn myndunarinnar, sem hér er verið að lýsa, gefur til kynna eru basalthraunlög einkennandi. Þau eru að jafnaði fínkornótt og all ummynduð. Viða er bergið glerjað og má telja líklegast að þar sé um að ræða karga sem tilheyri hraunlögunum.

Móbergsmynndun II: Hún nær frá 420 m niður í u.p.b. 130 m. Mjög útfellingaríkt móbergstúff er einkennandi fyrir myndunina. Neðan við 700 m dýpi sjást dólerítinnskot og

eykst tiföni þeirra niður á við. Tiltölulega fá og þunn basaltlög gegnumstinga túffið. Neðarlega eða á 790-800 m dýpi er greinileg æð sem kemur fram í þunnu túfflagi á milli dólerítinnskota. Athyglisvert við myndunina er, að æðarnar sem eru tengdar henni koma á jöðrunum, en aðeins ein veik, aumingjaleg æð gæti verið á 660 m dýpi. Samkvæmt hitamælingu á mynd 8. Samt sem áður er magn útfellinga mjög mikið samanborið við aðra hluta holunnar. Má því telja að útfellingarnar hafi pétt myndunina og gert hana nánast vatnshelda.

Basaltmyndun III: Hún byrjar í 830 m dýpi, en neðri mörkin eru óljós, þar sem dólerítinnskot eru nánast einráð neðan 910 m dýpis. Þunn dólerítinnskot gegnumstinga myndunina ofan við 910 m Basaltlögin, sem parna voru greind eru mjög blöðrött og glerjuð. Oft á tiföum er ekki ljóst hvort um er að ræða basaltbreksíur eða þunn basaltlög. Á 850 m dýpi er neðsta æðin í holunni og kemur hún inn þar sem þunnt dólerítinnskot sker glerjaða basaltið.

Ummyndun er mikil í þeim jarðlögum, sem borað var í. Hún er í góðu samræmi við það sem áður hefur verið greint á þessu svæði. Allar helstu háhitasteindir eru til að mynda komnar inn á 600 m dýpi, en þar sem misræmi er milli ummyndunarhita og mælds hita í efra kerfinu på verður ummyndun ekki gerð hér frekari skil.

TAFLA 1 KJ-3 A. Gangur borunar

Dags	Dýpi (m)	Borað á sôlar- hring (m)	Bortími á sôlar- hring (klst)	Meðalbor- hraði á sôlarhring (m/klst)	Tími á borkrónu klst	Ath.semdir
27.sept	55	8	1	8	1	Borkróna var
28. "	169	114	18,5	6,2	19,5	af gerðinni
29. "	263	94	21,5	4,4	41	S-52-J
30. "	345	82	22	3,7	63	
Samtals	345	298	63	4,7	63	
4.okt	508	163	17,5	9,3	17,5	Borkróna var
5. "	699	191	14	13,6	31,5	af gerðinni
6. "	799	100	19	5,3	50,5	FP-62
7. "	916	107	20	5,4	70,5	
8. "	985	69	14	4,9	84,5	
Samtals	985	636	84,5	7,5	84,5	

Jötuns

VERK NR.	HOLA NR.	BORSTAÐUR		VERKKAUPI
640-1	KJ-3 A	Krafla		RARIK Kröfluvirkjun
VÍDD HOLU	DÝPT HOLU	FÓÐRING NR.	FÓÐRUN FRAMKV. DAGS.	ÚTFYLLT
17 1/2"	345 m	2	1983.10.01 - 03	1983.10.04 D.S.

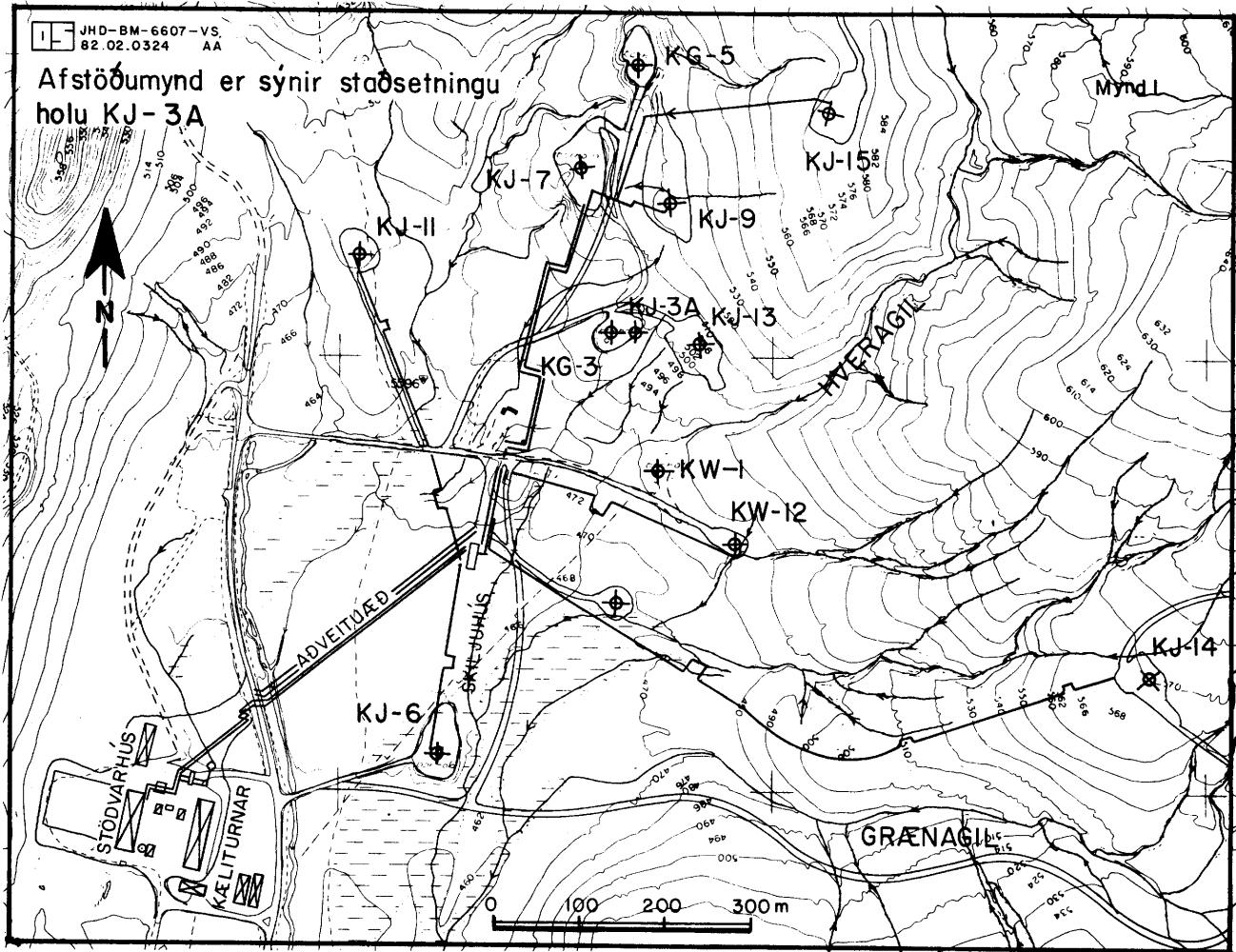
FJARLÆGÐ KJALLARABRÚN—KRAGI				2,66 m
FÓÐRING	PVERM. UTAN 13 3/8"	INNAN 317,9-315,3 mm		
	GERÐ K-55	PÝNGD 68 og 61 lbs/ft		
	TENGI Skrúfuð Buttress			
	NOTAÐ 328,84 m	FRÁ KRAGA 329,21 m		
	KRAGI(FLANGS) 12" 900			
	SKÓR Float Shoe og Float Collar f/Stungust			
	MIÐJUST. 5 stk.	STEYPUT. 0 stk.		
STEYPING	SEMENT G sement	16.000 kg		
	SEMENT Portlandsement	17.900 kg		
	ÍBL.EFNI Kísilsalli	6.000 kg		
	ÍBL.EFNI	kg		
	TAFAEFNI kg	EÐLISP. STEYPU 1,61		
	STEYPUTÆKI Haliburton Steypusamstæða			
	STEYPINGARTÍMI	43 mín		
	EFTIRDÆLING. MAGN 4000	I TÍMI 7 mín		
	STEYPA KOM UPP <input checked="" type="checkbox"/> JÁ <input type="checkbox"/> NEI			
	DÝPI Á STEYPU UTAN RÖRA seig í 80-90	m		
FRÁGANGUR	STEYPT UTAN MEÐ EFTIR	0,75 h		
	SEMENT G 10.000 kg	ÍBL.EFNI kg		
	SKORID OFAN AF EFTIR	5,0 h		
	STEYPA BORUD EFTIR	32,0 h		
	DÝPI Á STEYPU Í RÖRI	316,0 m		
VERKTÍMI	RÖR STEYPA TOPPUR TAFIR	ALLS		
	h 14,0	4,0	12,0	8 v/veð 65,5
ATH.	Flans er talinn með efsta röri. 3 efstu rörin 35,01 m eru 68 lbs/ft, afgangurinn 61 lbs/ft.			
	2 atrennur voru gerðar til þettingar fyrir steypingu og þéttist holan nokkuð. Steypa kom upp í steypingu en seig svo snögglega niður og var því steypt utan- með fljótlega í 4 áföngum með hléum á milli. Daginn eftir steypingu var svo fyllt upp síðustu 5 m sem sigið höfðu.			

RÖRATALNING		
LENGD	NR ¹⁾	ALLS m
10,98	1	10,98
12,07	2	23,05
11,96	3 _x	35,01
11,72	4	46,73
11,74	5	58,47
12,70	6	71,17
12,48	7	83,65
12,03	8	95,68
12,18	9 _x	107,86
12,33	10	120,19
12,37	11	132,56
11,73	12	144,29
12,20	13	156,49
12,27	14	168,76
12,55	15 _x	181,31
12,26	16	193,57
12,37	17	205,89
12,56	18	218,45
12,28	19	230,73
12,57	20	243,30
12,06	21	255,36
12,32	22	267,68
12,42	23	280,10
12,61	24	292,71

VERK NR.	HOLA NR.	BORSTADUR	FØDRING NR.	BL.S.
640-1	KJ-3 A	Krafla	2	2

TAFLA 3 KRAFLA HOLA 3A. Borholumælingar

Dagsetn.	Hvað mælt	Dýptarbil	Astand holu	Tilgangur	Athugasemdir
83.10.01	Hiti	0-334 m	Tap 0,65 1/s	Upphitun - æðar	Stangir í holu
" -	Hiti	0-340 "	" 0,85 1/s	Upphitun - æðar	Eftir upptekt
" -	Vidd	0-335 "		Skápar	
83.10.03	Hiti	0-310 "	13 3/8" fóðring steypt	Upphitun	v/CBL - mællingar
" -	CBL	0-270 "	- " -	Steypugæði	
" -	Hiti	0-310 "	- " -	Upphitun	Fyrir niðursetningu
83.10.05	Hiti	0-689 "	Algert skoltap	Upphitun - æðar	Borlok - f stöngum
83.10.08	Hiti	0-948	- " -	æðar	Borlok Endanl.upptekt
83.10.09	Hiti	0-963	Dælling 35 1/s	æðar	
83.10.09	Hiti	0-940	Dællingu lauk 2 tímum áður	æðar - upphitun	

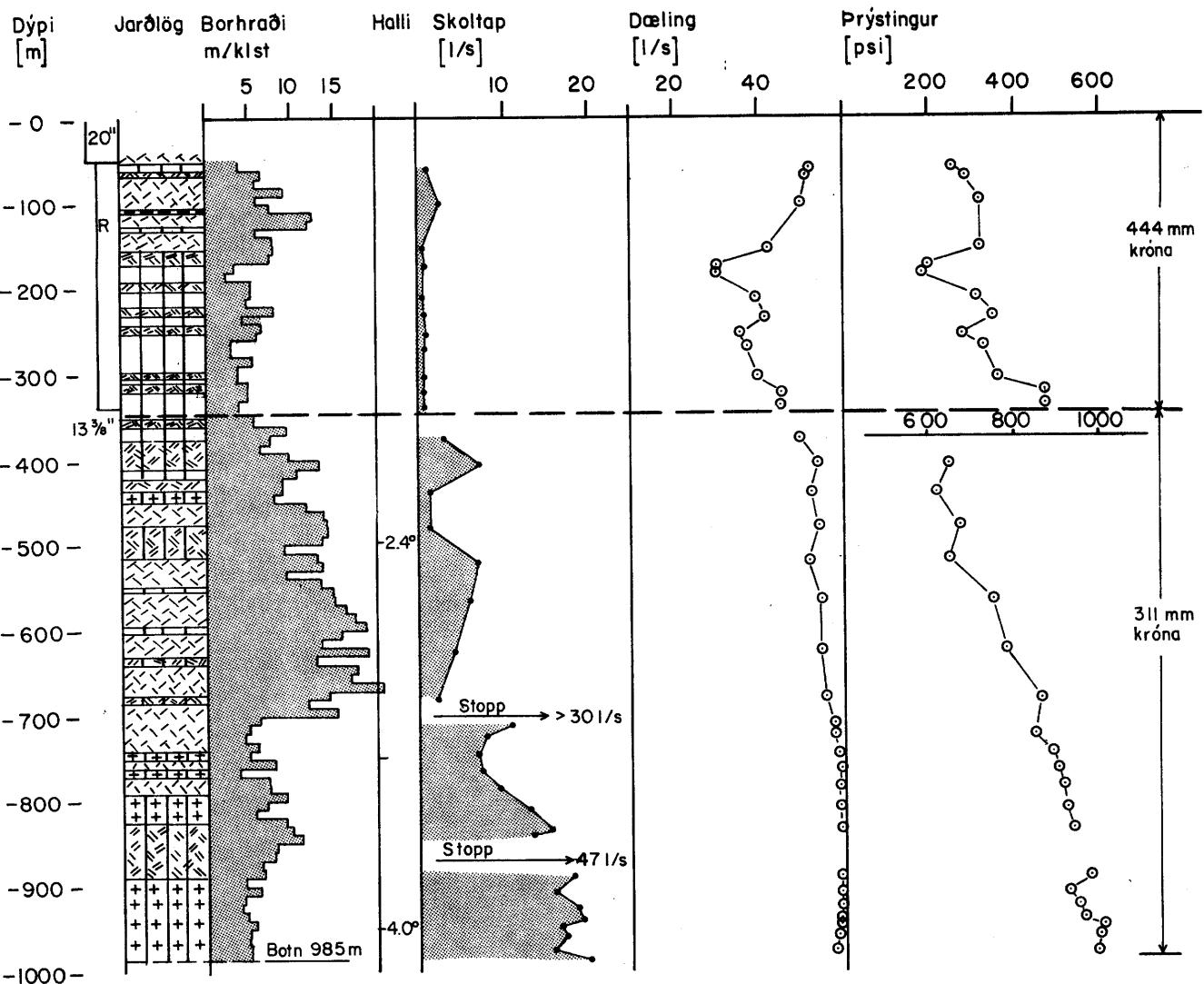


JHD-BJ-6607 ÁsG.
83.10.1367 AA

Mynd 2

KRAFLA HOLA KJ-3A

EINFALDAÐ JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR Í BORUN



SKÝRINGAR

Möbergsset

Fínkornótt ummyndað basalt

Ummynndað mjög glerjað basalt

Grófkornótt basalt eða dólerít

Brekssía

Tuff

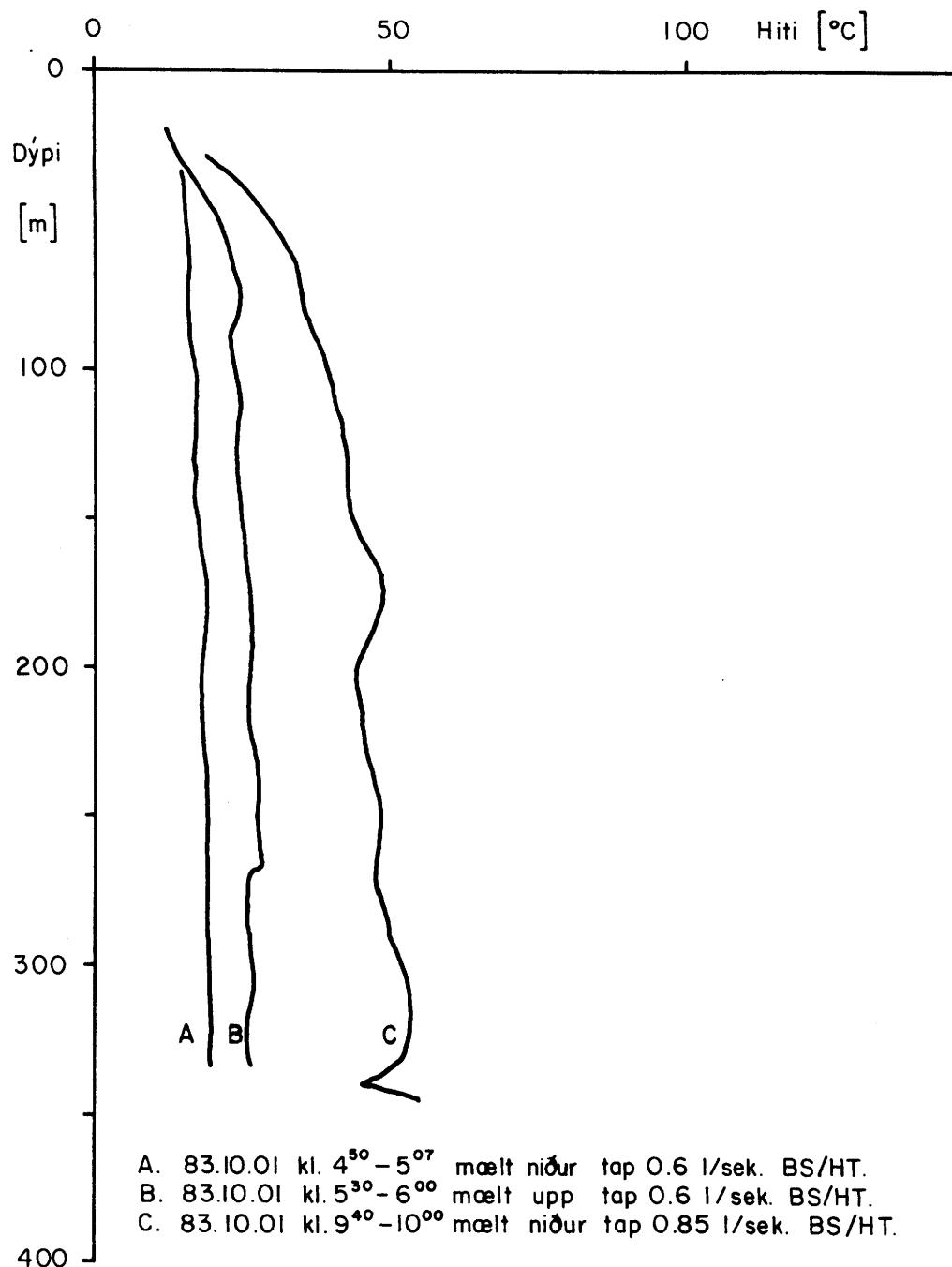
R Oxun

U Útfellingar sérlega áberandi

JHD-BM-6607 BS.HT
83.10.1368 AA

Mynd 3

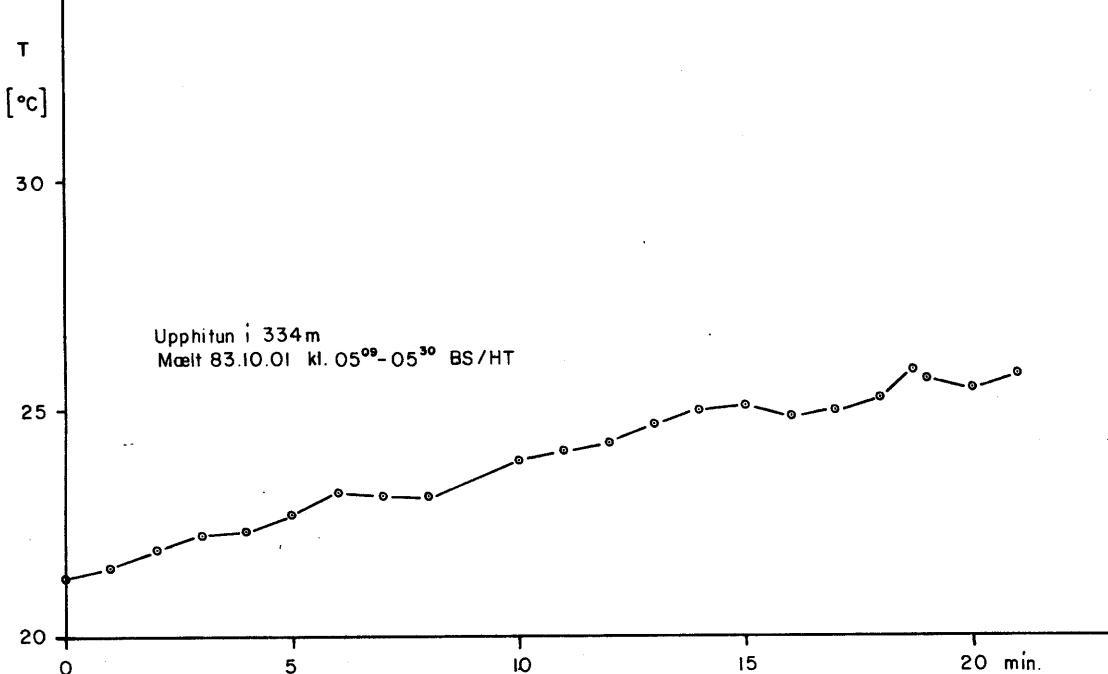
KRAFLA HOLA KJ-3A
Hitamælingar í borun



JHD-BM-6607 BS. HT.
83.10.13 69 AA

Mynd 4

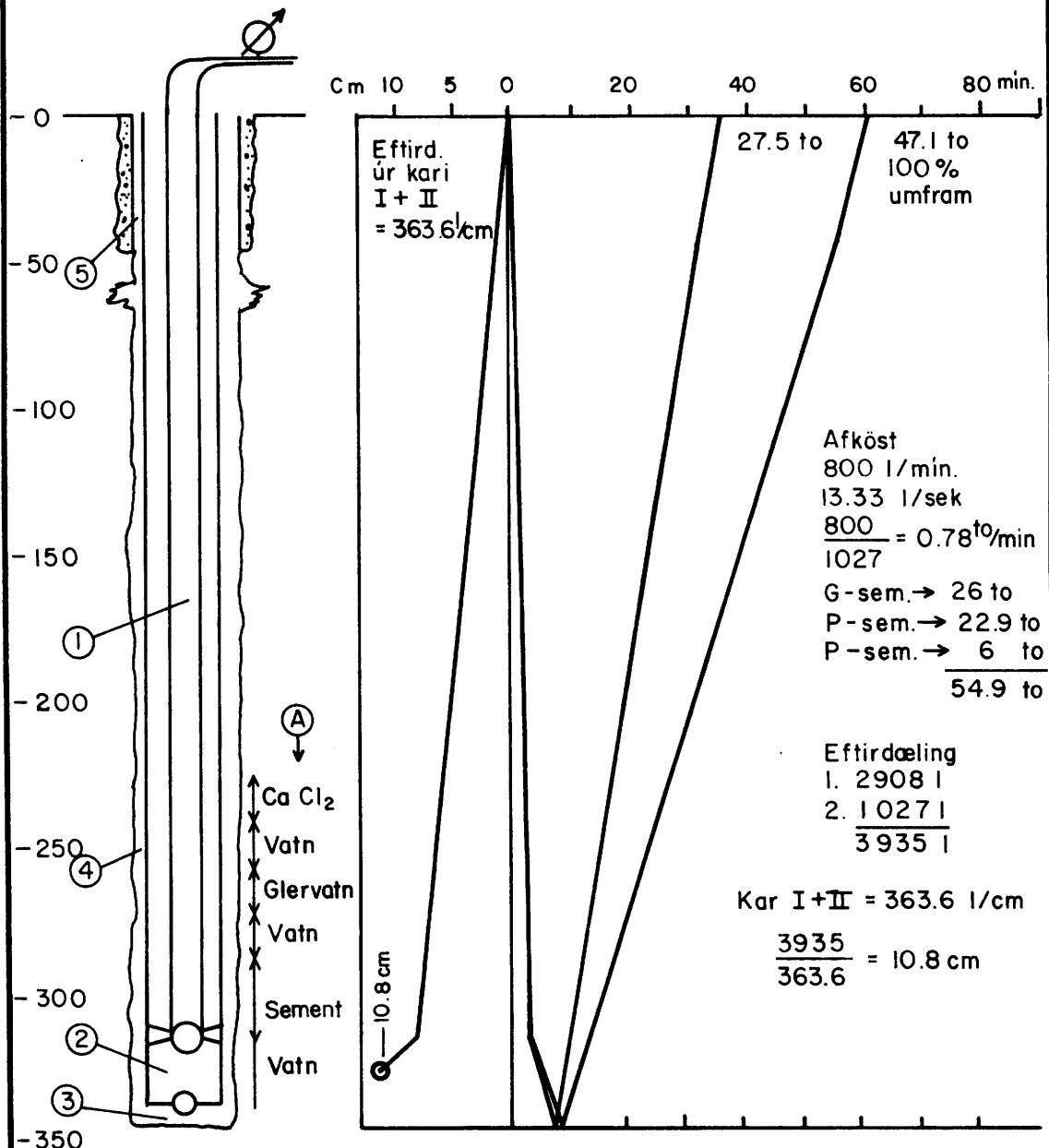
KRAFLA HOLA KJ-3A



JBR. 6607. S Ben
83.10.1370 AA

Mynd 5

Steyping 13 3/8" fóðringar i KJ-3A

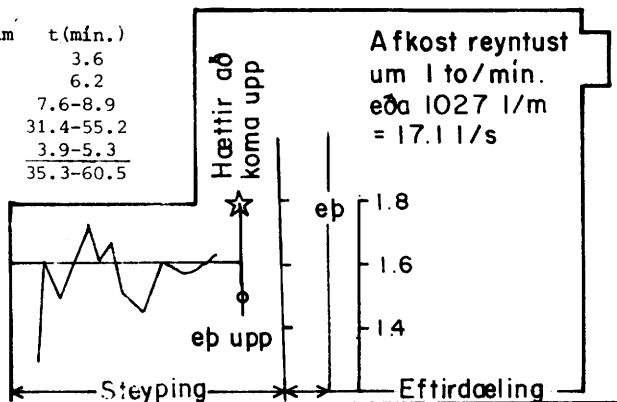


	1/m	x	m	=	1	100% umfram	t(min.)
1	9.26	x	314	=	2908	2908	3.6
2	85.6	x	24	=	2054	2054	6.2
3	155	x	7	=	1085	2170	7.6-8.9
4	65	x	293	=	19045	38090	31.4-55.2
5	70	x	45	=	3150	3150	3.9-5.3
					28242	48372	35.3-60.5

A. Déttingaraðgerðir

G-segmentsblanda 100% umfram
 Cement 1/1027 → 27.5 to 47.1 to
 Vatnshlutfall 66.45% + 182731 31298 1
 kar I+II/363.6 1/cm → 50.3 cm 86 cm

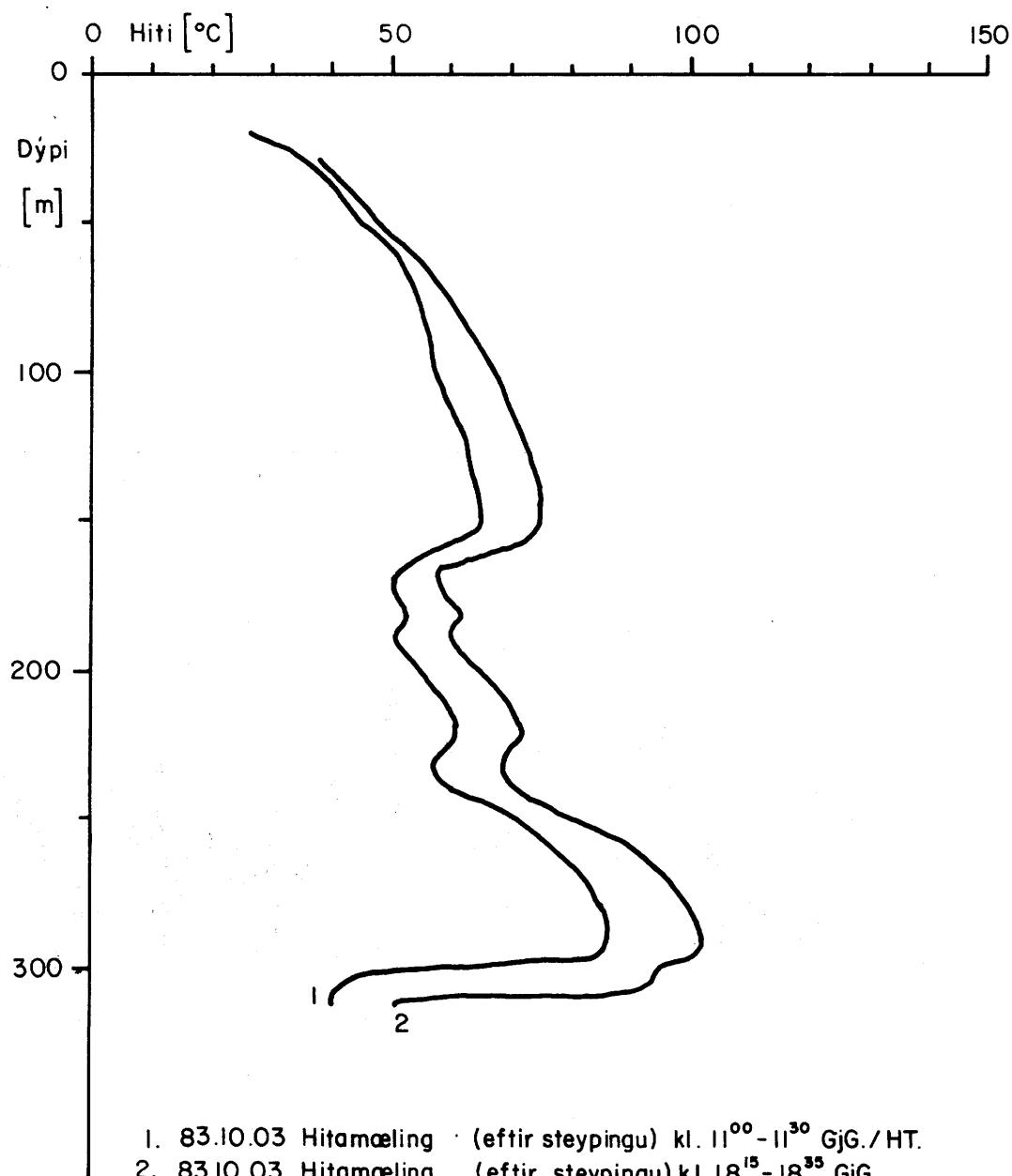
Afkost reyntust
 um 1 to/min.
 eða 1027 l/m
 = 17.1 l/s



[] JHD-BM-6607 GjG.
83.10.1371 AA

Mynd 6

KRAFLA HOLA KJ-3A
Hitamælingar eftir steypingu
 $13\frac{3}{8}$ " fóðringar



JHD-BJ-6607 GjG HT.
83.10.13.72 AA

KRAFLA HOL A KJ-3A
CBL-mæling 83.10.03

Steypugæði voxandi

Dýpi [m]

20

50

100

150

Mynd 7

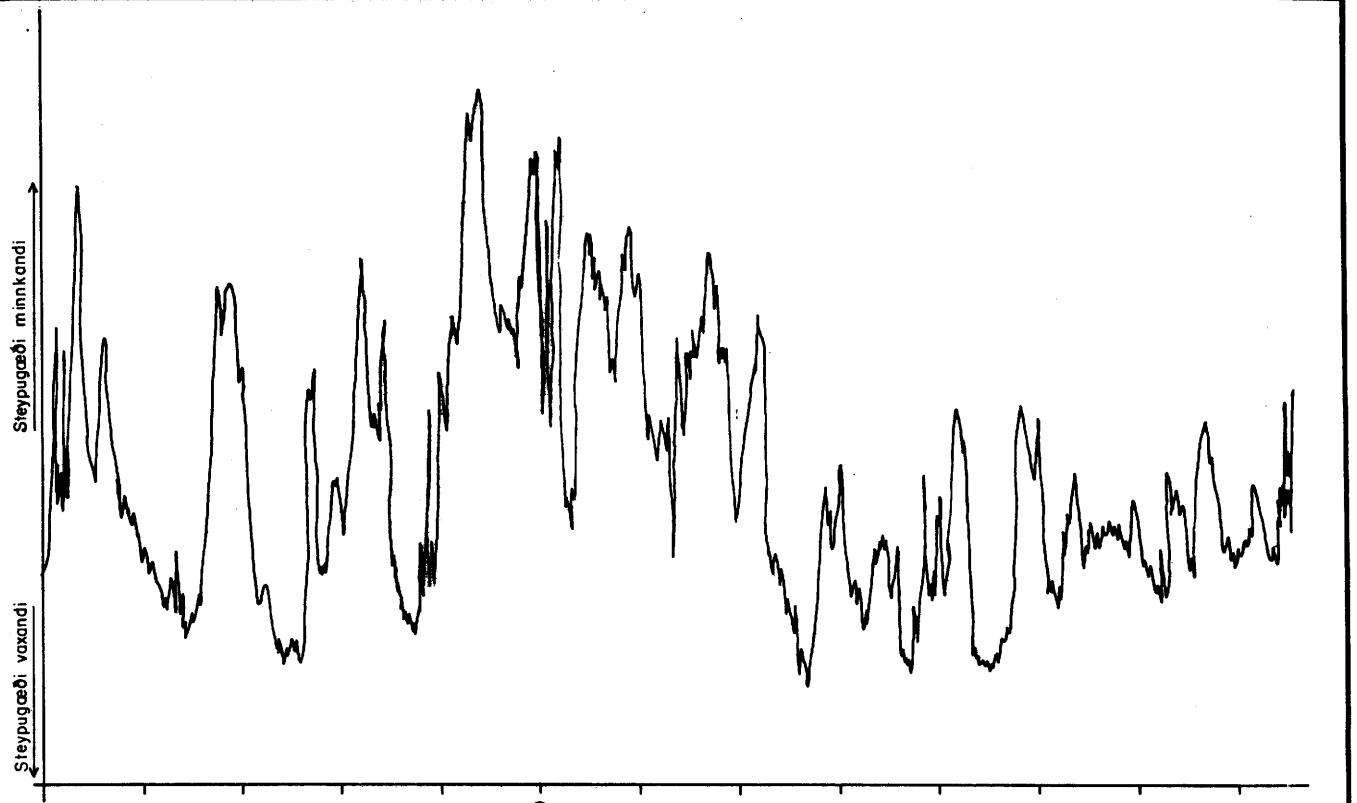
Steypugæði voxandi

Dýpi [m]

150

200

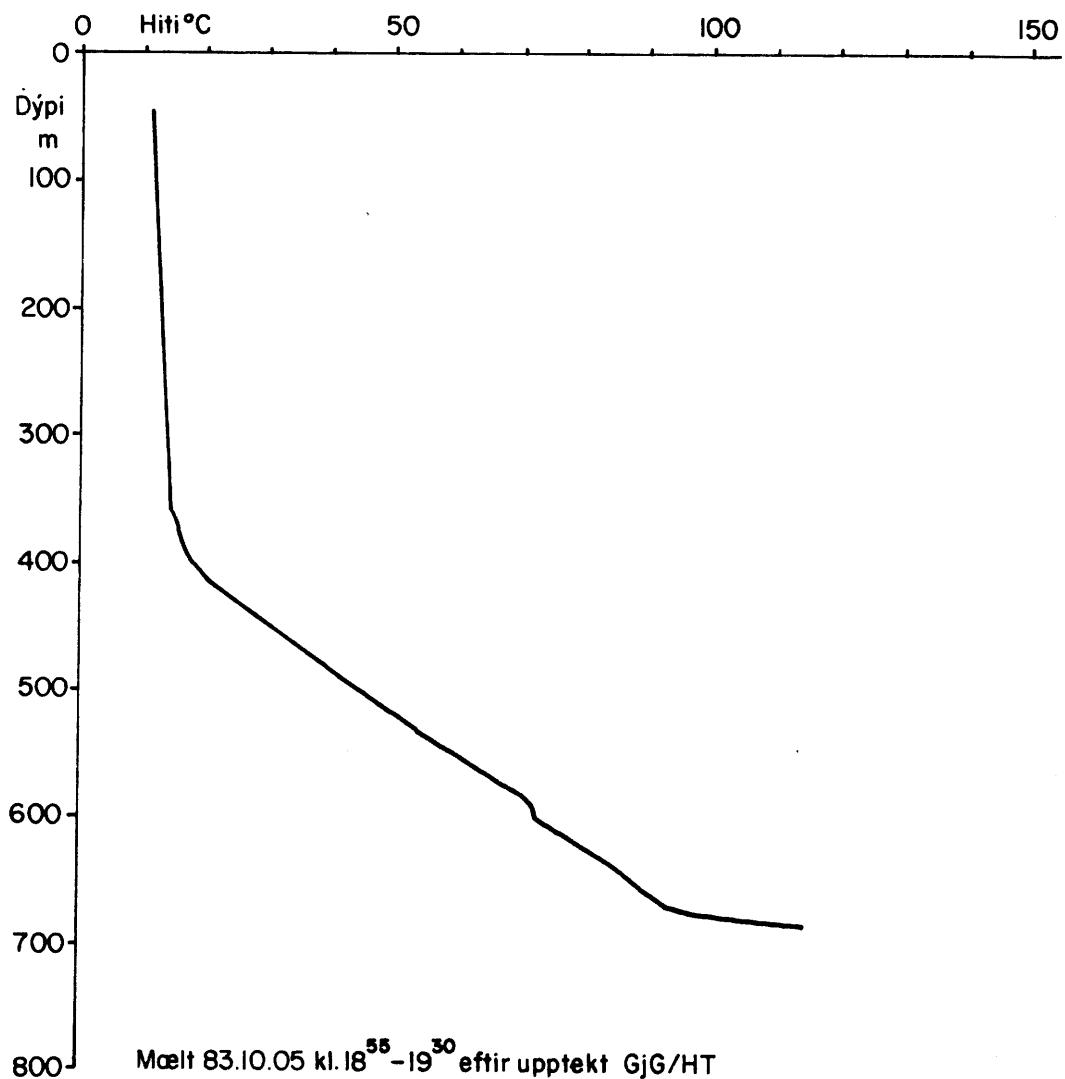
250



JHD-BM-6607-GjG-HT
83.10.1373-e

Mynd 8

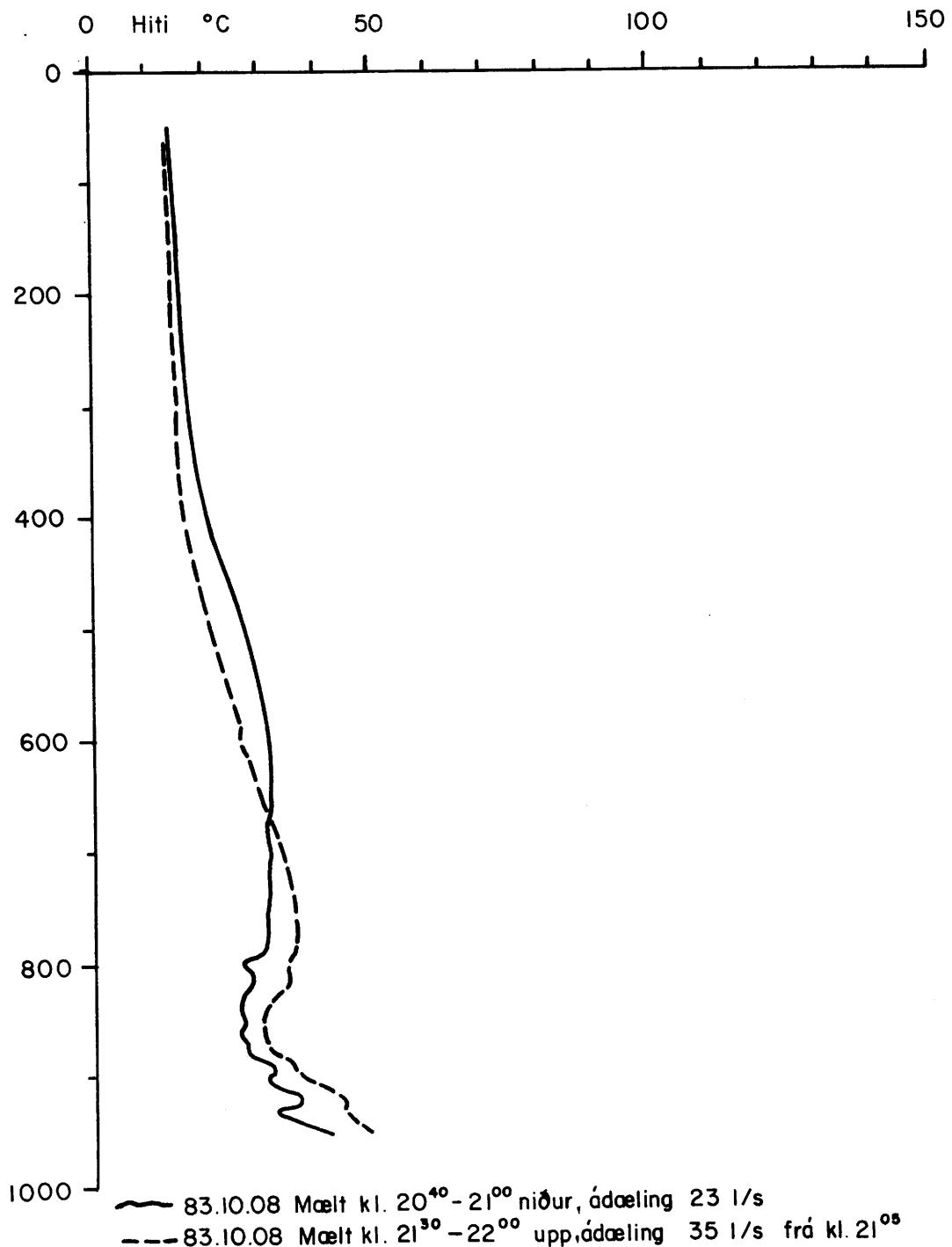
KRAFLA HOLA KJ-3A
Hitamæling í borun



JHD-BM-6607 GjG. ÁsG.
83.10.1374 AA

Mynd 9

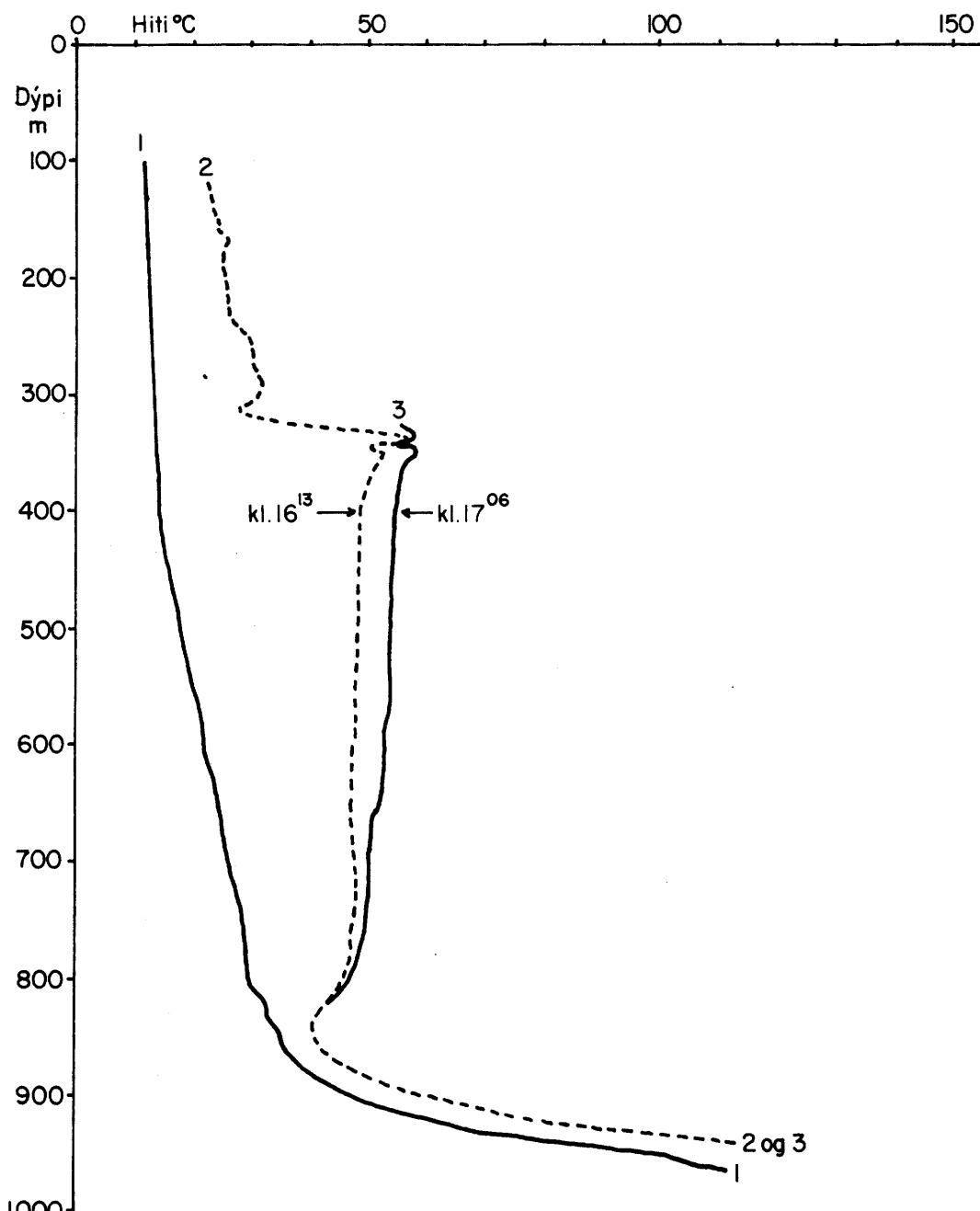
KRAFLA HOLA KJ-3A
Hitamælingar við borlok



JHD-BM-6607-GjG ÁsG
83-10-1375-e

Mynd 10

KRAFLA. HOLA KJ-3A
Hitamælingar við borlok



1 — Mælt 83.10.09 kl. 8.52–9.23 niður, ádæling 35 l/sek vatnsb. í 75m

2 --- Mælt 83.10.09. kl. 15.48–16.47 niður, ádæling var stöðvuð kl. 13.30

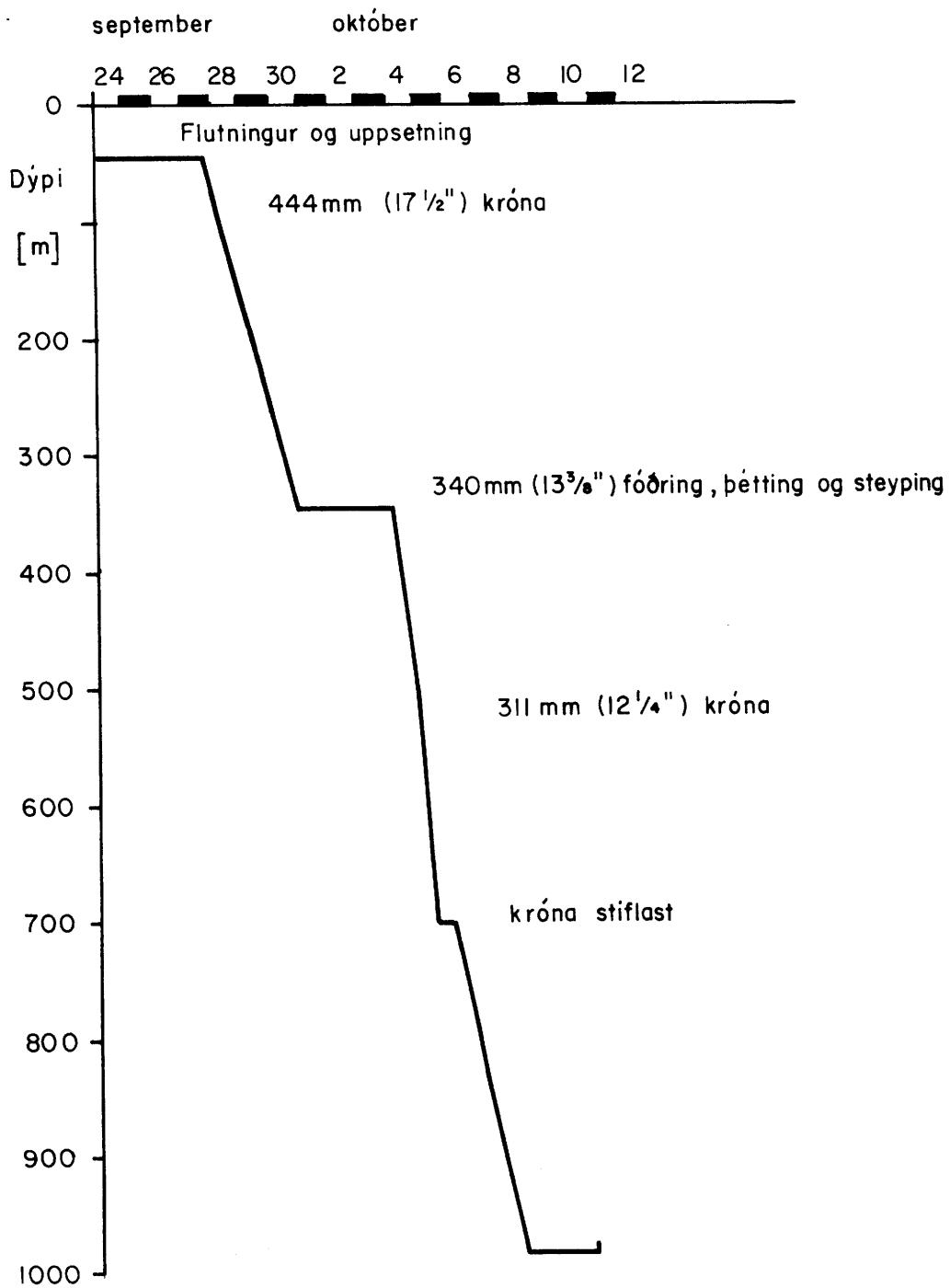
3 — Mælt 83.10.09 kl. 16.50–17.15 upp. Vatnsborð í 107,5m

JHD-BJ-6607 As G
83.10.1376 A'A

Mynd II

KRAFLA HOLA KJ-3A

Framvinda borunar





ORKUSTOFNUN
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

VIÐAUKI V-2

KRAFLA, HOLA KJ-3A
Upphitun, upphleyping og blástur

Benedikt Steingrímsson
Halldór Ármannsson

OS-84009/JHD-03 B Febrúar 1984

EFNISYFIRLIT

Bls.

EFNISYFIRLIT	2
TÖFLUSKRÁ	3
MYNDASKRÁ	4
1 Yfirlit yfir tímabilið 9. október - 1. desember 1983	5
2 Vatnsborðsmælingar	5
3 Hitastig	7
4 Upphleyping	10
5 Afl og afköst	10
6 Sveiflur í toppþrýstingi	10
7 Efnasamsetning rennis	21
8 Útfellingahætta	24
HEIMILDIR	26

TÖFLUSKRÁ

Bls.

1	Krafla, Hola KJ-3A. Vatnsborðsmælingar í upphitun eftir borun	7
2	Krafla, Hola KJ-3A. Aflmælingar	11
3	Krafla, Hola KJ-3A. Styrkur efna	22
4	Krafla, Hola KJ-3A. Hlutföll efna	22
5	Krafla, Hola KJ-3A. Sýrustig og kísilstyrkur vatnsfasa; gasstyrkur gufufasa	23
6	Krafla. Gas, natrium- og klóríðstyrkur og nokkur efnahlutföll í völdum sýnum úr nokkrum borholum	23
7	Krafla. Valin sýni úr nokkrum borholum. Efnahiti	24

MYNDASKRÁ

Bls.

1	Krafla, Hola KJ-3A. Vatnsborð í upphitun eftir þorun	6
2	Krafla, Hola KJ-3A. Ýmsar hitamælingar	8
3	Krafla, Holur KJ-3A, KG-3 og KG-5. Hitamælingar	9
4	Krafla, Hola KJ-3A. Upphleyping 1983.10.29	13
5	Krafla, Hola KJ-3A. Afslaga 1983.10.29-11.22	14
6	Krafla, Hola KJ-3A. Aflferill skv. mælingum í nóvember 1983	15
7	Krafla, Hola KJ-3A. Toppþrýstingur í blæstri í nóvember 1983	18
8	Krafla, Hola KJ-3A. Toppþrýstingur í blæstri 83.11.25-26	19
9	Krafla, Hola KJ-3A. Toppþrýstingur í blæstri 83.11.27-28	20
10	Krafla, Holur KJ-3A og KJ-9. Mettunarferill kalsíts og jónamargfeldi í vatni	25

1 YFIRLIT YFIR TÍMABILIÐ 9. OKTÓBER - 1. DESEMBER 1983

Hola KJ-3A var boruð á tímabilinu 27. september - 9. október 1983. Varð holan 985 m djúp, en vinnslufóðring (13 3/8") nær í 336,4 m dýpi (miðað við drifborð Jötuns 4,6 m yfir kjallarabrunn). Enginn leiðari er í holunni.

Upphitun KJ-3A eftir borun hófst, þegar dælingu í holuna var hætt, 83.10.09 kl 13:30. U.p.b. 2,5 klst. síðar var holan hitamæld til að kanna fyrstu viðbrögð hennar í upphituninni. Reyndist vatnsborð þá vera á rúmlega 100 m dýpi, en hitaferillinn sýndi, að verulegt millistreymi var í holunni úr æðum á 350-400 m dýpi, og niður í æðar á 790-850 m dýpi. Var hitastig á þessu dýptarbili u.p.b. 50°C og fór það hratt hækkandi (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Ekki voru gerðar fleiri hitamælingar í holunni áður en hún var sett í blástur, en vatnsborð var mælt af og til fram til 25. október.

Byrjað var að dæla lofti í holuna 27. október og henni síðan hleypt í blástur tveimur sólarhringum síðar. Hefur holan blásið nær samfellt síðan og var fylgst með afli hennar sem næst daglega fram til 21. nóvember. Eitt sýni hefur verið tekið af renni holunnar. Var það gert 31. október, en 2. nóvember var henni lokað um stundarsakir og hitamælt til botns. Í nóvember var unnið við að tengja holuna við gufuveitu Kröfluvirkjunar, og var rennsli holunnar beint um gufuveitu 23. nóvember. Illa gekk þó að fá holuna til að rekast með rennsli um veitu í byrjun, en eftir nokkrar tilraunir tókst það, og hefur hún verið í rekstri síðan.

Holan er eingöngu tengd lágþrýstihluta gufuveitunnar, og gefur hún u.p.b. 5 kg/s af lágþrýstigufu, sem svarar til u.p.b. 1,5 MW afsl í virkjuninni.

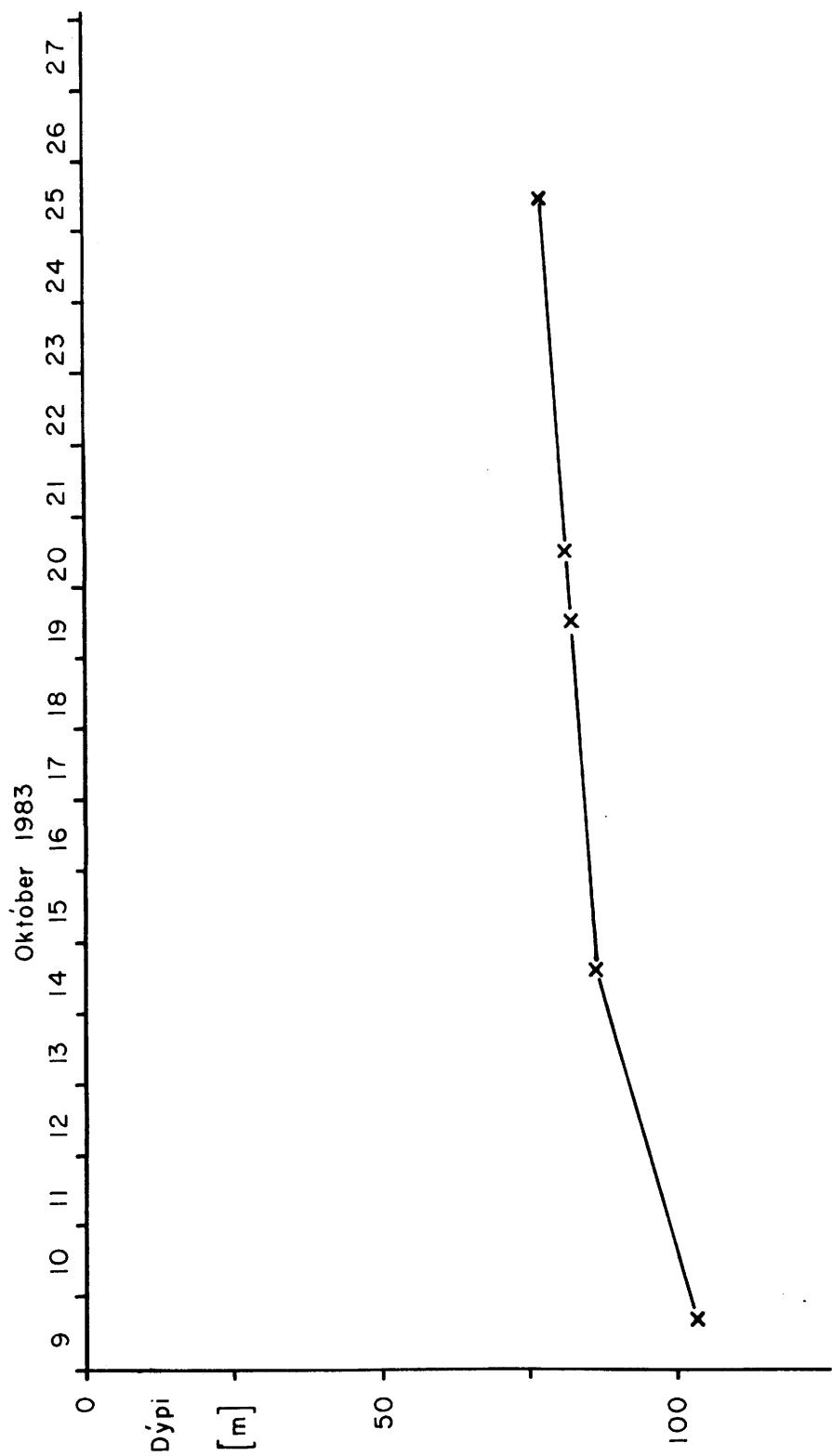
2 VATNSBORÐSMÆLINGAR

Alls voru fimm vatnsborðsmælingar gerðar í holu KJ-3A á meðan hún var í upphitun eftir borun. Niðurstöður mælinganna eru skráðar í töflu 1, og á mynd 1 eru mæligildin færð inn sem fall af tíma. Vatnsborð fór hækkandi allan mælingatímann, og mældist hæst 25. október á 77,7 m dýpi. Vatnsborðshækjunin undir lok mælingatímabilsins var um 0,7-0,8 m á dag. Útfrá

JHD-BM-6607 BS
83.12.1781 AA

KRAFLA HOLA KJ-3A
Vatnsbord í upphitun eftir borun
Dælingu hætt 83.10.09 kl. 1330

Mynd 1



mælingunum er því ekki ljóst hve hátt vatnsborðið stæði í holunni fullheitri. Trúlegt er hins vegar að vatnsborðið í KJ-3A hafi verið nærrí jafnvægi 25. október ef stuðst er við vatnsborðsmælingar í holu KG-5. Þar mældist vatnsborð sumarið 1983 á 97-100 m dýpi, en mismunur í landhæð milli holanna er 22 m.

TAFLA 1. Krafla, Hola KJ-3A. Vatnsborðsmælingar í upphitun eftir borun
(Dælingu hætt 83.10.09 kl 13:30)

Dags.	kl.	Vatnsborð mælt frá kjallarabrun
83.10.09	16:00	103,0 m
83.10.14	14:50	86,4 -
83.10.19		82,5 -
83.10.20		81,8 -
83.10.25		77,7 -

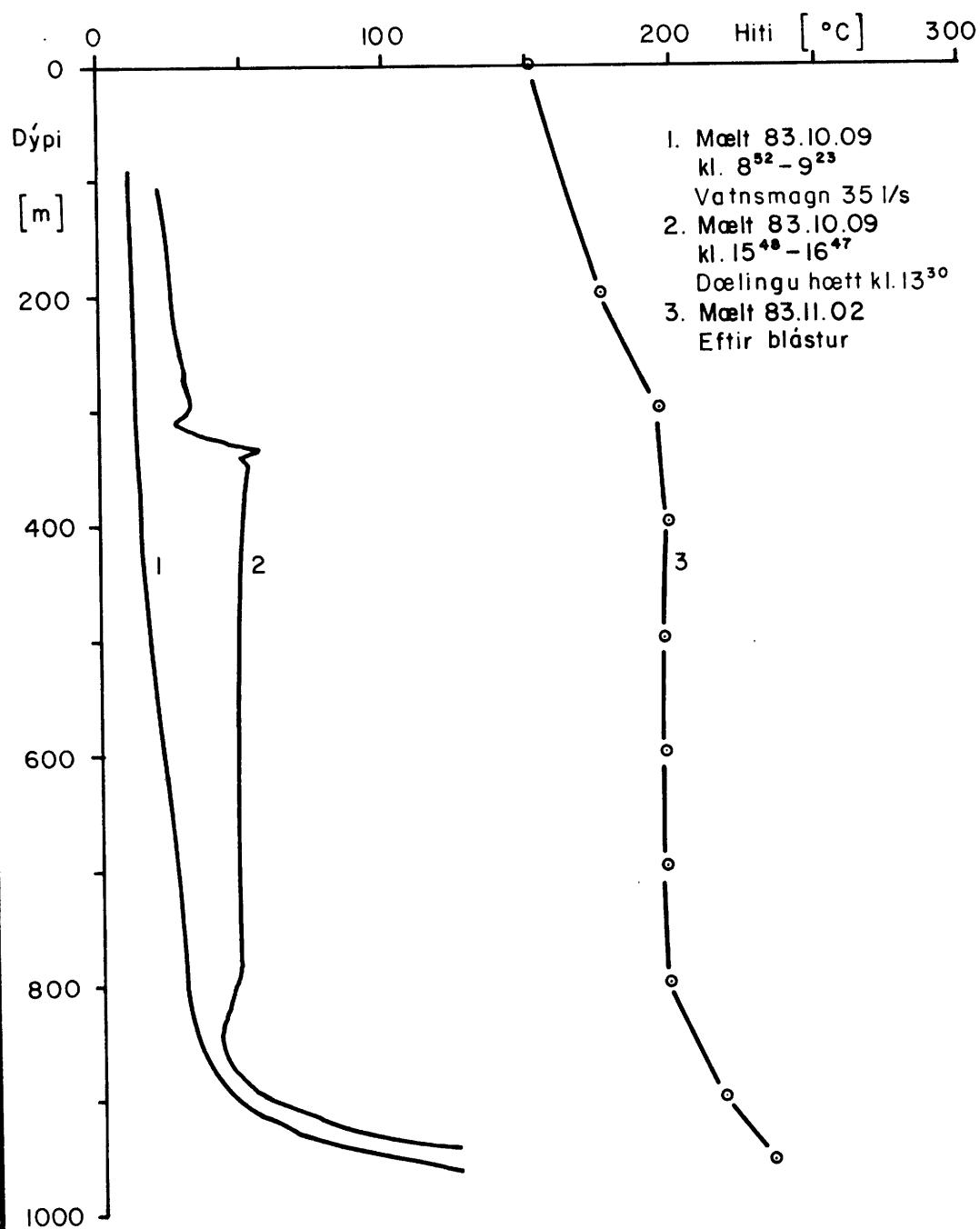
3 HITASTIG

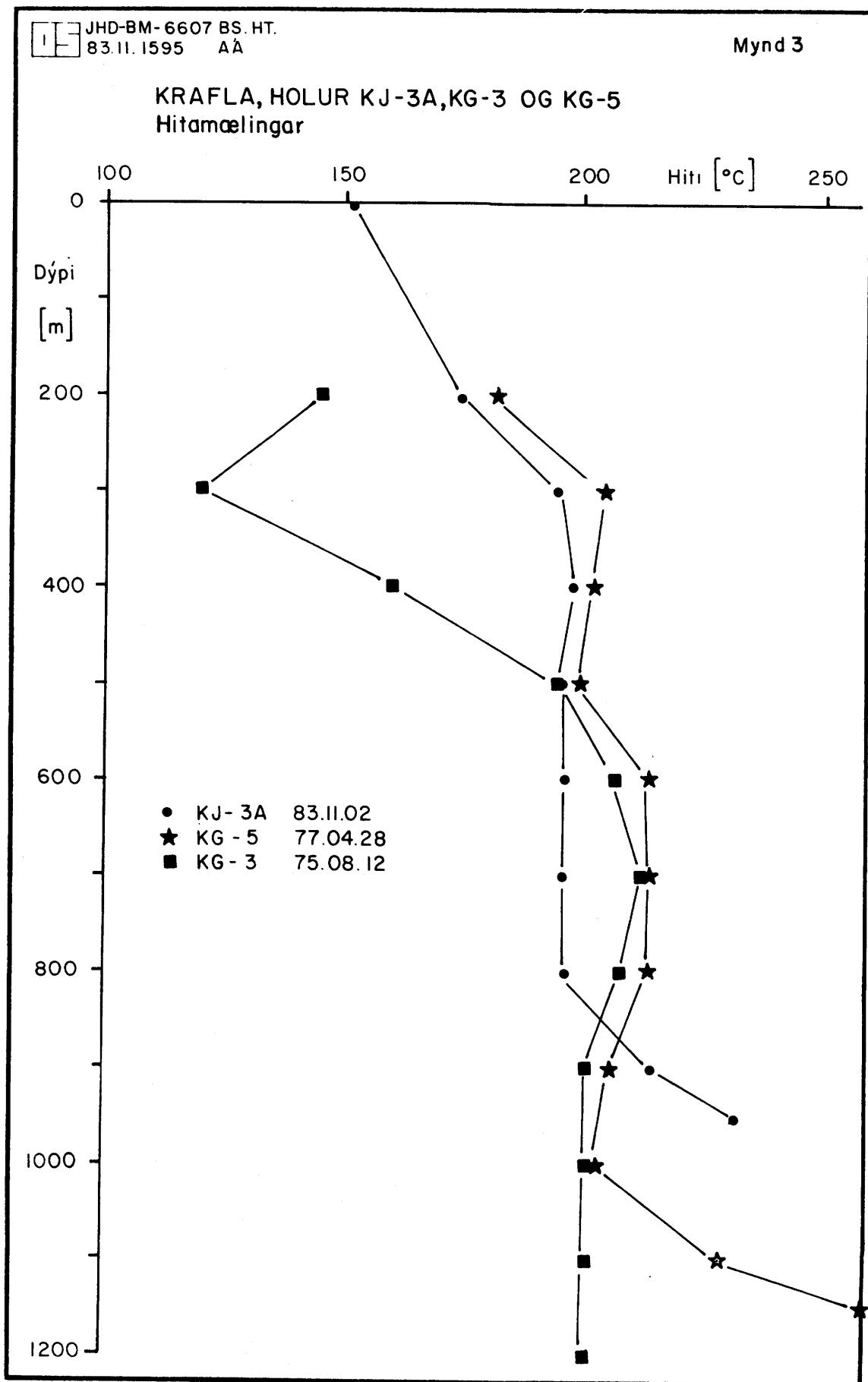
A mynd 2 eru sýndar nokkrar hitamælingar úr holu KJ-3A. Elstu mælingarnar eru frá borlokum og sýnir sú fyrri hvernig hitastigi var háttað í holunni á meðan dælt var niður köldu vatni. Þá kældi vatnið holuna niður í 850 m, en þar er neðsta vatnsæðin. Síðari mælingin er hinsvegar gerð um 2-3 klst. eftir að dælingu lauk. Sýnir hún að upphitun holunnar stjórnast af millirennslí úr æðum í 350-390 m dýpi niður í æðar í 790-850 m dýpi (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Engin önnur hitamæling er til frá upphitun holu KJ-3A, en eftir að hún fór í blástur hefur hún einu sinni verið hitamæld. Stóð holan lokað á meðan. Mælingin er sýnd á mynd 2 (ferill 3) og er hitaferillinn dæmigerður fyrir efrihluta Leirbotnsvæðisins. Hitastig er nánast óbreytt á dýptarbilinu 300-800 m (< 200°C), en hækkar þar fyrir neðan, og er 233°C í botni (952 m). Hitastigið í botni bendir til að holan nái niður úr efrihlutanum og nær hann því nokkru grynnra á þessum stað, en ætlað var fyrir (ca 1000 m). Hitastig ofan 800 m mælist tæpar 200°C, en búist var við um 210°C skv. hitamælingum í nærliggjandi holum (mynd 3). Aflmælingar á KJ-3A gefa einnig varmainnihald, sem

JHD-BM-6607 BS
83.12.1779 AA

Mynd 2

KRAFLA HOLA KJ-3A
Ýmsar hitamælingar





samsvarar $210-215^{\circ}\text{C}$ innstrey mishita, svo líklegt verður að telja eð niðurstöður hitamælingarinnar frá 2. nóvember séu truflaðar af niðurrennslí. Mælingin sýnir þá aðeins hitastig æðanna á $350-390$ m dýpi en til að fá hitastig æðanna í $790-850$ m þyrfti að mæla holuna í blæstri.

4 UPPHLEYPING

Holu KJ-3A var hleypt upp að morgni 1983-10-29, en þá hafði verið dælt lofti í hana í two sólarhringa. Niðurstöður mælinga á toppþrýstingi og afli frá upphleypingu til 1983-11-22 eru skráðar í töflu 2, og niðurstöður fyrsta dags eru einnig dregnar á mynd 4. Kemur þar fram, að holan kom mjög fljótt upp og hafði nokkurn veginn náð rennslisjafnvægi við $3,5-3,8$ bar eftir 10 mínútur. Blés hún þá um 125 mm blendu og var lágþrýstigufa (reiknuð við $2,2$ bar a) rúm 4 kg/s við þessi skilyrði. Varmainnihald er um 900 kJ/kg, sem svarar til u.p.b. 210°C heits rennis. Blendan var tekin úr 1983-11-03. Toppþrýstingur lækkaði lítið, en gufumagn jókst í u.p.b. 5 kg/s.

5 AFL OG AFKÖST

Litlar breytingar hafa orðið á afli holunnar frá upphleypingu fyrir utan sveiflur þær, sem fjallað verður um hér á eftir. Afslagan frá 1983.10.29 til 11.22 er sýnd á mynd 5. Blendustærð virðist ekki hafa mikil áhrif á toppþrýsting, en nokkrir punktar á aflferil hafa fengist með notkun mismunandi stórra mælistúta og með og án 125 mm blendu, ásamt lokunarþrýstingi. Er sá ferill sýndur á mynd 6 og er mjög brattur.

6 SVEIFLUR Í TOPPÞRÝTINGI

Fljótlega eftir að hola KJ-3A fór að blása, kom í ljós að toppþrýstingur í blæstri var breytilegur. Hefur óróinn jafnvel gengið svo langt, að í tvígang hefur holan kafnað af sjálfu sér. Eftir fyrri kæfinguna setti Egill Sigurðsson upp sírita til skráningar toppþrýstings við holuna.

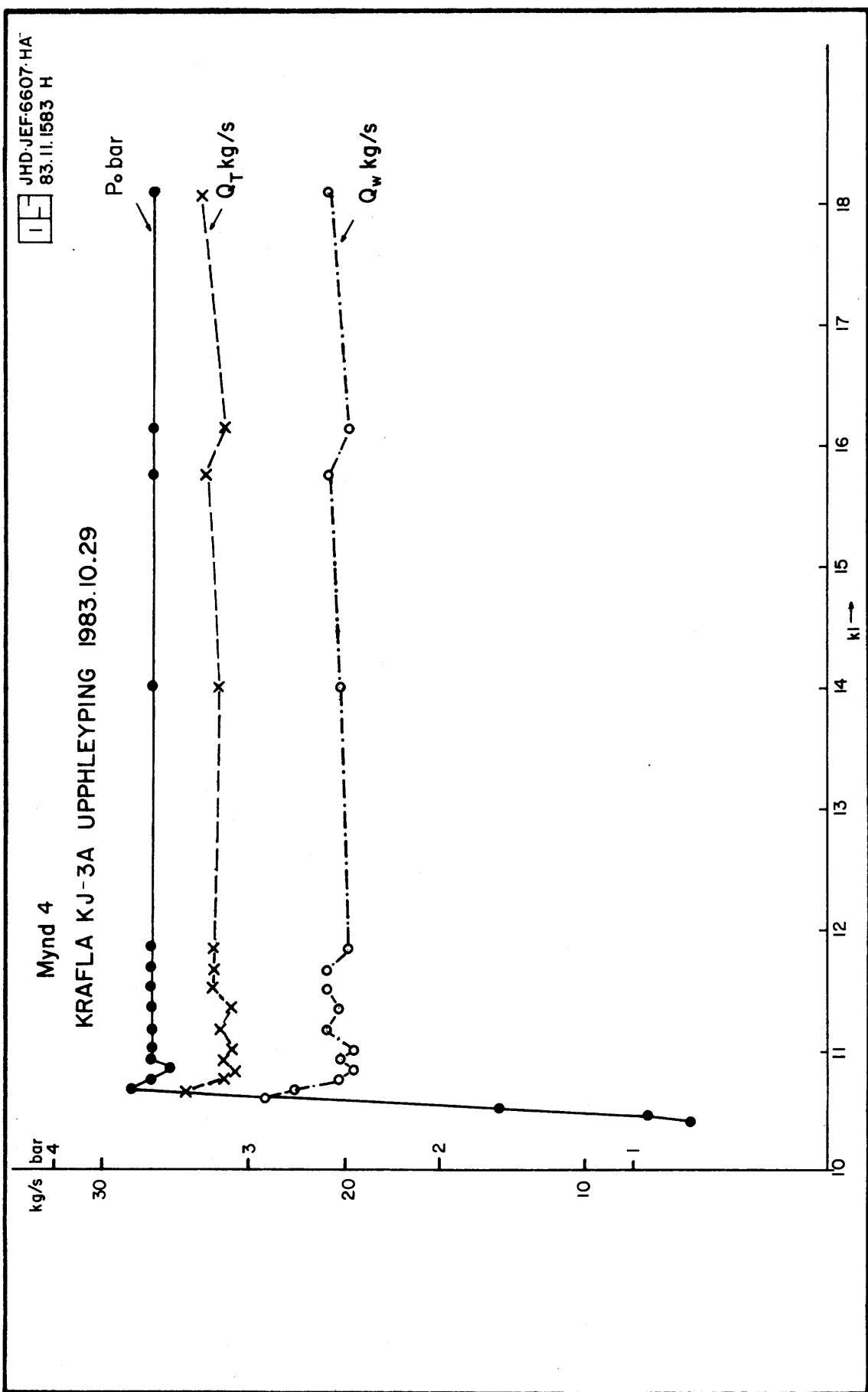
Á mynd 7 eru sýnd afrit af fjórum síritablöðum. Hvert blað spannar einn sólarhring, en þrýstiás er hins vegar ekki

TAFLA 2 KRAFLA HOLA KJ-3A. Aflmælingar

DAGSEÐNING ár, máðr, dagur	TÍMI klukkan	P _o bar	P _g bar	STÚTUR mm	VATN cm	VATN kg/sek	H KJ/kg	Q _T kg/sek	Q _{G1} kg/sek	Q _{G2} kg/sek	A _{TH}
1983-10-29	10:20	8,8									Eftir 2ja sólarhr. áðælingu
-29	10:25	1,0									Upphleyping hafin, lágmáark
-29	10:27	1,2									
-29	10:31	2,0									
-29	10:35	3,2									
-29	10:40	3,9	0,3	155	19,3	22,1	812	26,7	4,5	3,6	
-29	10:45	3,8	0,3	-	18,6	20,2	861	25,1	4,8	3,9	
-29	10:50	3,7	0,3	-	18,4	19,6	875	24,1	4,9	4,0	
-29	10:55	3,8	0,3	-	18,6	20,1	861	25,1	4,8	3,9	
-29	11:00	3,8	0,3	-	18,4	19,6	875	24,6	4,9	4,0	
-29	11:10	3,8	0,25	-	18,8	20,7	826	25,2	4,4	3,5	
-29	11:20	3,5	0,25	-	18,6	20,2	840	24,8	4,5	3,6	Nýr P _O mælir sýnir 0,2-0,3 bar
-29	11:30	3,5	0,3	-	18,8	20,7	846	25,5	4,7	3,8	
-29	11:40	3,5	0,3	-	18,8	20,7	846	25,5	4,7	3,3	
-29	11:50	3,5	0,4	-	18,5	19,9	907	25,4	5,4	4,5	
-29	14:00	3,5	0,35	-	18,6	20,2	880	25,3	5,1	4,2	
-29	15:45	3,5	0,35	-	18,8	20,7	866	25,8	5,0	4,1	
-29	16:20	3,5	0,35	-	18,5	19,9	888	25,1	5,1	4,2	
-29	18:05	3,5	0,4	-	18,8	20,7	885	26,1	5,3	4,4	
-30	17:15	3,7	0,37	-	18,8	20,7	874	25,9	5,1	4,2	
-31	13:55	3,7	0,4	-	18,6	20,1	900	25,6	5,5	4,5	

TAFLA 2 KRAFLA HOLA KJ-3A. Aflmælingar (frh)

DAGSEFTNING ár, máð, dags.	TÍMI klukkun	P _o bar	P _g bar	STÚTUR mm	VATN cm	VATN kg/sek	H KJ/kg	Q _T kg/sek	QG ₁ kg/sek	QG ₂ kg/sek	ATH.
1983-10-31	17:05	3,7	0,4	155	18,3	19,4	922	24,9	5,6	4,6	
-11-02	13:30	3,7	0,32	-	18,9	21,0	847	25,9	4,9	3,9	
-03	09:00	3,8	0,4	-	18,8	20,7	885	26,1	5,3	4,4	Kl 17:00 125 mm blenda
-03	19:00	3,5	0,5	-	18,8	20,7	922	26,6	5,9	4,9	tekin burtu
-09	08:35	3,6	0,51	-	19,0	21,2	911	27,2	5,9	4,4	
-10	11:30	3,6	0,36	184,5	21,5	28,8	879	36,2	7,4	5,3	
-10	11:40	3,7	0,32	-	20,7	26,2	915	33,7	7,4	5,4	
-10	14:22	3,3	0,26	-	20,3	25,0	917	32,1	7,1	5,2	
-11	16:30	3,3	0,30	-	20,3	25,0	934	32,4	7,4	5,5	
-12	11:05	5,6	1,1	-	21,8	29,8	1103	42,8	13,0	10,6	þrýstipúls
-14	15:30	3,2	0,35	-	20,0	24,1	977	32,0	7,9	6,1	
-15	09:25	3,6	0,30	-	20,3	25,0	934	32,4	7,4	5,5	Hert að kl 16:45
-16	11:35	3,9	0,28	-	19,7	23,2	969	30,7	7,5	5,7	Rennsli stöðvaðist kl 12:00
-22	10:20	3,7	0,50	155	18,0	18,6	984	24,8	6,2	4,8	1983.11.20. Loftdæling sett á hleypt upp þá. kl 11:55
											155 mm stútur þá settur í

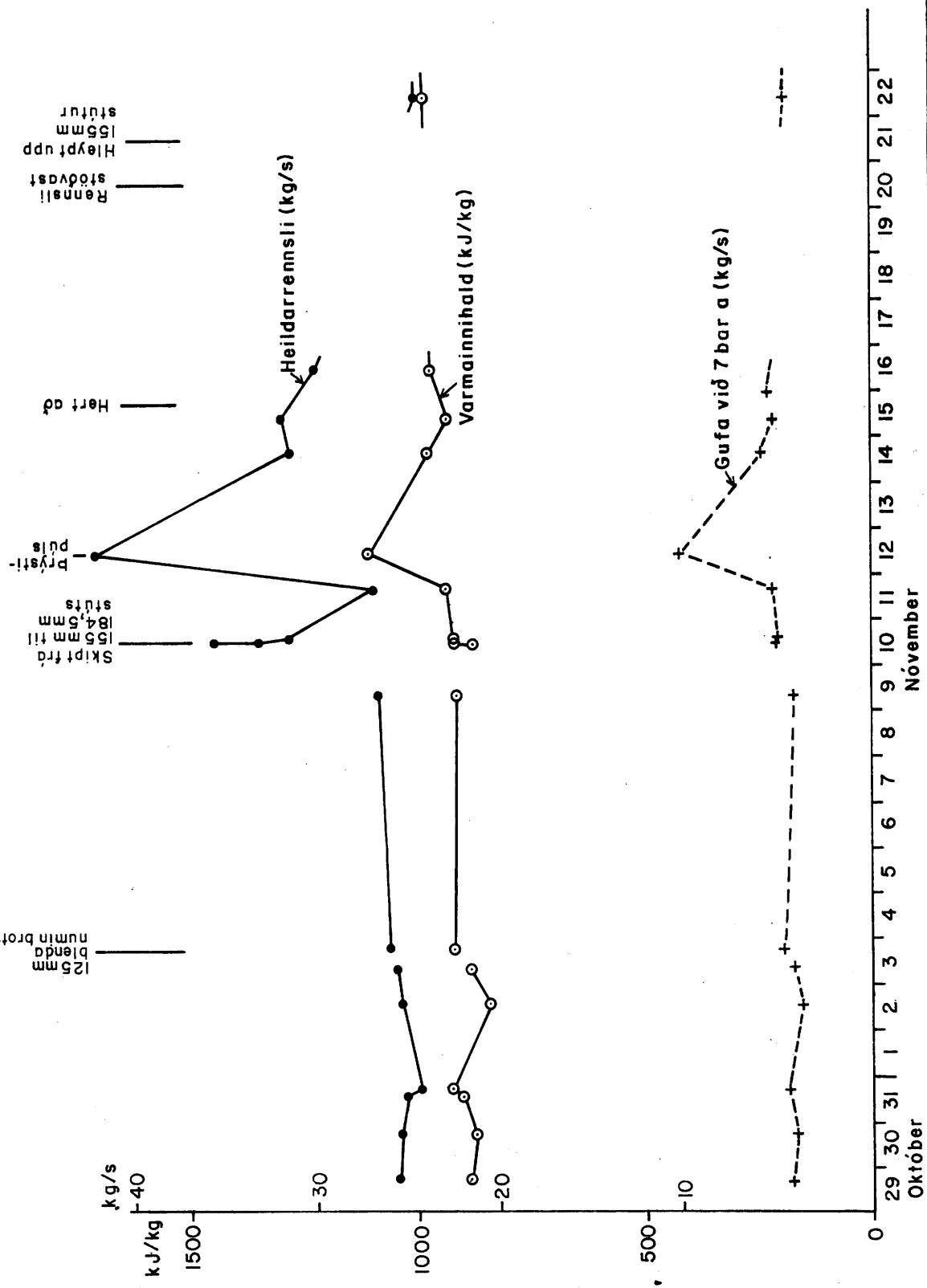


IHD-JEF-6607 HA
84.01.0093. Syj

KRAFLA. HOL A KJ-3A
Afslaga 1983.10.29 - 11.22

Mynd 5

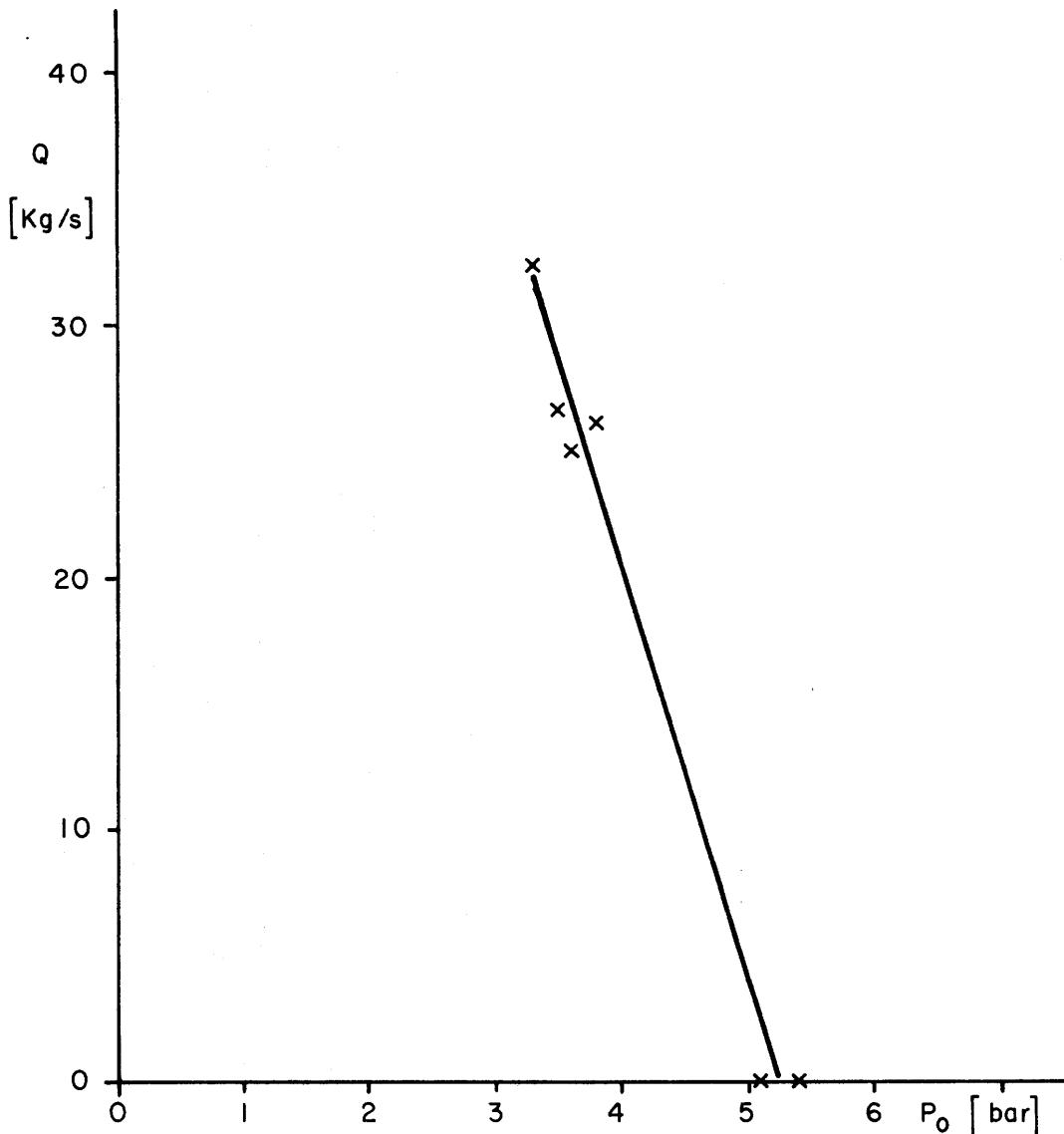
- 14 -



JHD-BM-6607 BS
83.12.1780 AA

Mynd 6

KRAFLA HOLA KJ-3A
Aflferill skv. mælingum í nóv. '83



gefinn upp í kvörðuðum einingum. Elsta blaðið (mynd 7a) er frá 12-13. nóvember. Blés holan þá í gegnum 184,5 mm stút. Kom þá fram u.p.b. 2 klst. langt óróaskeið, sem endurtók sig á 12 tíma fresti. Toppþrýstingur á milli óróatímabila var 3,3 bar. Á fyrri hluta óróaskeiðsins hækkar toppþrýstingur og sveiflast milli 4 og 6 bar (ekki nákvæm gildi) með nokkurra mínútna sveiflutíma. Eftir u.p.b. eina klst. gjörbreytist óróinn, sveiflurnar deyja út og þrýstingur lækkar. Fer hann lægst í 1-2 bar, en hækkar síðan á ný og nær jafnvægi við 3,3 bar. Meðan óróinn var hvað mestur mun eitthvað hafa borið á grjótburði í holunni (Egill Sigurðsson, persónulegar upplýsingar).

Fylgst var áfram með holunni og virtist óróinn endurtaka sig reglulega á u.p.b. 12 tíma fresti. Hert var að holunni 16. nóvember þar til þrýstingur náði 3,9 bar og breyttist þá óróatiðnin í einn á sólarhring (mynd 7b). Að öðru leyti var hegðun holunnar óbreytt fram til 20. nóvember, en þá kafnaði hún rétt eftir upphaf óróahrinu. Rennsli holunnar var sett inn á veitu 23. nóvember eins og áður hefur komið fram. Reyndist toppþrýstingur stöðugur í byrjun, en eftir tæplega sólarhring fór hann að sveiflast á milli 3,5 og 5,5 bar. Sveiflurnar voru reglulegar og sveiflutími rúmur klukkutími (myndir 7c og 8). Sveiflurnar héldust næstu two sólarhringana, en dóu síðan út. Hélst toppþrýstingur síðan stöðugur í rúman sólarhring, en þá kom einn þrýstipúls (83.11.27). Stóð hann yfir í tæplega þrjá klukkutíma og óx þrýstingur í byrjun í u.p.b. 8,5 bar, en féll síðan í 1,5 bar áður en holan fór að rétta við. Þessi þrýstipúls er sýndur á myndum 7d, og 9. Eftir 27. nóvember var toppþrýstingur KJ-3A stöðugur svo dögum skipti, og því hætt að skrá hann á sírita. Óróinn er þó ekki úr sögunni og munu t.d. hafa komið fram í fyrri hluta desember púlsar í toppþrýstingi holunnar (Egill Sigurðsson, persónulegar upplýsingar).

Sveiflur í toppþrýstingi blásandi gufuborhola eru ekki óalgent fyrirbrigði. Vel þekkt í Kröflu er hola KJ-17 þar sem breytingar á toppþrýstingi endurtaka sig í sífellu á u.p.b. 7 tíma fresti (Halldór Ármannsson o.fl. 1982). Annað dæmi í Kröflu var hola KJ-11 á meðan hún vann úr báðum Leirbotnakerfunum. Í báðum þessum dæmum er ástæðan fyrir sveiflum í toppþrýstingi sú að holurnar vinna vökva úr tveimur vatnsæðum með mjög ólíka vinnslueiginleika. Í holu KJ-11 var það hitastig æðanna, sem var mjög ólíkt, en í KJ-17 vatnsleiðni æðanna. Í báðum tilvikum orsakaðist

þrýstisveifla af því að dýpri æðar holunnar blésu óreglulega, eða jafnvel köfnuðu í blæstri. Í KJ-17 virðist botnæðin vera það treg að hún kafnar af sjálfri sér, en í KJ-11 kafnaði botnæðin vegna áhrifa frá mun kaldari að ofarlega í holunni.

Bær skýringar, sem gilda um þrýstisveiflurnar í KJ-11 og KJ-17 virðast við fyrstu sýn ekki eiga við um holu KJ-3A. Í holu KJ-3A koma æðar að vísu fram á tveimur dýptarbilum, á 350-390 m dýpi og 790-850 m dýpi. Lítil munur virðist hins vegar vera á berghita við þessar æðar ($< 10^{\circ}\text{C}$) og dýpri æðin virtist einnig það vel opin við borlok að ekki er líklegt að hún kafni af sjálfri sér í blæstri þar sem hitastigið ($< 210^{\circ}\text{C}$) er langt undir suðumarki.

Þrátt fyrir þetta eru púlsarnir, sem endurtaka sig með hléum í KJ-3A, dæmigerðir fyrir holur, þar sem misheitar æðar berjast um völdin. Í þrýstipúlsunum hækkar varmainnihald rennisins, og toppþrýstingur fer upp fyrir þann þrýsting sem ella mælist, þegar holunni er lokað, en hvort tveggja bendir til þess að heit æð gefi inn í holuna í púlsunum. Í lok hvers púls kafnar æðin og tekur það hana nokkurn tíma að jafna sig áður en gusa úr henni hleypir næsta púls af stað.

Spurningin er því hvaðan nær hola KJ-3A í heitt vatnskerfi til að framkalla þessa hegðun. Helsta leiðin til að svara þessari spurningu er að líta til nálægra hola. Hola KJ-3A er rétt við holu KG-3. Sú hola var boruð á árinu 1975 í 1720 m, en fóðruð í 610 m dýpi. Góðar æðar komu fram í holunni á u.p.b. 800 m dýpi og á 1620 m dýpi, og tilheyra grynnri æðarnar efrihlutanum í Leirbotnum (t u.p.b. 210°C) en sú djúpa neðri hlutánnum (t u.p.b. 320°C).

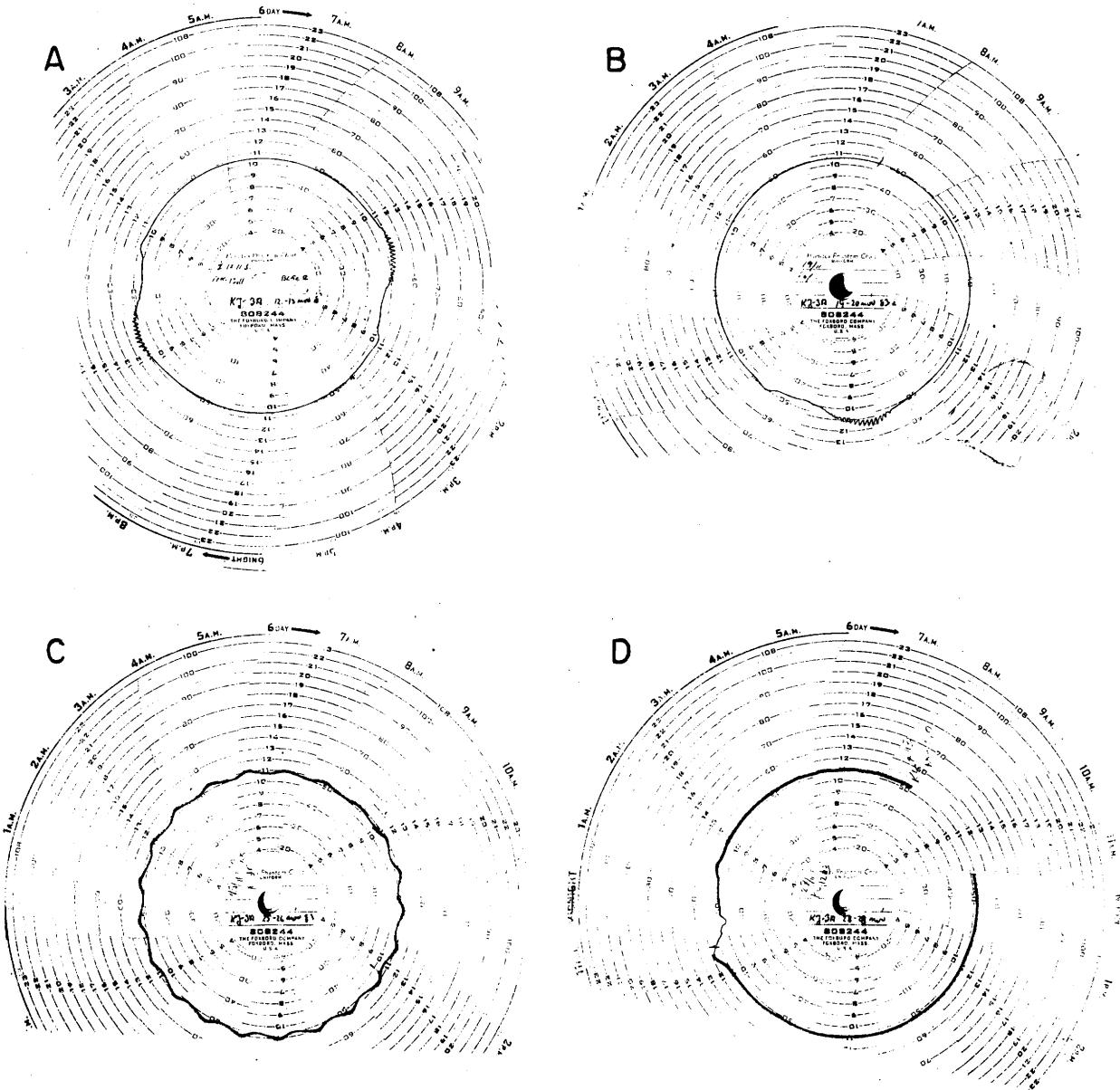
Á árinu 1976 kom fram fóðringarskemmd í KG-3 á u.p.b. 75 m dýpi. Ekki reyndist unnt að gera við holuna, og var hún fyllt með sandi frá fóðurrörsenda og upp í tæplega 100 m dýpi. Er holan því enn opin frá u.p.b. 600 m dýpi í botn.

Líklegasta skýringin á því hvernig hola KJ-3A nær í heitan vökva er því sú að hola KJ-3 skammhleypi jarðhitakerfum, og í þrýstipúlsunum í KJ-3A renni úr djúpu æðinni í KG-3 320°C heitt renni upp holuna og yfir í KJ-3A í u.p.b. 800 m dýpi.

JHD-BM-6607 BS
83.12.1782 AA

Mynd 7

KRAFLA HOLA KJ-3A
TOPPPRÝSTINGUR Í BLÆSTRI Í NÓVEMBER 1983



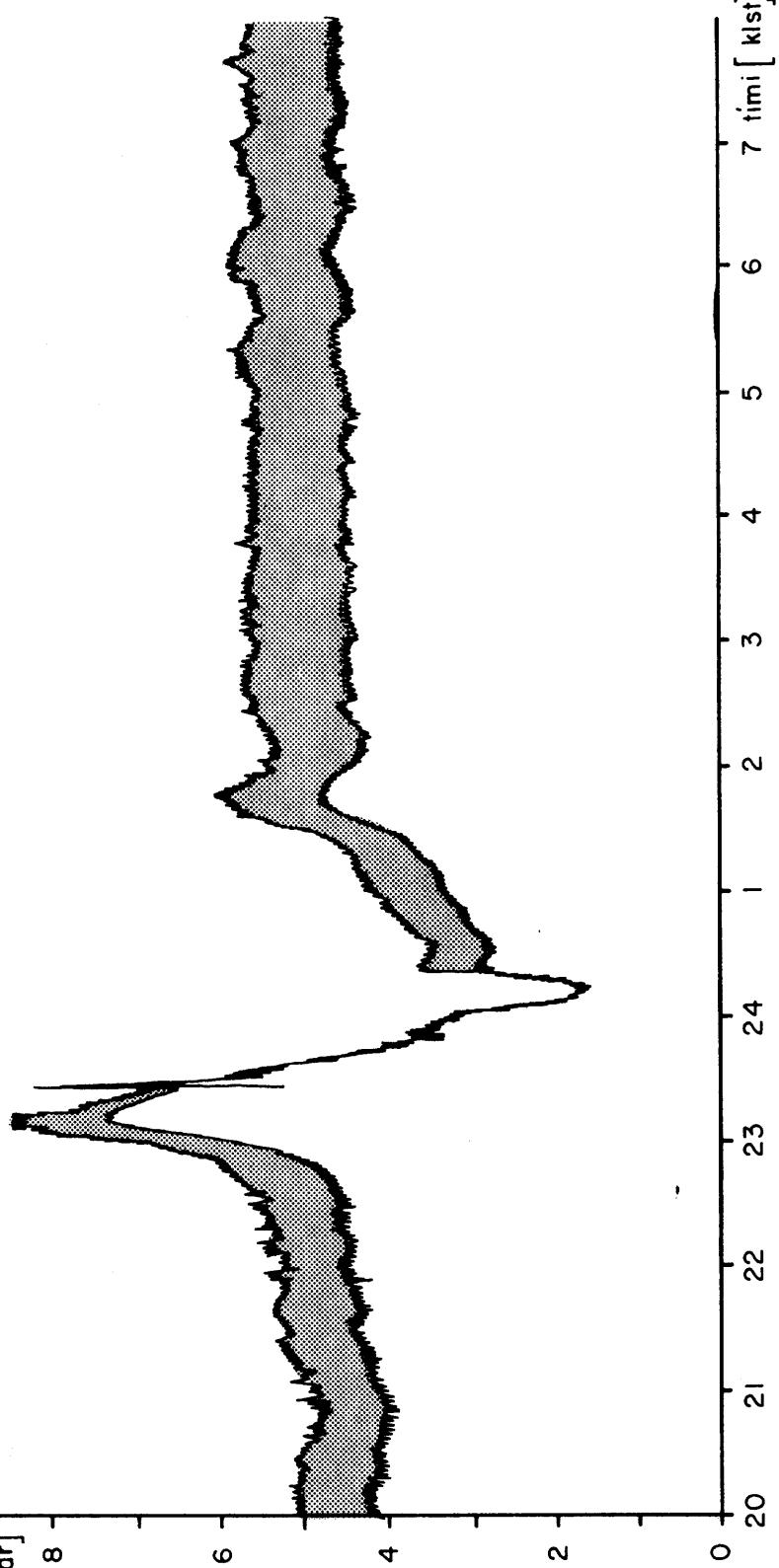
1 JHD-BM-6607 BS
84.01.0054 AA

Mynd 8

KRAFLA HOLA KJ-3A

Toppþrýstingur í blæstri 83.II.27-28
(vegna tifstreymis eru miklar hátiðnitruflanir)

10
8
 P_0 [bar]

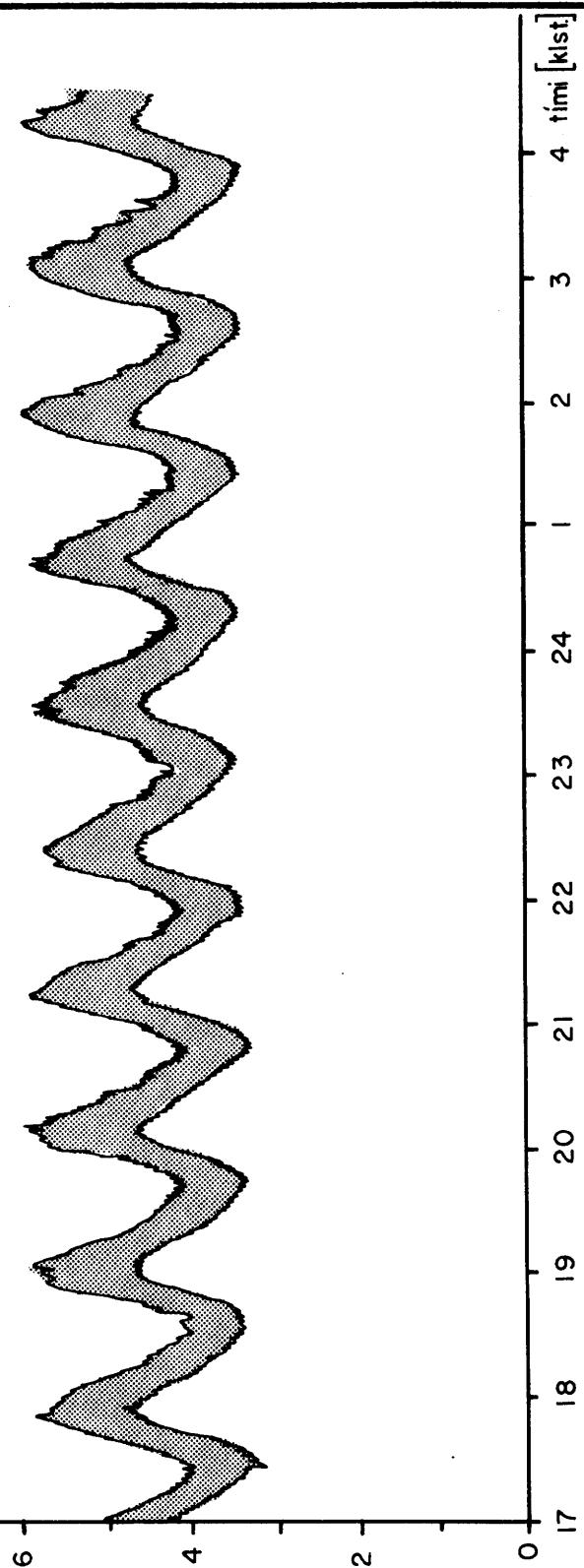


JHD-BM-6607 BS
84.01.0053 AA

Mynd 9

KRAFLA HOLA KJ-3A
Topprýstingur í blaðstri 83.11.25 - 26
(vegna tifstreymis eru miklar hátiðönnitruflanir)

P_0
[bar]



7 EFNASAMSETNING RENNIS

Eitt sýni hefur verið tekið til efnagreininga úr holu KJ-3A. Niðurstöður um heildarstyrk efna í renni eru í töflu 3, nokkur efnahlutföll í töflu 4, og upplýsingar um fáein séreinkenni vatns- og gufufasa í töflu 5.

Eins og við er að búast sýnir efnasamsetningin einkenni rennis efrihlutaholu. Í töflu 6 eru nokkrir þættir samsetningarinnar bornir saman við sömu þætti í öðrum efrihlutaholum og nálægum bland- og neðrihlutaholum. Skipar hún sér greinilega í hóp efrihlutahola, en ber þó mest merki neðrihluta af þeim. Tvær ástæður geta legið til þess. Gestur Gíslason o.fl. (1978) fjölluðu um efrihluta jarðhitakerfisins í Leirbotnum og notuðu hlutföll torleystra gasa í vatni við leysin (t.d. H₂/H₂S og CO₂/H₂S) til að kanna rennslisstefnur, en slík hlutföll eiga að lækka með aukinni fjarlægð frá uppstreymi. Samkvæmt því er KJ-3A fremst í flokki efrihlutahola og því næst neðrihlutanum og ber mest merki um hann. Í köflum um hitamælingar og þrýstingssveiflur hér að framan kemur hins vegar í ljós, að líklega er samband milli holu KJ-3A og neðri æða KG-3 og getur verið, að renni seytli þaðan upp og hafi áhrif á efnasamsetningu rennis KJ-3A. Þrenns konar efnahiti er sýndur fyrir sýnið úr KJ-3A og valin sýni úr öðrum efrihlutaholum og nálægum bland- og neðrihlutaholum. Halldór Ármannsson & Benedikt Steingrímsson (1984) fjalla um áhrif kólununar á efnahita með sérstöku tilliti til Kröfluhola. Í þessu tilviki sést að kvarshita og Na/K-hita ber vel saman en sýna þó hærri gildi en við er að búast miðað við mældan hita. Er því líklegt, að um leiðnikólnandi vatn sé að ræða og eigi það nokkuð í land með að ná jafnvægi við bergsteindir. Koldíoxíðhiti er enn hærri og verður það naumast skýrt öðruvísi en svo, að gas komi frá holu KG-3. Ekki er útilokað að lítils háttar blöndun við vökva þaðan hafi áhrif til hækkunar kvarshita og Na/K-hita.

TAFLA 3 Krafla, Hola KJ-3A. Styrkur efna.

Dags nr	Sýni bar	Po a	Ho kJ/kg	SiO ₂ mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg
831031	1071	4,4	922	381	202	23,1	3,2	0,01

SO ₄ mg/kg	Cl mg/kg	F mg/kg	UE mg/kg	CO ₂ mg/kg	H ₂ S mg/kg	H ₂ mg/kg	CH ₄ mg/kg	N ₂ mg/kg	Rn dpm/kg
262	25	0,55	994	619	60,4	0,85	0,77	6,17	411

TAFLA 4 Krafla, Hola KJ-3A. Hlutföll efna í renni

Dags nr	Sýni kJ/mg	Ho/Si kJ/mg	Na/Cl mg/mg	Na/K mg/mg	Ca/F mg/mg
831031	1071	2,42	7,92	8,72	10,8

Ca/SO ₄ x 10	CO ₂ /Cl mg/mg	H ₂ /H ₂ S mg/mg	CO ₂ /H ₂ S mg/mg	H ₂ /CO ₂ mg/mg	H ₂ S/SO ₄ mg/mg
12,3	24,3	14,1	10,2	1,38	0,230

TAFLA 5 Krafla, Hola KJ-3A. Sýrustig og kísilstyrkur vatnsfasa; gasstyrkur gufufasa

Dags	Sýni	Po	H	Vatnsfasi		Gufufasi				
				nr	bar	kJ/kg	pH/°C	SiO ₂	CO ₂	Gas
						mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	
83.10.31	1071	3,4	922		9,12/22	445		3758	0,40	

TAFLA 6 Krafla. Gas-, natrium- og klóríðstyrkur og nokkur efnahlutföll úr völdum sýnum úr nokkrum borholum

Hola	Dags	Gas	Na	Cl	CO ₂ /H ₂ S	H ₂ /H ₂ S	Na/Cl	F/Cl	H ₂ S/SO ₄	Rn/Ca
nr		%	mg/kg	mg/kg	mg/mg	x 10 ³	mg/mg	x 10 ³	mg/kg	dpm/mg
KJ-3A	83.10.31	0,12	202	25	10,2	14,1	7,9	22,0	0,23	128
	3)									
KJ-9E	77.06.30	0,05	192	31	8,7	9,7	6,3	14,8	0,30	111
KG-5	83.08.03	0,05	186	30	7,6	7,2	6,3	25,0	0,30	39
										1)
KW-2	80.06.11	0,03	210	29	5,2	3,9	7,2	13,1	0,28	85
KG-8	83.07.31	0,03	186	28	4,2	7,4	6,7	36,1	0,34	208
	3)									
KJ-11E	77.11.05	0,01	169	25	2,1	0,3	6,8	41,3	0,20	12
	4)									
KG-3F	75.10.19	0,03	149	26	2,7	22,7	5,6	32,3	0,57	
	5)									
KG-3U	76.09.16	0,82	160	25	84,7	0	6,3	30,7	0,87	
	6)									
KJ-9C	83.05.24	0,10	165	28	10,8	8,4	5,9	26,6	0,50	127
										2)
KJ-13	81.03.04	0,93	67	47	30,3	62,8	1,4	12,2	6,4	9450
	6)									
KJ-13B	83.10.29	1,00	41	7	13,3	48,2	6,0	31,4	20,9	6172

1) Frá 1977.07.17 2) Frá 1981.05.24 3) E: Eingöngu unnið úr efrihluta jarðhitakerfis 4) F: Fyrir upphaf eldsumbrota

5) U: Eftir að eldsumbrot hófust 6) B,C: Eftir endurvinnslu

TAFLA 7 Krafla. Valin sýni úr nokkrum borholum. Efnahit

Hola nr	Sýni nr	Dags	Kvars- hiti °C	Na/K- hiti °C	CO2- hiti °C	Líklegur hiti skv.hitamælingum °C
KJ-3A	1071	83.10.31	226	227	247	210
KJ-9E	1141	77.06.30	240	207	238	210
KG-5	1039	83.08.03	234	214	240	210
KW-2	1020	80.06.11	218	182	219	193
KG-8	1035	83.07.31	215	223	213	210
KJ-11E	1198	77.11.05	219	218	100	210
KG-3F	0167	75.10.19	247	256	176	240
KG-3U	0125	76.09.16	256	238	297	240
KJ-9C	1019	83.05.24	244	237	251	240
KJ-13	1002	81.03.04	297	271	283	320
KJ-13B	1070	83.10.29	319	255	281	310

8 ÚTFELLINGAHÆTTA

Gasstyrkur rennis holunnar er tiltölulega lítill, þar sem um fremur kalda holu er að ræða. Eins og minnst hefur verið á, er þó sennilega um einhver tengsl við miklu heitari holu, KG-3, að ræða. CO₂/H₂S hlutfall er þó svo lágt, að líklegt er, að jafnvægi hafi verið nálgað í hvörfum þessara gastegunda við berg (Ármannsson et al. 1982). Til vonar og vara var greint járn í vatnssýninu, en það reyndist ógreinanlegt (< 0,1 mg/kg). Því ætti ekki að vera hætta á járnsúlfíðútfellingum. Ópalmettun reyndist við 1,1 bar a miðað við, að pH vatns yrði 8,0 og er langt frá því, að þeim skilyrðum verði náð, meðan holan er í rekstri og ætti því engin hætta að vera á ópalútfellingum. Á mynd 10 eru jónamargfeldi (Ca⁺) og (CO₃²⁻) fyrir sýni úr holu KJ-3A og gamalt sýni úr holu KJ-9 borin saman við mettunarferil kalsíts (Helgeson 1969). Þar kemur fram, að vatnið er nokkuð yfirmettað með tilliti til kalsíts, þó sýnu meira í holu KJ-9. Vatnsrennslí úr þeirri holu hefur og verið mun meira en úr KJ-3A, svo að reikna má með mun lengri stíflunartíma í KJ-3A en KJ-9, þó að hafa verði mögulega stíflun í huga.

