



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Valgarður Stefánsson
Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Gísli Karel Halldórsson
Halldór Ármannsson
Hjalti Franzson
Trausti Hauksson

KRAFLA - HOLA KJ-14

Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar

OS82061/JHD09
Reykjavík, júlí 1982

Unnið fyrir
Rafmagnsveitur ríkisins -
Kröfluvirkjun



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Valgarður Stefánsson
Ásgrímur Guðmundsson
Benedikt Steingrímsson
Gísli Karel Halldórsson
Halldór Ármannsson
Hjalti Franzson
Trausti Hauksson

KRAFLA – HOLA KJ-14

Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar

OS82061/JHD09
Reykjavík, júlí 1982

Unnið fyrir
Rafmagnsveitur ríkisins -
Kröfluvirkjun

ÁGRIP

Hola KJ-14 var boruð á tímabilinu 13. júlí til 8. ágúst 1980. Holan er 2107 m djúp boruð á nýju borsvæði sem kennt er við Suðurhlíðar Kröflu. Borun gekk yfirleitt vel ef frá er talinn kafli milli 300 og 500 m dýpis. Á því dýptarbili tók um viku tíma að komast fyrir mikinn leka í holunni. Í skýrslunni er fjallað um þær rannsóknir og athuganir sem Jarðhitadeild gerði á holunni meðan á borun stóð og þar til holan var tengd virkjuninni.

Meginhluti jarðlaga er basalt og móberg, en neðan við 1000 m dýpi eru innskot mjög ráðandi. Í heildina séð er jarðlagaskipan mjög svipuð því sem fundist hefur í fyrri holum á Kröflusvæði nema mun meira reyndist vera af ísúru og súru bergi í þessari holu en fyrri holum á Kröflusvæði, og virðast vatnsæðar tengjast þessu bergi sem að öllum líkindum eru innskot. Þykkasta súra lagið er milli 850 og 940 metra dýpis.

Grynnra er á ummyndun í holu KJ-14 en í eldri holum á Kröflusvæði. Nær háhitaummyndun svo hátt í kerfinu að sú ummyndun getur varla hafa átt sér stað við núverandi aðstæður í jarðhitakerfinu. Bent er á til skýringar á þessu að yfirþrýstingur hafi verið í jarðhitakerfinu eða að svæðið hafi verið hulið jökli.

Alls voru ákvarðaðir 16 lekastaðir í holunni, þar af 13 í vinnsluhluta holunnar. Aðalæð holunnar virðist vera á 1050 m dýpi, en æð neðan við 2000 m gæti einnig verið mjög mikilvæg.

Berghiti vex nokkuð línulega með dýpi niður í 700 m og er þar orðinn um 280°C. Þar fyrir neðan fylgir hitastig suðumarksferli og er áætlað um 340°C á 2 km dýpi.

Vatnsleiðni kringum holuna mældist $3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, sem er nokkru herra en fengist hefur í eldri holum í Kröflu.

Rennsli úr holu fylgdu einkenni vinnslu úr tveggja fasa jarðhitakerfi. Heildarrennsli minnkar með tíma en varmainnihald rennslis eykst. Stöðugt varð rennslið um 15 kg/s af gufu, og er hola KJ-14 því aflmesta

holan á Kröflusvæði eins og er. Samband heildarrennslis og varmainnihalds bendir til að blástur holunnar hafi aukið vatnsleiðni í berginu umhverfis holuna.

Styrkur uppleystra efna í renni holunnar er í jafnvægi við bergið, og mengun kvikugasa er lítil sem engin í þessari holu. Í eldri holum í Kröflu er rennið ekki í efnajafnvægi við bergið og magn kvikugasa mikið. Hár styrkur radons og flúors í renni bendir til útskolunar úr súru bergi og er það í samræmi við greiningu jarðlagastaflans og tengsl æða við súrt berg. Gasstyrkur í gufu er á bilinu 1-2%.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
TÖFLUSKRÁ	6
MYNDASKRÁ	7
1 INNGANGUR	9
2 FRAMVINDA BORUNAR	10
2.1 Yfirlit borsögu	10
2.2 Steypingar og mælingar á steypugæðum	13
2.3 Erfiðleikar í borun og mælingar vegna þeirra	19
3 JARÐLAGASKIPAN	21
3.1 Jarðlög í KJ-14	21
3.2 Tenging jarðlaga í KJ-14 við eldra borsvæði	38
3.3 Nokkrar hugmyndir að túlkun á innskotum í KJ-14	42
4 UMMYNDUN	44
4.1 Ummyndun frumsteinda og glers	44
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda	44
4.3 Ummyndunarbelti	49
4.3.1 Ummyndunarbelti í KJ-14	49
4.3.2 Tenging ummyndunarbelta við eldra borsvæði	49
4.4 Möguleg túlkun á ummyndun í KJ-14	51
5 EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS	53
5.1 Vatnsæðar	53
5.2 Lekt jarðlaga (þrepamælingar)	56
5.3 Upphitun	61
5.4 Blástur	65
5.5 Líklegur hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu	71
5.5.1 Þrýstingur á vatnsæðum	71
5.5.2 Berghiti við KJ-14	74
5.5.3 Æðin í 410 m	81
6 EFNASAMSETNING BORHOLUVÖKVA	83
6.1 Niðurstöður efnagreininga	83
6.2 Mældur hiti, kísilhiti og varmainnihald	83

	Bls.
6.3 Gasþrýstingur og mældur þrýstingur	85
6.4 Efnahlutföll	85
6.4.1 Samanburður við aðrar holur	85
6.4.2 Breytingar með tíma	87
7 HELSTU VINNSLUEIGINLEIKAR	92
8 UMRÆÐA	94
HEIMILDASKRÁ	98
VIÐAUKI I Aðferð Albrights til ákvörðunar á jafnvægishitastigi ..	103
VIÐAUKI II Yfirlit yfir mælingar í KJ-14	107

TÖFLUSKRÁ

1 Steypingar í KJ-14 (sbr. mynd 1)	12
2 Hallamælingar í KJ-14 (sbr. mynd 1)	12
3 Borholumælingar meðan á borun KJ-14 stóð (sbr. mynd 1)	12
4 Krafla KJ-14. Aflmælingar	68
5 Krafla KJ-14. Þrýstingsbreytingar við lokanir	70
6 Krafla KJ-14. Vatnsborðsmælingar í borun	71
7 Krafla KJ-14. Heildarrenni. Styrkur efna í mg/kg	83
8 Hitastig og varmainnihald frá hitamælingum, aflmælingum og efnagreiningu kísils skömmu eftir upphaf blásturs	84
9 Kísilstyrkur rennis holu KJ-14 og reiknaður vatnshluti djúprennis	84
10 Mældur þrýstingur og gasþrýstingur á líklegu dýpi æðar við líklegt hitastig rennis	85
11 Meðaltal nokkurra efnahlutfalla í renni valinna hola á Kröflusvæði	86
12 Styrkur radons og hlutföll hans við styrk koldíoxíðs og kalsíums í renni nokkurra hola í Kröflu og Námafjalli, mælt des. 1979 - nóv. 1980	87
13 Efnahlutföll í renni holu KJ-14 frá upphleypingu til tengingar ..	88
14 Krafla KJ-14. Vatn og gufa við 291°C. Styrkur efna í mg/kg .	88

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Helstu þættir borsögu KJ-14	11
2 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar eftir fyrstu steypingu á 9 5/8" fóðurröri	14
3 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar eftir að skotið var út í 295-298 m dýpi og steyppt	15
4 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 50-250 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið	16
5 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 250-470 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið	17
6 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 470-690 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið	18
7 Víddarmælingar í borun KJ-14. Dýptarbil 200-340 m	20
8 Jarðlagasnið og mælingar í KJ-14 (blað 1-9)	29-37
9 Afstöðumynd - Lega þversniða berglaga og ummyndunar	39
10 Tenging berglaga KJ-14 við eldra borsvæði	40
11 Samanburður á fjölda súrra og ísúrra berglaga í borholum í Kröflu	41
12 Hugsanleg afstaða innskota sem hola KJ-14 sker neðan 1000 m dýpis	41
13 Ummyndun frumhluta bergs í KJ-14	47
14 Dreifing ummyndunarsteinda í KJ-14	48
15 Ummyndunarbelti í KJ-14, áætlaður berghiti við ummyndun og núverandi berghiti	50
16 Ummyndunarbelti í KJ-14 og tenging við ummyndunarbelti á eldra borsvæði	50
17 Skoltöp í borun KJ-14 og staðsetning æða	53
18 Skoltap í KJ-14 við lok borunar	57
19 Þrepaðaling í holu KJ-14, vatnsborð og áðaling	59
20 Þrepaðaling holu KJ-14. Vatnsborðsbreytingar eftir 43 l/s og 35 l/s dælingu	60
21 Vatnsborðsstaða í KJ-14 við mismunandi áðalingu	60

22	Samband heildarrennslis og varmainnihalds rennslis í holu KJ-14	61
23	Hitamælingar í KJ-14 meðan á upphitun stóð	62
24	Vatnsborðsstaða í holu KJ-14 í upphitun	63
25	Þrýstingur á holutoppi KJ-14 áður en upphleyping hófst	64
26	Upphleyping KJ-14. Þrýstingur	66
27	Upphleyping KJ-14. Vatnsrennslis	66
28	KJ-14. Heildarrennslis og gasstyrkur rennslis fyrstu viku blásturs	67
29	KJ-14. Afl og varmainnihald rennslis fyrstu 50 daga blásturs	67
30	KJ-14. Þrýstimælingar í upphitun	73
31	Líklegur þrýstiferill í KJ-14	73
32	KJ-14. Upphitun eftir borun á 300 m dýpi	77
33	KJ-14. Upphitun eftir borun á 405 m dýpi	77
34	KJ-14. Upphitun eftir borun á 500 m dýpi	78
35	KJ-14. Upphitun eftir borun á 700 m dýpi	78
36	KJ-14. Upphitun eftir borun á 800 m dýpi	79
37	KJ-14. Upphitun eftir borun á 1100 m dýpi	79
38	KJ-14. Upphitun eftir borun á 2080 m dýpi	79
39	Krafla hola KJ-14. Hitamælingar eftir blástur	80
40	Berghiti við holu KJ-14	80
41	KJ-14. Hitamælingar við borlok	82
42	Einfaldað líkan af efri hluta jarðhitakerfisins við KJ-14	82
43	Vatnshluti djúpvökva holu KJ-14 reiknaður frá kísilstyrk	84
44	KJ-14. Breytingar jafnvægis margfelda nokkurra efna með tíma ..	89
45	Efri skil epidótbeltis í íslenskum háhitaholum	95

1 INNGANGUR

Jarðhitakerfið við Kröflu hefur reynst vera margslungið. Hluti kerfisins er í suðu og vestan Hveragils er kerfið tvískipt, í efri og neðri hluta, sem hafa mismunandi vinnslueiginleika (Valgarður Stefánsson o.fl. 1977, Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson 1978 og Valgarður Stefánsson 1980; 1981). Sýnt hefur verið fram á að áhrif kvikuumbrota eru mikil á efnasamsetningu jarðhitavökvans (Gestur Gíslason o.fl. 1978, Halldór Ármannsson o.fl. 1982 og Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980). Þar sem efra vatnskerfið á núverandi vinnslusvæði Kröfluvirkjunar er of kalt til þess að nýtast á háþrýstiprep virkjunarinnar, og þar sem ýmsir örðugleikar hafa komið fram við vinnslu úr neðri hluta kerfisins vestan Hveragils, hefur sú skoðun verið uppi allt frá 1977, að ástæða væri til að kanna vinnslueiginleika í Suðurhlíðum Kröflu. Nákvæmar rannsóknir á gasi í gufuaugum, sem gerðar voru 1979 (Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980), styrkti mjög þessa skoðun, því að niðurstöður þeirra bentu eindregið til að uppstreymissvæði á Kröflusvæði væru þrjú, þ.e. við Leirhnúk, við Hveragil og í Suðurhlíðum Kröflu. Þar að auki voru niðurstöður efnafræðiathugananna þær að uppstreymið í Suðurhlíðum væri ekki eins mengað af kvikugösum og uppstreymið við Leirhnúk og Hveragil.

Sumarið 1980 var boruð ein hola, KJ-14, í Suðurhlíðum Kröflu. Vinnslueiginleikar þeirrar holu virðast mun betri en þeirra hola sem boraðar hafa verið vestan og sunnan við Hveragil.

Þessi skýrsla er samantekt jarðhitafræðilegra athugana, sem JHD gerði samhliða borun holunnar og þangað til holan var tengd virkjuninni. Á mynd 9 má m.a. sjá afstöðu borhola á vinnslusvæði Kröfluvirkjunar.

Skýrslan er að meginhluta samin fyrri hluta árs 1981. Er því í skýrslunni ekki tekið tillit til þeirra upplýsinga sem fengust við borun þriggja hola í Suðurhlíðum Kröflu seinni hluta árs 1981.

Rannsóknin er gerð fyrir Rafmagnsveitur ríkisins - Kröfluvirkjun.

2 FRAMVINDA BORUNAR

2.1 Yfirlit borsögu

Forborun KJ-14 var gerð með Höggbor 3 og tók samtals 25 daga, eða frá 80-04-29 til 80-05-23. Höggborsholan varð 60,8 m djúp (um 66 m ef miðað er við drifborð á Jötni).

Helstu atriði í borsögu Jötuns eru færð inn á mynd 1. Bortími var frá 81-07-13 til 81-08-30 eða alls 49 verkðagar. Borun í berg var samkvæmt borskýrslu um 32% af heildarbortíma. Allar dýptartölur í holunni eru miðaðar við drifborð (rotary) á Jötni, sem er um 7,5 m ofan við aðalflangs á holu.

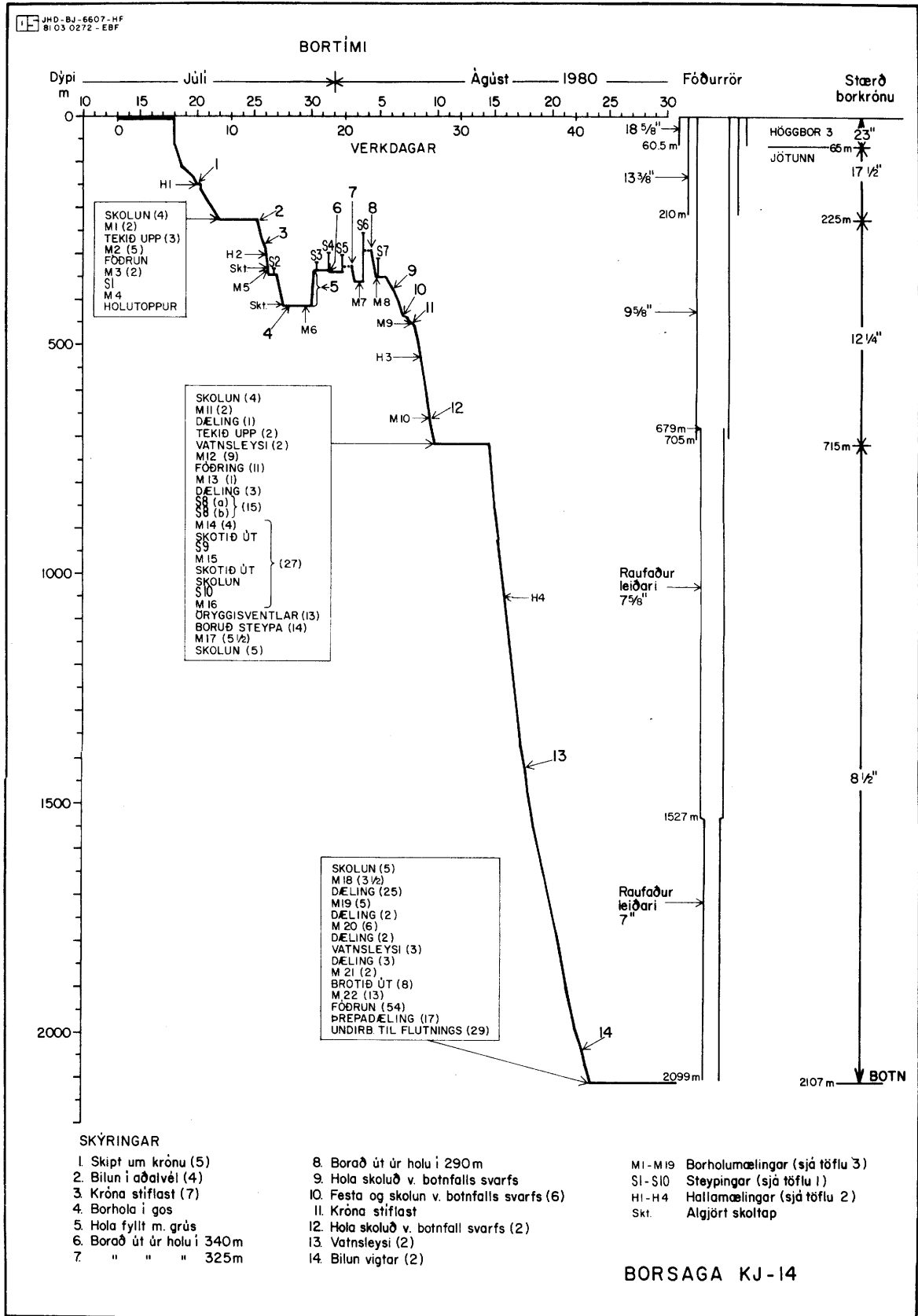
Eins og fram kemur á mynd 1 voru mestu erfiðleikar í borun holunnar á dýptarbilinu 290-450 m. Nánari umfjöllun um þennan þátt er í kafla 2.3.

Steypingar eru skráðar í töflu 1 og merktar inn á mynd 1, þar sem lóð-rétta línan neðan við stafinn S táknar það dýptarbil sem steyppt var í. Nánari umfjöllun um steypingar og mælingar á steypugæðum er í kafla 2.2.

Fjórar hallamælingar voru gerðar meðan á borun stóð, og eru mæligildi sýnd í töflu 2 en dýptarstaðir merktir inn á mynd 1.

Skrá yfir aðrar borholumælingar sem gerðar voru meðan á borun stóð eru í töflu 3 og merktar inn á mynd 1. Skrá yfir allar mælingar í holunni er í töflu í viðauka.

Í atvikaskrá á mynd 1 eru tölur í sviga áætlaður tími í klukkustundum sem hver aðgerð tók samkvæmt borskýrslu.



MYND 1 Helstu þættir í borsögu KJ-14

JHD - BJ - 6607 - HF
8103 0274 - EBF

TAFLA 1. STEYPINGAR Í KJ-14 (sbr. mynd 1)

No. steypingar	Dagsetning	Magn sements (tonn)	Tegund sements	Neðra borð steypu(m)	Efra borð steypu(m)	Eðlisþyngd	Athugasemd
S1	'80 07 23	30	G-blanda	0	sa 214	164-172	Föðurrör
S2	'80 07 26	65	Portland	330	339		V skoltaps
S3	'80 07 30	5½	"	316	334		"
S4	'80 07 31	55	"	295	sa 336		"
S5	'80 08 01	9	"	285	340		"
S6	'80 08 03	16	"	252	sa 353		" og sköpa
S7	'80 08 04	8	"	308	sa 338		" "
S8a	'80 08 11	22	G-sement	sa 398	sa 715	sa 173	Föðurrör - þrepasteyping
S8b	'80 08 11	32	Portland + G-sement	300	398	"	" "
S9	'80 08 12	16	Portland	130	300	"	" - skotið út
S10	'80 08 12	8	"	0	130	"	" "

TAFLA 2. HALLAMÆLINGAR Í HOLU KJ-14 (sbr. mynd 1)

No. mælingar sbr. mynd	Dagsetning	Mælinga dýpi (m)	Mældur halli
H1	'80 07 20	150	0,7°
H2	'80 07 20	300	0,9°
H3	'80 08 08	525	0,9°
H4	'80 08 15	1050	1,0°

JHD - BJ - 6607 - HF
8103 0271 - EBF

TAFLA 3. BORHOLUMÆLINGAR - MEÐAN Á BORUN KJ-14 STÓÐ (sbr. mynd 1)

Mælinúmer	1980 Dagsetn.	Dýptarbil	Aætl. tími	Hitam. í stöngum	Hitam. í holu	Nat. γ	γ-γ	CCL	n-n	Viðnám	CBL	SP	Víddar mæling	Tilgangur
M 1	07.22	0-220	1	X				X						Upphitun í holu
M 2	07.22	0-222	5		X	X	X	X	X	X		X	X	Ákvarða jarðlög
M 3	07.22	0-190	2		X			X						Hitamæling fyrir steypingu
M 4	07.24	0-200	½		X			X						CCL v. föðurr. og hitam. á v niðurstetn. krönu
M 5	07.26	0-334	1½										X	V skoltaps
M 6	07.29	0-415	5½	X				X						Upphitun í holu
M 7	08.03	0-352	2		X								X	Skápamyndun
M 8	08.04	200-338	1½										X	"
M 9	08.07	0-450 200-450	2½		X								X	"
M 10	08.09	0-640	3	X				X						"
M 11	08.09	0-690	3	X				X						Upphitun í holu
M 12	08.10	0-712	9		XX	X	X	XX	X	X		X	X	Ákvarða jarðlög
M 13	08.11	0-712	1		X			X						V steypingar
M 14	08.11	0-400	4		X		X	X			X			Steypuathugun
M 15	08.12	0-250	3		X			X			X			"
M 16	08.12	0-250	(3)				X				X			"
M 17	08.14	0-700	5½		X		X	X			X			"
M 18	08.23	0-2085	3½	X				X						Upphitun
M 19	08.24	0-2085	5	X				X						"
M 20	08.25	0-2082	6	X				X						"
M 21	08.25	0-2080	2	X				X						"
M 22	08.26	0-2103	13		X	X	X		X	X		X	X	Ákvarða jarðlög

2.2 Steypingar og mælingar á steypugæðum

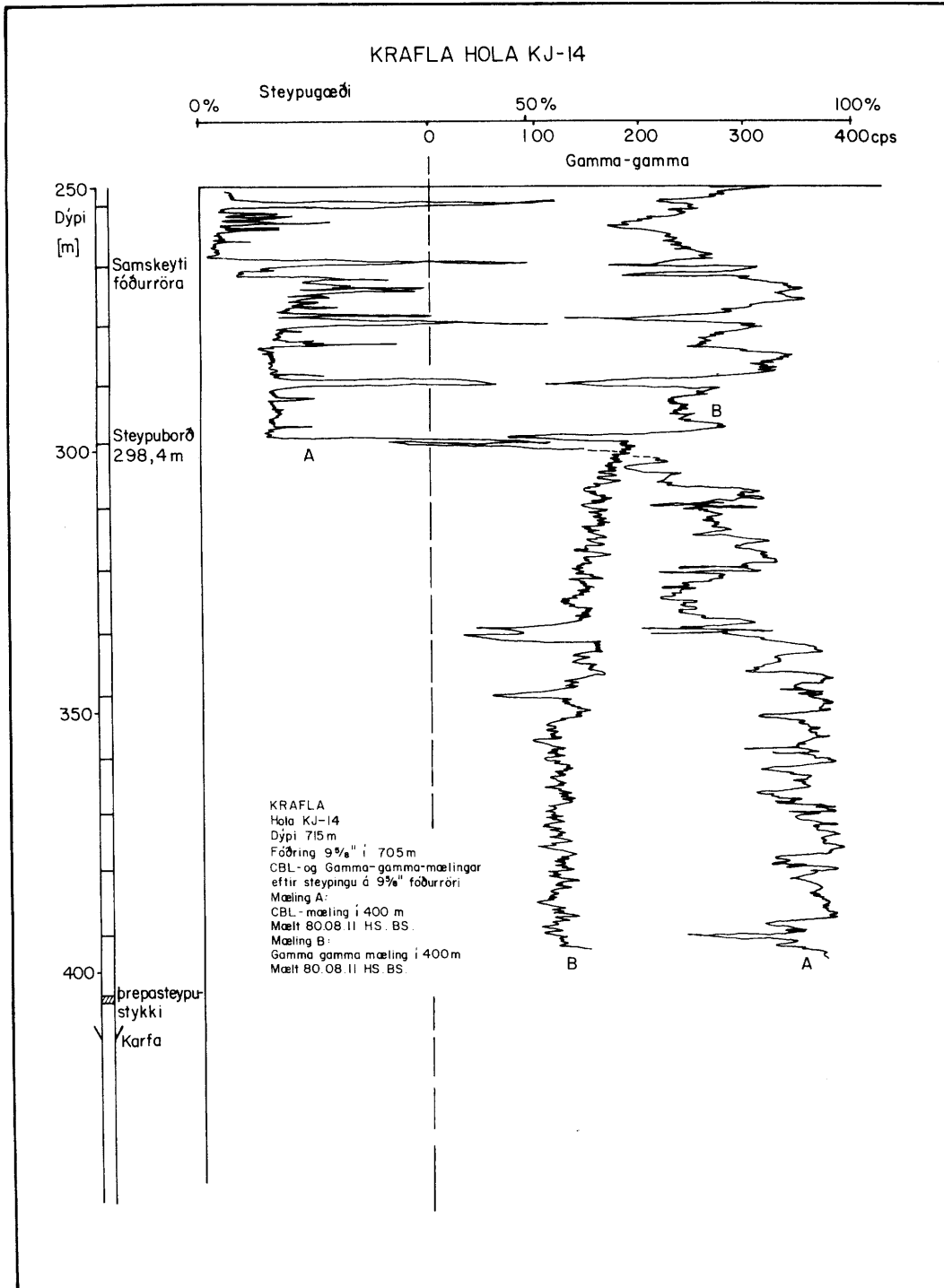
Steyping 13 3/8" fóðringarinnar gekk mjög vel. Holan var þétt fyrir steypingu og steyptist fóðringin upp. Eitthvað seig steypan síðan og var steypt sem svarar 12 m utan með fóðurröri. Var aðgerðin dæmd það vel heppnuð að steypumælingum var sleppt.

Steyping 9 5/8" fóðringunnar reyndist mun erfiðari. Mikill leki var í holunni ofan 425 m dýpis, en hún þétt þar fyrir neðan. Neðri endi fóðringar náði í 705 m dýpi (698,3 miðað við flans) en þrepasteypustykki var á 405-406 m dýpi og steypukarfa á næsta röri neðan við þrepasteypustykkið. Ekki kom dropi upp úr holunni meðan á þrepasteypingunni stóð.

Eftir að steypan hafði harðnað var CBL og $\gamma - \gamma$ mælt. Steypa innan í rörum reyndist vera á 400 m dýpi, en niðurstöður mælinganna eru sýndar á mynd 2. Sýna þær að góð steypa er utan rörsins upp í tæplega 300 m (298,4 m) en engin steypa þar fyrir ofan.

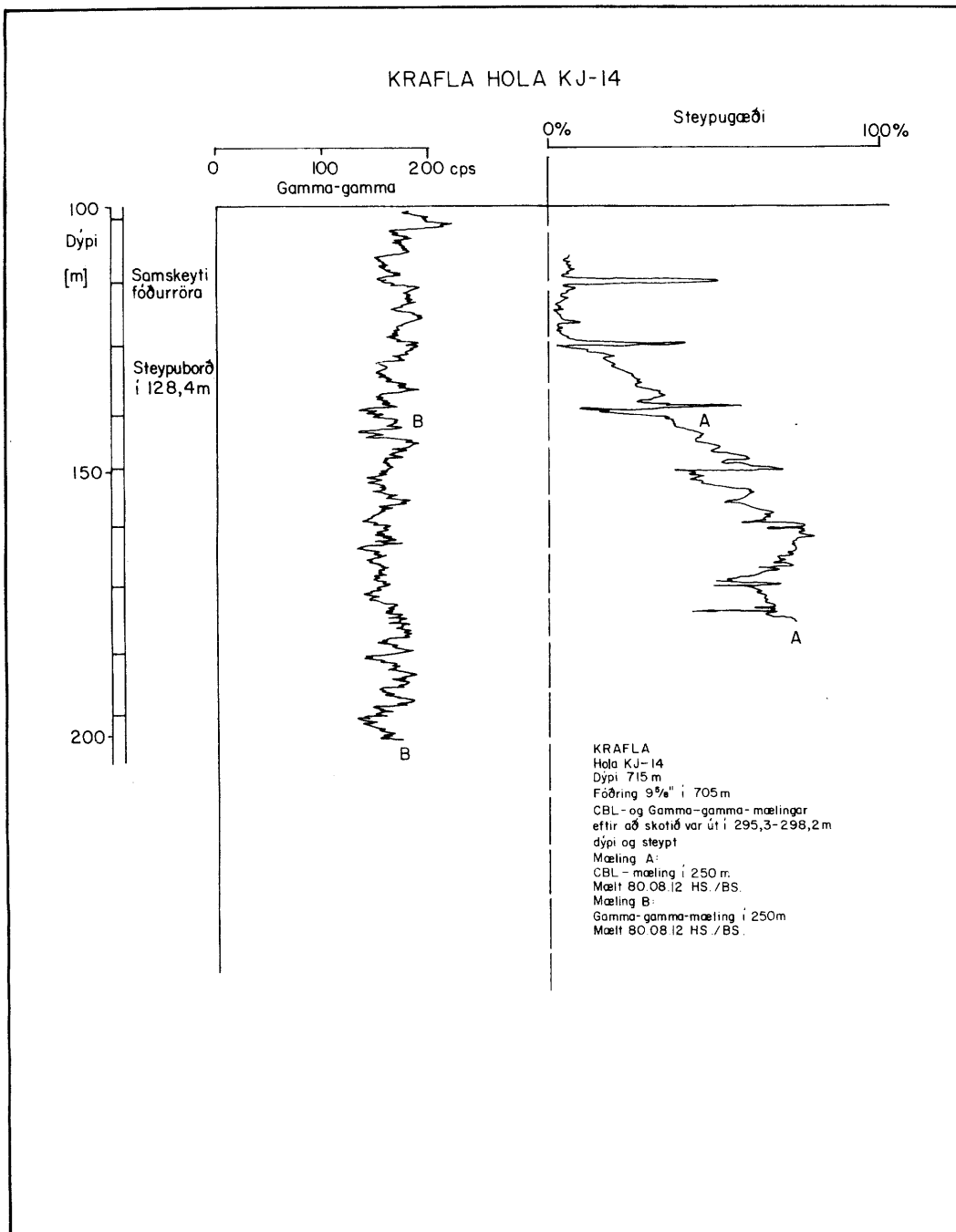
Skotið var út úr fóðringunni við steypuborðið, fyrst fjórum skotum og síðan aftur fjórum, þar sem ekki fékkst næg opnun í fyrstu tilraun. Að því búnu var steypt út í gegnum götin. Samt kom steypan ekki upp og var enn mælt (sjá mynd 3). Reyndist steypuborð í 128,4 m og var skotið þar út 10 skotum. Tókst þá að steypa fóðringuna upp í topp.

Eftir að gengið hafði verið frá holutoppi, og steypa boruð út var fóðringin steypumæld niður í 690 m. Mælingar eru sýndar á myndum 4-6 og tala þær skýru máli um gæði steypunnar. Ef litið er á $\gamma - \gamma$ mælinguna kemur fram illa steyptur kafli á 400 m - 440 m, en þetta er einmitt á móts við stærstu lekastaðina. Athyglisvert er að efri brún þessa kafla ber við þrepasteypustykkið, en í holu KJ-13 kom það sama fram, slæmur steypukafli undir þrepasteypustykkinu. CBL mælingunni ber saman við $\gamma - \gamma$ mælinguna á kaflanum 400-440 m og mælist þar léleg steypa. Ennfremur sýnir mælingin að steypugæðin á bak við fóðringuna eru nokkuð breytileg. Líklegt er að hitastig hafi t.d. farið nærri 200°C neðan 600 m dýpis áður en steypan var boruð út. Á mynd 4 eru steypumælingarnar aðeins sýndar upp í 50 m dýpi, en þar fyrir ofan reyndist steypa vera góð.

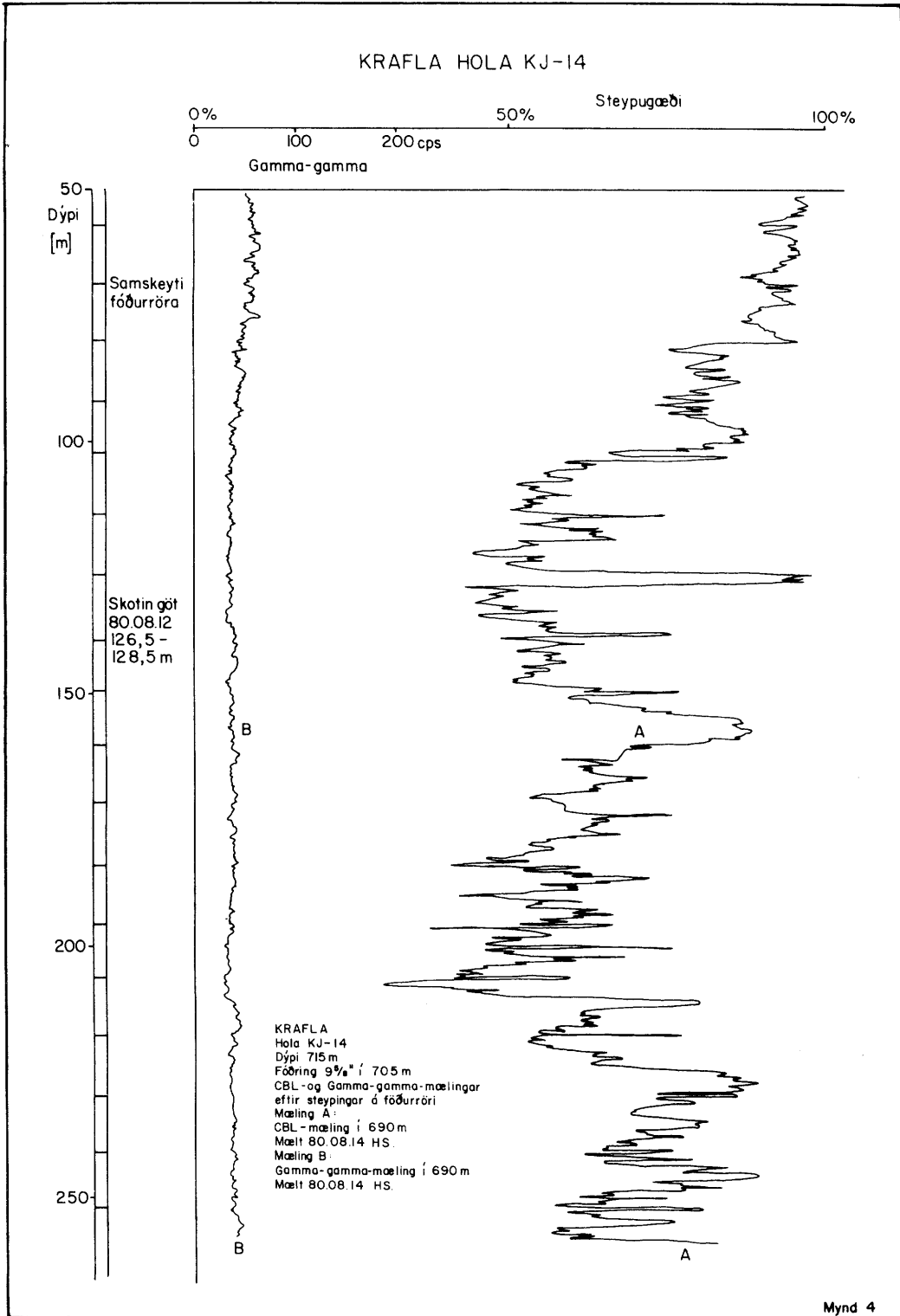


GJ G /A/Å JHD-BM 6607 8I 04 C486

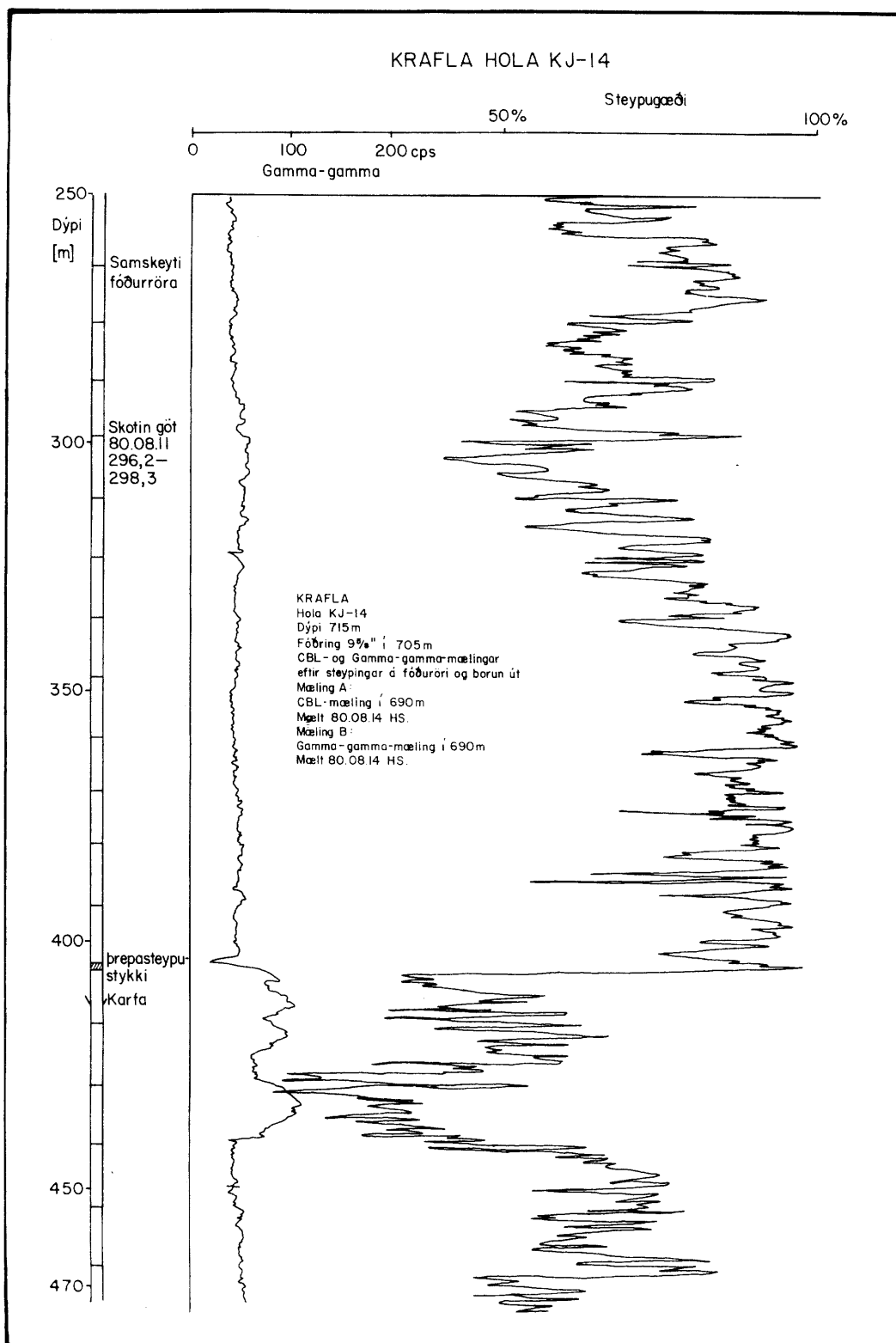
MYND 2 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar eftir fyrstu steypingu á 9 5/8" fóðurröri



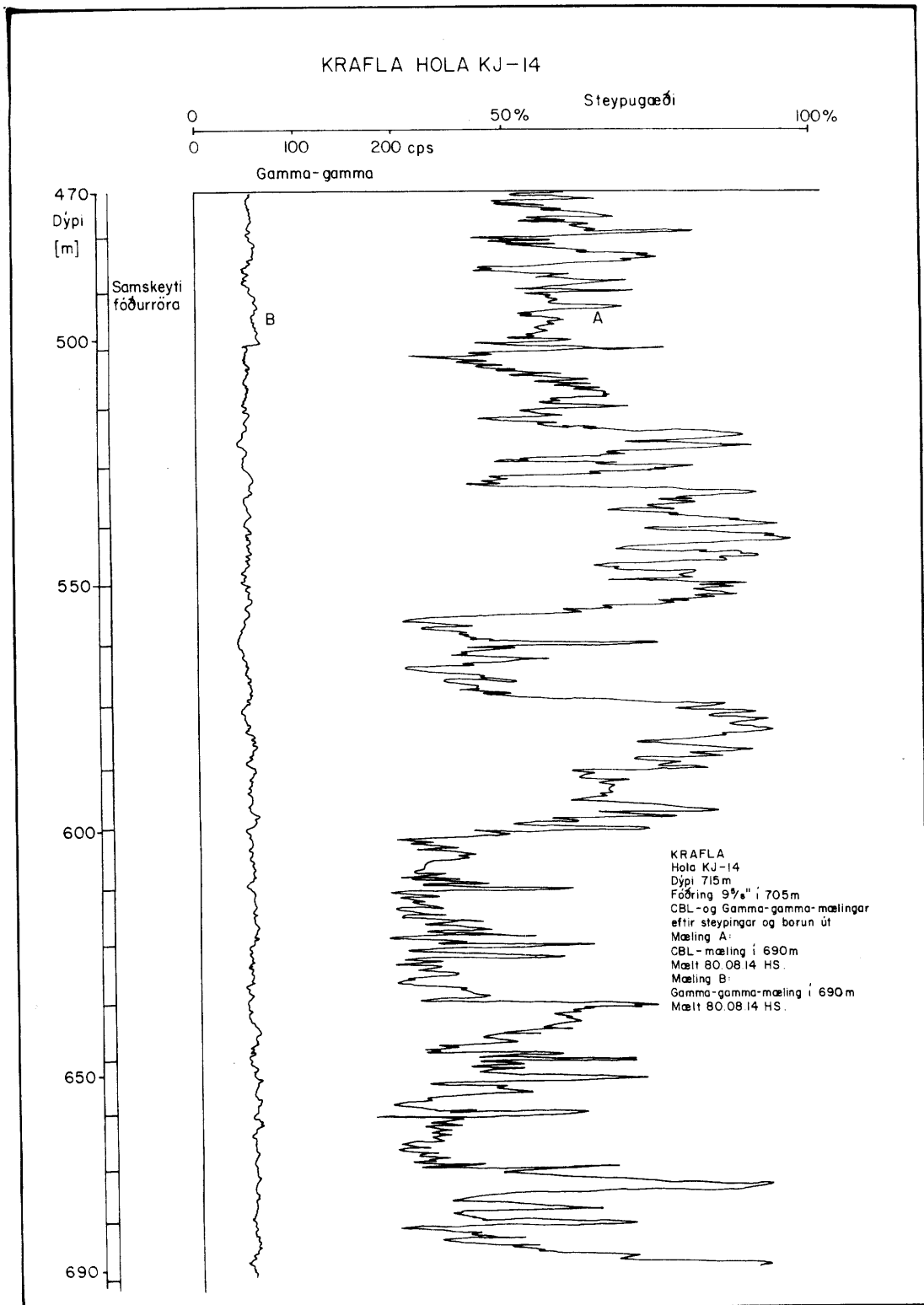
MYND 3 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar eftir að skotið var út í 295-298 m dýpi og steipt



MYND 4 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 50-250 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið



MYND 5 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 250-470 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið



MYND 6 KJ-14. CBL og gamma-gamma mælingar á dýptarbilinu 470-690 m eftir að steypingu á 9 5/8" fóðurröri var lokið

2.3 Erfiðleikar í borun og mælingar vegna þeirra

Verulegir erfiðleikar komu upp við borun fyrir 9 5/8" fóðringu í KJ-14. Fyrstu erfiðleikarnir urðu er komið var í 329 m. Tapaðist þar allt skolvatn, og stóð vatnsborð í 7 m dýpi við 32 l/s dælingu. Var tekið upp úr holunni og hún víddarmæld. Enginn skápur reyndist vera við æðina og holan lítið útpvegin neðan 240 m dýpis (sjá mynd 7, mæling 1).

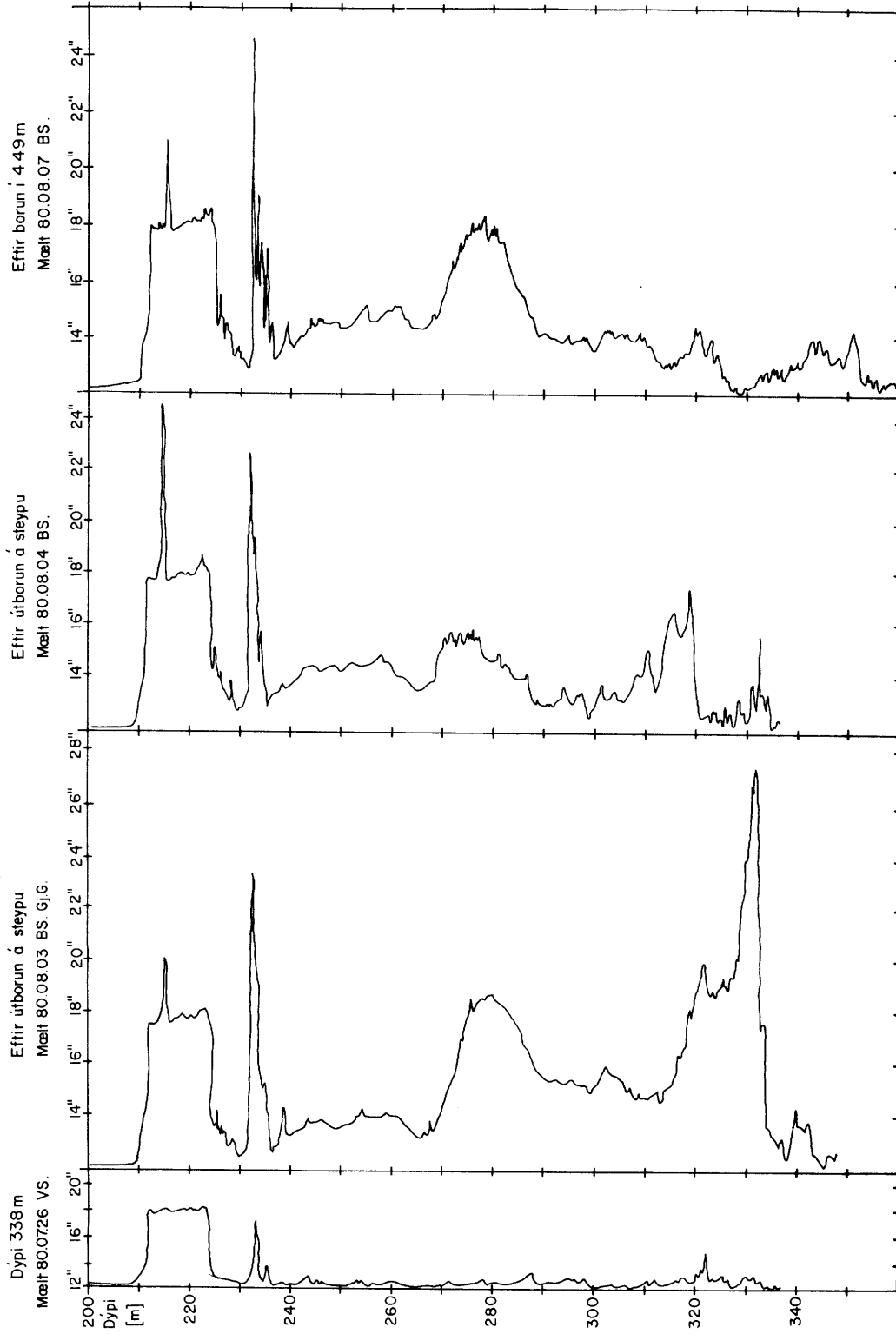
Eftir að steyppt hafði verið í lekann var borun haldið áfram. Skolvatn tapaðist síðan á ný í 410 m dýpi. Mældist vatnsborð í 101 m við 45 l/s dælingu, og virtist það næsta óháð dælingu. Reynt var að þétta holuna með ýmsum efnum en árangurslaust. Voru þá settir 0,4 m³ (~5 m í 12 1/4" holu) af bruna í holuna, og steyping undirbúin.

Lekinn minnkaði, en áður en steyping hófst gaus holan skyndilega. Lokað var að stöngum og dælt 30-46 l/s í 30 tíma á holuna. Dælingartíminn var notaður til að smíða pakkdós fyrir mælingar í holu undir þrýstingi. Hita-mæling var gerð í stöngum og dælt utan með stöngum. Við þá aðgerð kom í ljós að mikið gasstreymi var inn í holuna. Ádælingu var hætt þegar ljóst var að holan var vel kæld. Safnaðist þá fljótlega fyrir í holunni gaspúði með 8 bar þrýstingi.

Tekin var ákvörðun um að setja bruna (10 m) og síðan sand í holuna upp í 334 m og steyppt ofan í upp í 318 m. Við það varð holan loks sámilega þétt, en lekinn tók sig síðan upp aftur fljótlega eftir að borun hófst á ný.

Upphófst nú viku basl. Skiptust þar á daglegar steypingar, útborun á steypu, leki og smávægilegar festur. Var holan víddarmæld tvisvar sinnum á þessum tíma og sýndu mælingar verulega skápamyndun í henni allt frá 250 m í 330 m dýpi (sjá mæl. 2 og 3 á mynd 7) og mátti rekja festurnar til þessara skápa. Að lokum tókst að steypa í skápana, og var þá tekin ákvörðun um að bora áfram niður, þrátt fyrir aukinn leka. Var lekinn nokkuð breytilegur frá 3 l/s upp í 40 l/s. Þegar 448 m dýpi var náð var staldrað við og hita- og skápmælt. Niðurstöður mælinganna gáfu ekki tilefni til frekari steypuæfinga, og þar sem gasið lét ekki á sér kræla var borun haldið áfram niður í fóðringardýpi (715 m).

KRAFLA HOLA KJ-14
Viddarmælingar í borun



BS/AA JHD-BM 6607 8104.0502

MYND 7 Viddarmæling í borun. Dýptarbil 200-340 m

3 JARÐLAGASKIPAN

3.1 Jarðlög í KJ-14

Sýnum af borsvarfi var safnað á tveggja metra fresti niður holuna, svo sem vanalegt er. Við gerð jarðlagasniðsins á mynd 8 er einkum stuðst við svarfgreiningu á borstað. Jafnframt er stuðst við þunnsneiðagreiningu á völdum sýnum, svo og borhraðalínurit og borholumælingar. Jarðlögum er skipt í flokka eftir berggerð og ummyndun. Á jarðlagasniði er einnig leitast við að einhverju leyti að skera úr um, hvort viðkomandi jarðlög eru innskot eða hraunlög.

Jarðlögum er skipt niður í eftirfarandi fimm hluta:

1. Efri móbergsmýndun (20-322 m)
2. Hraunlagasyrpa (322-594 m)
3. Neðri móbergsmýndun (594-1028 m)
4. Hraunlaga-/innskotasypra (1018-1530 m)
5. Innskotasyrpa (1530-2107 m)

1. Efri móbergsmýndun (20-322 m)

Upplýsingar um upphleðslusögu móbergs út frá svarfgreiningu eru fremur takmarkaðar og er sjaldnast unnt að tengja sérkenni móbergsmýndunar á milli borhola. Helsta flokkun móbergs, sem notuð er í svarfgreiningu, lýtur að því hvort kristöllun hafi átt sér stað við kólnun þess eða ekki. Sé móbergið yfirgnæfandi gler (perlitískur strúktúr áberandi) nefnist það túff, en móbergsbreksía, ef meirihluti glersins hefur náð að hlutkristallast. Þriðji flokkurinn er nefndur basaltbreksía en þar er allt að helmingur alkristallað fínkorna basalt (yfirleitt sjást þar málmkorn) en hinn hlutinn að mestu hlutkristallað gler. Algengt er að innan móbergsmýndana finnist basaltlög, og eru þau túlkuð sem innskot samtíma upphleðslu móbergsmýndunarinnar, nema önnur gögn bendi til hins gagnstæða (t.d. frábrugðin ummyndun, önnur bergtegund). Þessi basaltlög eru því ekki merkt á jarðlagasnið sem innskot.

Samkvæmt jarðfræðiathugunum á yfirborði "virðist móbergið í Kröflufjalli hvíla á breksíumyndunum og hraunlögum, sem sjást vestan og sunnan undir fjallinu" (Kristján Sæmundsson, óbirt gögn).

Engin svarfsýni voru tekin úr höggborsholu, en af borhraða má ráða, að á milli 17 og 20 m dýpis komi fremur hart berg sem nær niður á um 40 m dýpi. Hugsanlegt er að á 17-20 m dýpi séu efri mörk þeirrar breksíu- og hraunlagamyndunar sem Kröflumóbergið hvílir á.

Móbergsmyndunin byrjar á 40 m dýpi. Túff er ráðandi frá um 40 m niður undir 200 m en lítt þar fyrir neðan. Móbergið er fersklegt (glerið óummyndað ofan við 110 m) en tekur á sig ljós- til dökkgrænan lit ummyndunar (aðallega myndbreyting yfir í leir) er neðar dregur. Neðan 105 m varð í borun vart við að bergið væri mjög sprungið en þó þétt, þar sem sprungur voru fylltar af útfellingum.

Kristölluð basaltlög fundust með svarfgreiningu aðeins á tveimur dýptarbilum innan móbergsins; a. þrjú þunn lög (1-4 m) milli 108 og 120 m og b. rétt neðan fóðringadýpis á ca. 224-238 m. Á báðum stöðum má rekja toppa í viðnámsmælingum og vídd í víddarmælingum. Þó að svarfsýni séu ekki fyrir hendi á dýptarbilinu 268-274 m þá eru lítill borhraði, minni holuvídd, viðnámsstoppur og toppur í n-n mælingu nokkuð eindregnar vísbendingar um þétt basaltlög á þessu bili. Þessi basaltlög eru hér talin innskot, jafn gömul og móbergsmyndunin.

Ósamræmi er milli mælinga og svarfgreiningar um neðri mörk móbergsins. Í greiningu eru þau afgerandi í 349 m, en samkvæmt mælingum liggja þau nokkuð hærri eða í um 320 m dýpi. Neðan skoltapsins í 329 m minnkar nákvæmni svarfgreiningar, og teljast mælingar í þessu tilviki öruggari vísbending um jarðlagaskipunina og mörk milli syrpa merkt inn á jarðlagasniðið samkvæmt niðurstöðum þeirra.

2. Hraunlagasyrpa

Efri mörk þessarar hraunlagasyrpu eru í ca. 322 m og hefur þeim þegar verið lýst, en neðri mörkin eru sett við basalt/móbergsskilin í 594 m. Syrpan skiptir í tvo hluta:

a. Í efri hluta syrpu (322-485 m) er a.m.k. 21 hraunlag (meðalþykkt tæplega 8 m), þar sem móbergsbreksían túlkast sem kargakennt yfirborð hraunlagsins, en kristallaða basaltið miðbik og botn þess. Á dýptarbilinu 350-485 m er gott samræmi milli svarfgreiningar annars vegar og viðnáms- og neftrónudreifingar hins vegar, þ.e. breksíulögin sýna lágt viðnám og lága neftrónudreifingu, en þar sem basaltið er kristallað og þétt er þessu öfugt farið. Algjört skoltap varð í holunni á um 410 m dýpi. Samkvæmt jarðlagasniðinu er æðin, sem reyndist mjög gasrík, í breksíulagi (karga) á hraunlagamótum.

Hraunlagasyrpan í heild er yfirleitt samsett úr fínkristölluðum og jafnkorna (equigranular) hraunlögum nema á tveimur stöðum (446-457 m; 488-500 m), þar sem lögin eru grófkristölluð. Teljast öll hraunlögin vera þóleiitt að samsetningu.

b. Eins og sést á jarðlagasniðinu er neðri hluti syrpu (485-594 m) nokkuð frábrugðinn þeim efri að því leyti að breytileiki í þykkt basaltlaganna (3-23 m) og móbergslaganna (3-12 m) er mun meiri. Sennilegt er, að sum þessara móbergslaga séu móbergssæt (t.d. 519-532 m; 566-575 m; 577-586 m). Líkt og í efri hluta syrpu er gott samræmi milli mælinga og svarfgreiningar.

Muninn á efri og neðri hluta hraunlagasyrpu má hugsanlega skýra á þann veg, að neðstu hraunlögin, sem mörg hver eru þykk, hafi runnið í djúpa lægð umlukta móbergi. Með tíð og tíma grynna lægðin vegna hraun- og setлагаupphleðslu, og vegna meira rýmis verða hraunin jafnari að þykkt. Að sama skapi minnkar rof og setlagamyndun, bæði vegna meiri fjarlægðar frá roffleti og minni hæðarmunar. Slíka tegund upphleðslu má víða sjá innan virka gosbeltisins, en einnig má benda á að háhitasvæðið er inni í öskju, og má vera að hér sé um að ræða upphleðslu innan hennar.

Tvö ísúr innskot eru innan þessarar syrpu; það efra í 524-526 m, en það neðra á 563-566 m dýpi. Bæði eru fínkorna, þétt og ferskleg; merkjast sem toppar í viðnámi og neftrónudreifingu, en verður ekki vart í mælingu á náttúrulegri gamma-geislun. Flokkun þeirra er byggð á svarf- og þunn-sneiðargreiningu (basalt andesít - andesít).

3. Neðri móbergssmyndun (594-1028 m)

Móbergssmyndunin telst vera um eða yfir 400 m þykk. Nokkur óvissa er þó um þykkt hennar þar sem ekki er vitað undir hvaða horni borholan sker ísúra innskotið (um 100 m í borholunni) við neðri mörk móbergsins.

Frá efri mörkum (594 m) niður að 705 m er túff yfirgnæfandi. Milli 636-715 m dýpis náðust ekki áreiðanleg svarfsýni vegna skoltaps og mikillar blöndunar í skápum ofar í holunni. Á þessu dýptarbili eru mælingar látnar ráða jarðlagagerð, sem þó er merkt á jarðlagasniðið með spurningamerkjum. Mælingarnar gefa til kynna að túffið sé ráðandi niður að um 705 m. Viðnámsmælingarnar gefa til kynna að á dýptarbilunum 645-650 m, 658-660 m, 672-680 m, 690-693 m og 705-710 m gætu verið þétt basaltlög. Túffið er grænt af ummyndun og ríkt af útfellingum, sérstaklega vekur magn epídóts athygli. Þrátt fyrir ummyndunina er glerstrúktur í svarfkornum áberandi.

Mjög ummynduð móbergsbreksía er ráðandi frá 705 m niður á um 743 m dýpi, útfellingarík og grænleit.

Í 743 m og niður að 856 m kemur aftur grænt, víða epidótríkt túff. Innan þessa bils í holunni koma fram fjögur þóleiít basaltlög. Þau tvö efri (790-797 m og 823-829 m) eru fín- til meðalkorna til jaðranna en grófkorna um miðhlutann, bæði grænleit af ummyndun og þétt. Neðri lögin (847 m og 854 m) eru eins til tveggja metra þykk, þétt (þ.e. blöðrulaus) og fínkorna og græn til grænbrúnleit að lit. Milli 829 og 839 m dýpis er móbergs- og basaltbreksíulag, mun dekkra en túffið.

Neðsti hluti móbergssmyndunarinnar nær frá 950-1028 m (samtals um 70 m) og er að mestu gerður úr ummyndaðri móbergs- og basaltbreksíu, grænleitri, og fremur útfellingaríkri. Kristöllum bendir til þóleiít berggerðar.

Móbergið er í heild tvískipt, þ.e. móbergstúff í efstu 250 m en neðstu 75 m eru gerðir úr móbergs- og basaltbreksíu. Víddarmæling, sem gerð var í lok borunar, sýnir að skápamyndun í móberginu varð einna helst þar sem túffið var fyrir, enda reyndist borhraði þar mestur. Þétt basaltlög sýna aftur á móti lítið rof og koma vel fram í víddarmælingu innan móbergsins. Samkvæmt þunnsneiðagreiningu telst móbergið vera þóleiít.

Viðnám er lágt í móberginu, yfirleitt 10-30Ωm, en viðnámstoppur allt upp í rúmlega 100Ωm mældust þar sem þétt basalt er í holunni. Breytileiki í gildum neftrónudreifingar er svipaður og í viðnámi; ákveðnir toppar koma fram þar sem þétt basaltlög eru í holunni.

Innan neðri móbergsmýndunarinnar eru berglög á þremur dýptarbilum sem með nokkurri vissu má túlka sem innskot: (a) 750-755 m. Glerkennt til fínkorna berg, sem í þunnsneið er greint sem ísúrt (andesít). Toppur í viðnámi og neftrónudreifingu mælast á þessu dýpi, svo og fremur óverulegur toppur í náttúrulegu gamma. (b) 857-945 m. Innan þessa dýptarbils telst vera eitt ísúrt innskot gegnumstungið af þremur basaltinnskotum: (i) Í svarfgreiningu er ísúra bergið nær hvítt að lit og sjást einstakir kristallar óljóst. Til jaðranna telst það upprunalega hafa verið fremur fínkorna en grófkorna nær miðju og telst það heita díórít. Endurkristöllun er veruleg og í þunnsneið er erfitt að greina á milli upprunalegrar kristöllunar og endurkristöllunar. Ferlar viðnáms- og neftrónudreifingar liggja nokkru hærra en í móberginu fyrir neðan og ofan. Hár útsláttur kemur fram í náttúrulegu gamma á þessu dýptarbili, þó með lögðum þar sem basaltinnskotin eru. Erfitt er að segja til um halla þessa innskots, en gera verður þó ráð fyrir að það sé nokkuð þykkt vegna díórít kristöllunar. (ii) Efsta basaltinnskotið liggur milli 872 og 876 m dýpis og er það ferskt og grófkorna (dólerít). Ummynndað fínkorna basaltinnskot, vart meira en 1 m að þykkt, sker díórítið í 892 m. Þriðja innskotið (925-935 m) er grófkorna ummynndað basalt (dólerít). Basaltinnskot þessi gefa toppa í viðnámi og neftrónudreifingu og þau tvö sem eru grófkorna samsvara lögðum í náttúrulegum gammaútslátti. Eins og nefnt er að ofan, er talið að basaltinnskotin kljúfi það ísúra og séu þar af leiðandi yngri. Mögulegt er talið, að grófkornuðu basaltlögin á 790-797 m og 823-829 m séu innskot yngri en móbergsmýndunin.

4. Hraunlaga- og innskotasyrpa (1028-1530 m)

Innan þessa dýptarbils er kristallað basalt, auk fjögurra ísúrra innskota, og reyndist unnt að skipta berglögnum í 44 einingar. Viðnám (64") innan þessa dýptarbils reyndist yfirleitt liggja nærri 50 Ωm, en toppar fara hæst í um 150 Ωm. Gildin eru mun lægri en þau sem mældust í innskotasyrpunni fyrir neðan. Á jarðlagasniði er reynt að greina berglögin eftir uppruna, þ.e.:

a. Hraunlög. Helsta einkennið, sem markar þennan hóp, var hvort efri hluti laganna væri breksíukenndur eða blöðróttur. Einnig gat borhraði gefið vísbendingu, ef hann var tiltölulega mikill í efri hluta lagsins en fór minnkandi er komið var í þéttari hluta þess. Alls flokkuðust 15 lög í þennan hóp.

Hraunlögin hér eru frábrugðin þeim í hraunlagasyrpunni á 322-594 m dýpi í því hvað karginn virðist þynnri. Ef til vill má rekja þennan mismun til þess, að í efri syrpunni eru apalhraun ráðandi, en helluhraun í þeirri neðri. Þar sem þunnsneiðagreiningar voru gerðar reyndist berggerðin þóleiít í báðum syrpunum.

b. Basaltinnskot. Helstu einkenni þessa hóps eru þétt og fersklegt berg, lítill borhraði, stallur í víddarmælingu og sterkir toppar í viðnámsmælingu og neftrónudreifingu. Alls reyndust átta lög hafa þessi einkenni.

c. Hraunlög/innskot. Þau 17 lög sem falla í þennan hóp hafa ekki óyggjandi einkenni annars hvors flokksins og eru merkt þannig á jarðlagasniðið.

5. Innskotasyrpa (1530-2107 m)

Í þessum hluta holunnar er talið að innskot séu nær 100% af berglögum. Þeim er skipt í þrjá hluta: a. basalt (1530-1759 m), b. díórít (1759-1840 m) og c. dólerít-gabbró (1840-2197 m).

a. Basalt (1530-1759 m)

Í stuttu máli markast efri skil þessarar syrpu af auknum ferskleika bergsins, en neðri mörkin ákvarðast af díórítinnskoti í 1759 m. Engin breksíulög finnast innan þessa dýptarbils. Bergið er þóleiít, þétt, fín- til meðalkorna, nema milli 1585 og 1623 m þar sem það hefur dólerítiskan textúr. Litur þess er brúnn þar sem það er fersklegt en tekur á sig brúngrænan eða grænan lit þar sem ummyndun hefur átt sér stað (1530-1553 m, 1705-1740 m og svo nokkuð víða við lagmót). Í svarfgreiningu reyndist unnt að sundurgreina 16 basaltlög en auk þess greindist eitt fínkorna andesítinnskot í 1617-1619 m sem einnig kemur mjög vel fram í mælingu náttúrulegs gamma.

Eins og áður segir reyndist viðnám (64") milli 1028-1530 m vera fremur lágt, eða um 50 Ωm. Milli 1530-1758 m er lágmarksviðnám (64") mun hærri (100 Ωm) svo og sveiflur stærri, allt upp í 500 Ωm. Svipaða breytingu má merkja í neftrónudreifingu; milli 1300-1530 m liggja gildin milli 600-1800 API en neðan þessa dýpis eru þau mun hærri. Innan þessa dýptarbils er greinileg fylgni milli þess, hve bergið er ferskt, og hárri gilda í viðnáms- og neftrónudreifingu.

Röntgengreining á leirsteindum í holunni sýnir að illít byrjar að myndast nærri efri mörkum þessarar myndunar og nær niður á botn holunnar, ef frá er tekið ummyndunarbeltið við díórítganginn (1770-1880 m).

b. Díórít (1759-1840 m)

Helsta skýring þess að innskotið er talið ísúrt er tiltölulega mikið magn málmsteinda í grunnmassa þess fínkornótta, sem ekki er eins áberandi í því grófkornótta. Einkenni ísúrs bergs er hlutfallslega hátt magn málmsteinda. Dólerítið er grófkorna, nema í um 1809 m, þar sem það er fínkorna (mögulega lagaskil). Innskotið er fjórskipt, aðskilið af þremur basaltköflum; (i) 1773- u.þ.b. 1792 m, mjög grófkristallað dólerít, fersklegt í efri hluta en ummyndað í þeim neðri. Þar sem bergið er ummyndað reyndist borhraði hár (jókst úr um 4 í um 10 m/klst), skápamyndun varð og skörp lægð kom fram í viðnámi og neftrónudreifingu. Hugsanlega mætti túlka þessi mælifrávík sem vísbendingu um vatnsæðar. (ii) Fersklegt gabbró milli 1805-1809 m. Við neðri hluta þess finnast korn af fínkorna andesítlegu bergi. (iii) Fín- til meðalkorna basalt, ummyndað.

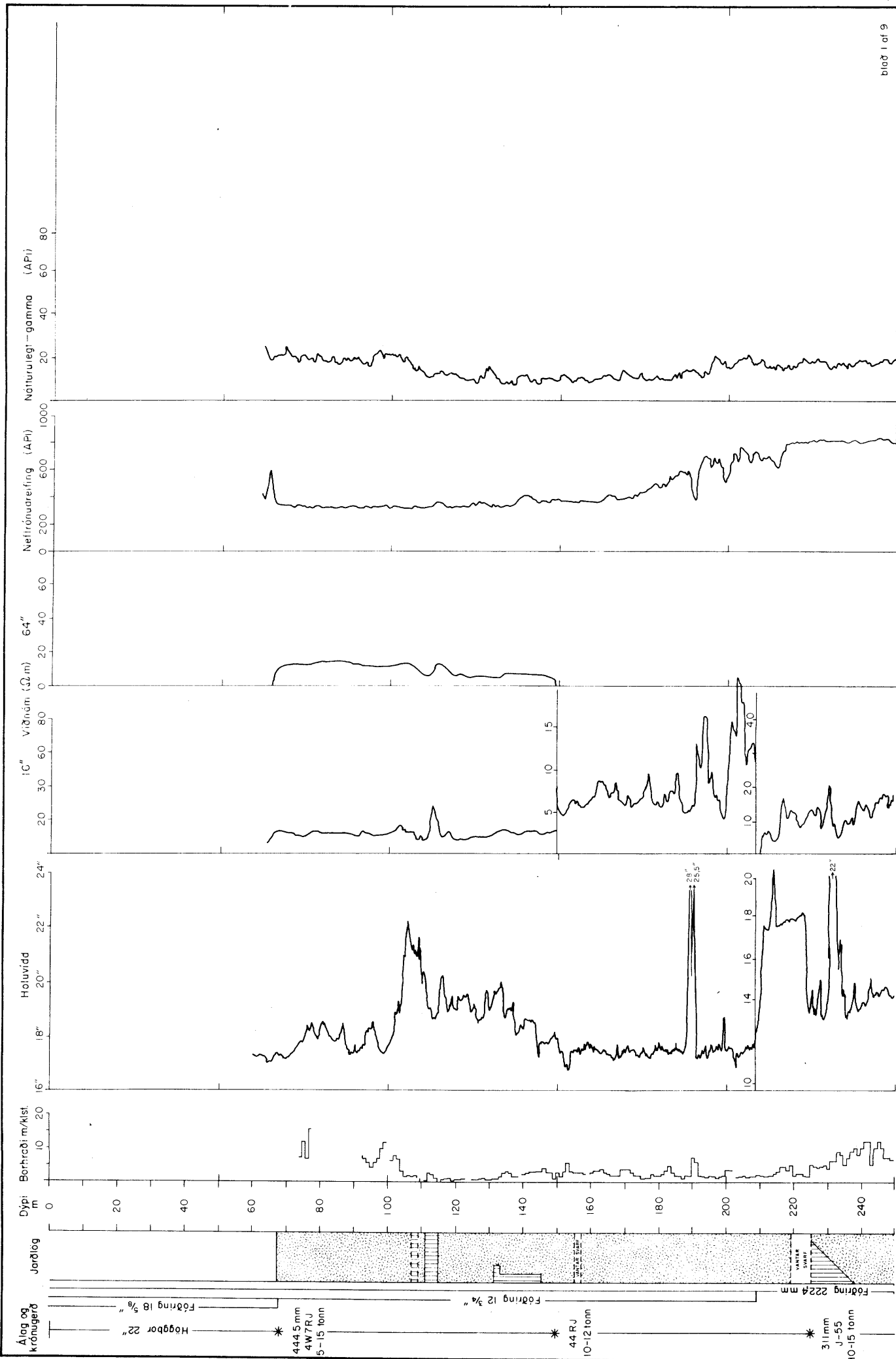
Neðri mörk díórítsins eru óljós bæði í jarðlagasniði og í mælingum. Í svarfi minnkar magn þess frá u.þ.b. 1835 m og er horfið í um 1850 m. Díórítið hefur mjög hátt viðnám (64") (700-800 Ωm) en gabbróið mun lægra (150-250 Ωm). Þrátt fyrir stórar sveiflur í viðnámi í berginu frá 1835 til u.þ.b. 1880 m, má greina, að í heildina lækkar viðnámið fremur hægt. Gildi neftrónudreifingar eru mun lægri innan díórítsins en í gabbróinu. Á sama hátt sýnir náttúrulegt gamma, sem er óbein mæling á kísli, fremur hægfare breytingu úr háu gildi í um 1835 m í lágt gildi gabbrósins í um 1865 m dýpi.

c. Dólerít-gabbró (u.þ.b. 1840-2197 m)

Á þessu dýptarbili er mjög gróft berg ráðandi og er því nefnt hér dólerít-gabbró. Efri mörkum þess hefur þegar verið lýst. Niður í um 1912 m er bergið ummyndað, sem sést af því að í þunnsneið er pýroxeninn mjög leirborinn og plagióklasinn sprunginn. Neðan þessa dýpis telst bergið fremur fersklegt (pýroxen og plagioklas aðeins lítið eitt ummyndaðir).

Á jarðlagasniði eru merktir inn kólnunarfletir þar sem bergið er fín-til meðalgrófkorna. Flest þessara skila koma einnig fram í borhraða. Í viðnámi koma þessir kólnunarfletir skýrt fram sem skarpir viðnáms-
toppar, sérstaklega á 1890-1950 m, 2023 m, 2041 m og 2060-2075 m.

Neftrónudreifingin neðan 1900 m sýnir mjög há gildi eða >1600 API. Á tveimur stöðum (2031 m og 2085 m) koma fram skarpar lægðir, sem falla saman við tiltölulega lágt viðnám. Einnig koma fram nokkur skörp lággildi í neftrónudreifingu í 1882 m, 1893m og 1906 m. Þetta gætu mögulega verið merki um vatnsæðar. Líklegt er talið að myndunin sé samsett úr (einhverjum) fjölda smærri innskota.



blað 1 of 9

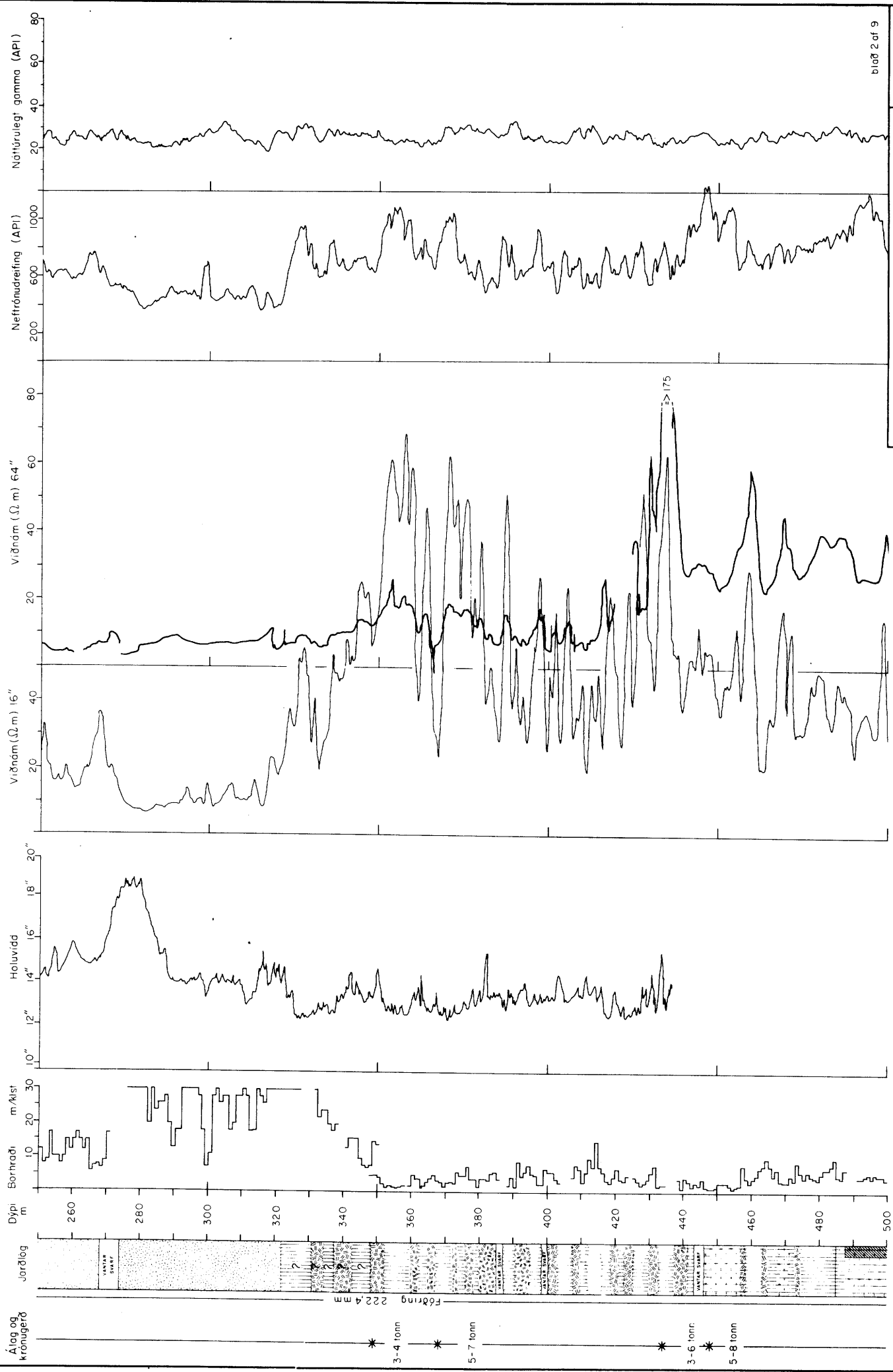
80.12.17
H.F./O.D.
Krafía

ORKUSTOFNUN



JARÐLAGASNIÐ KJ-14

F. 00240



blað 2 of 9

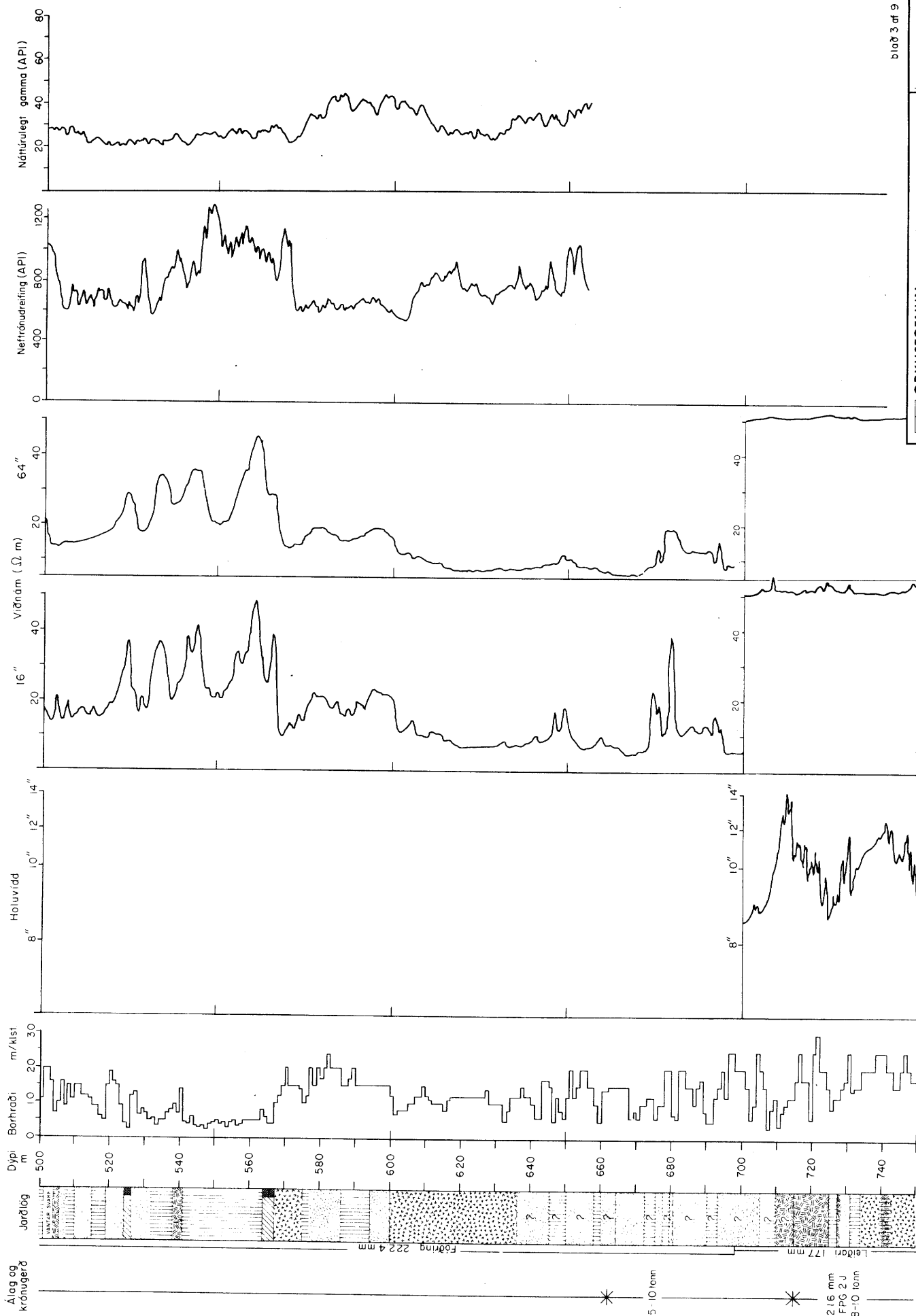
80 12 17
H F / 00
Krafla
F-20340

ORKUSTOFNUN

JARLAGASNIÐ KJ-14

Föring 222.4 m

3-4 tonn *
 5-7 tonn *
 3-6 tonn *
 5-8 tonn *



bl. 3 af 9

80.12.17
H.F./ÓD
Krafía
E 20340

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild
JARÐLAGASNIÐ KJ-14

Álag og kröngugerð

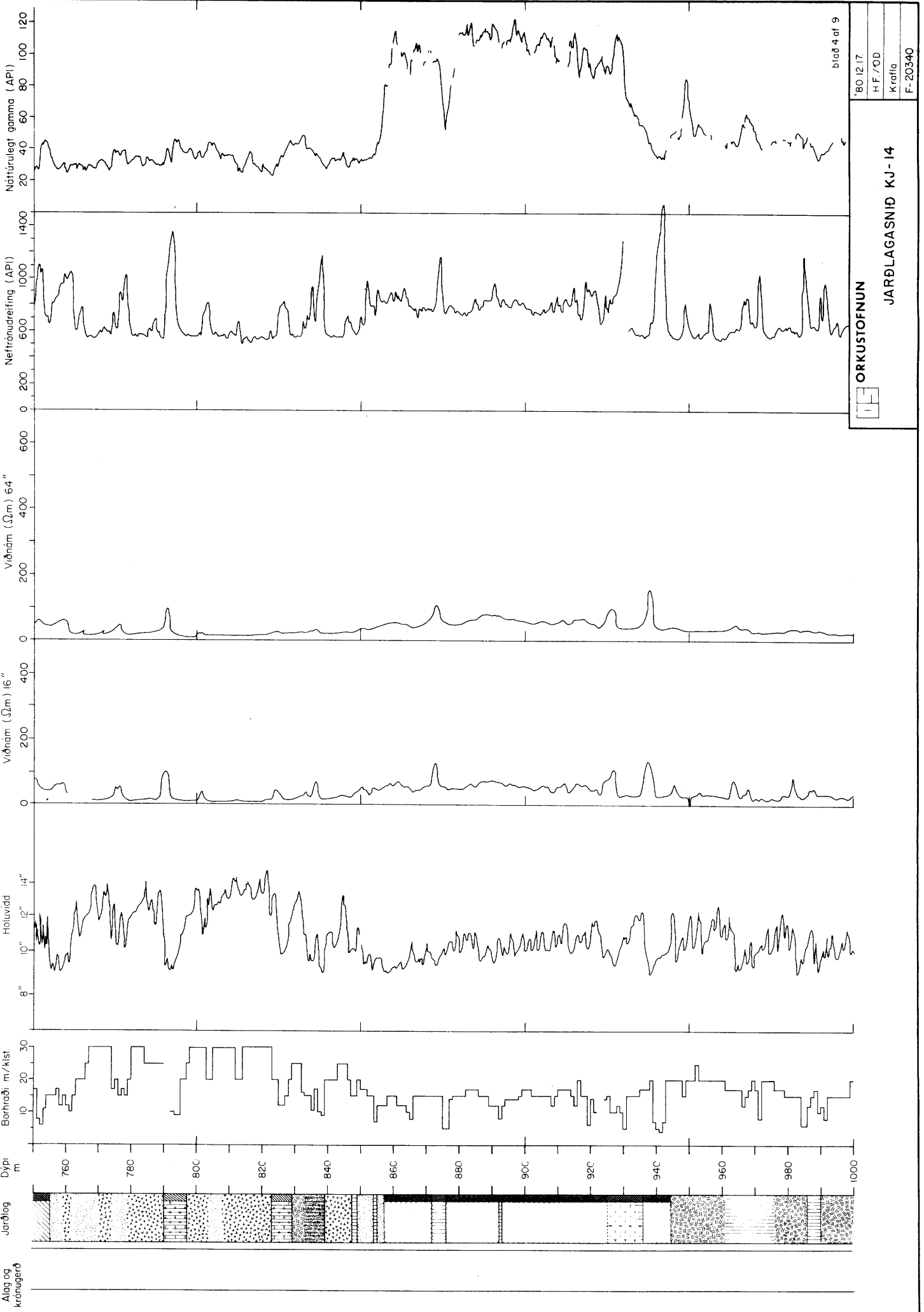
5-10 tonn

2.16 mm FPG 2 J

8-10 tonn

Fóðring 222.4 mm

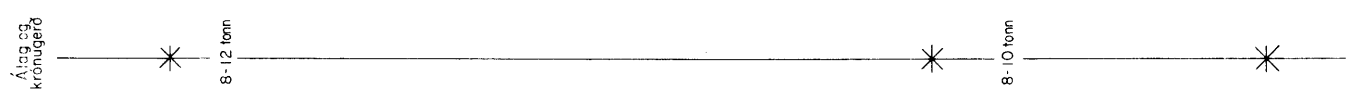
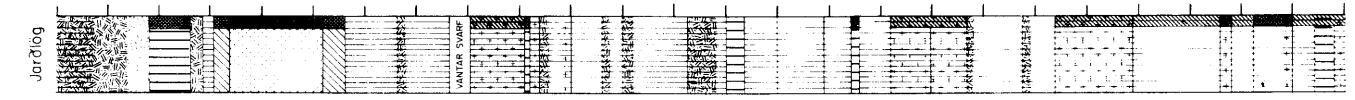
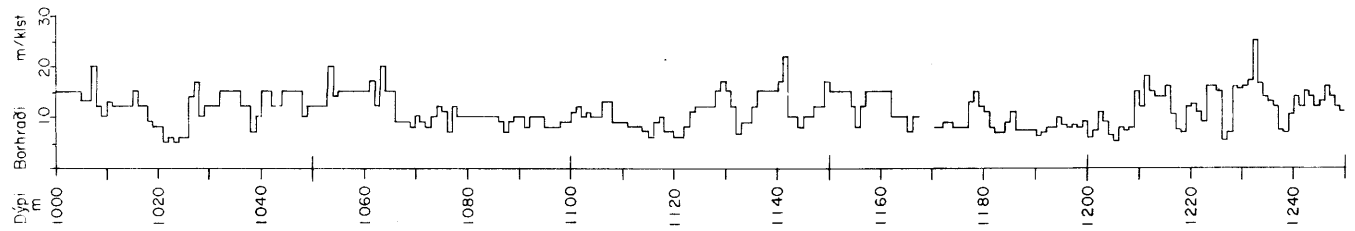
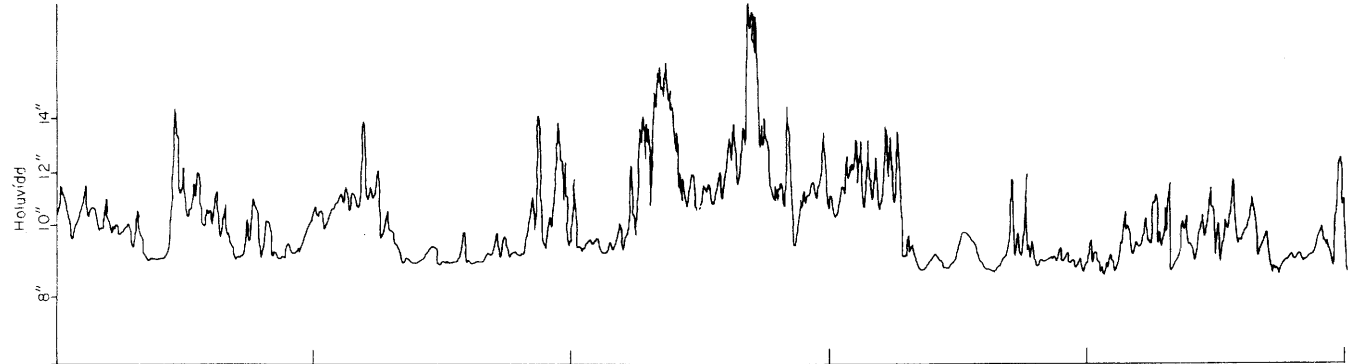
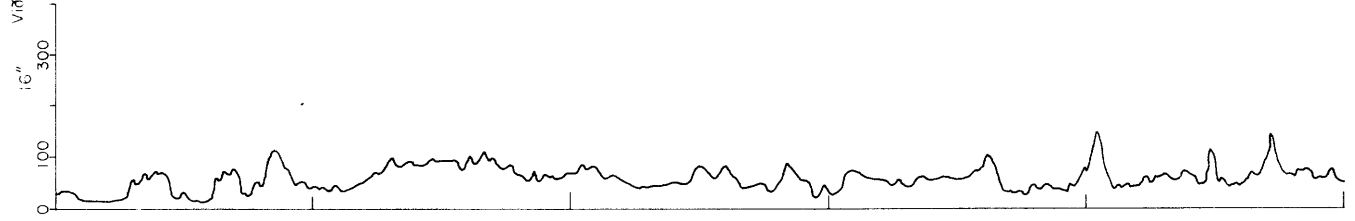
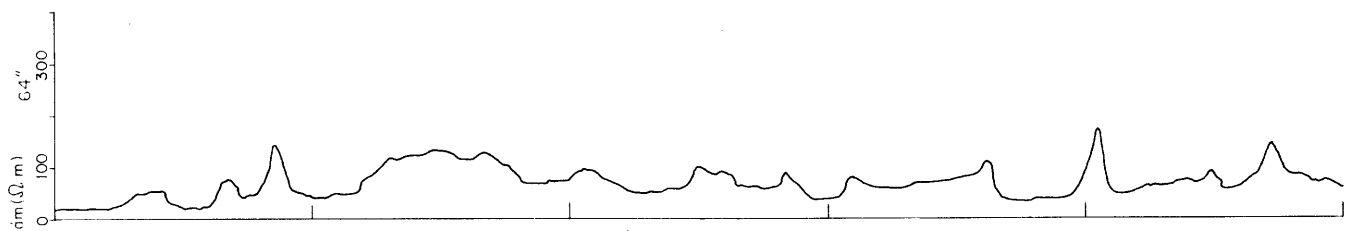
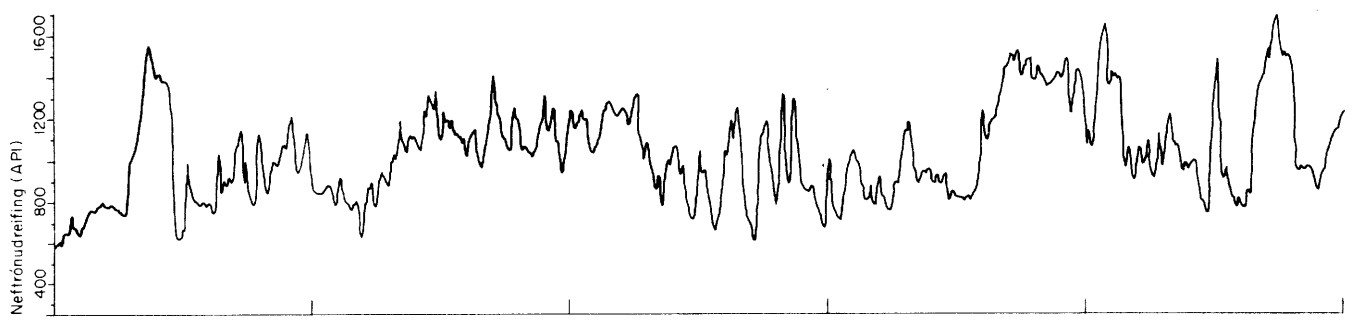
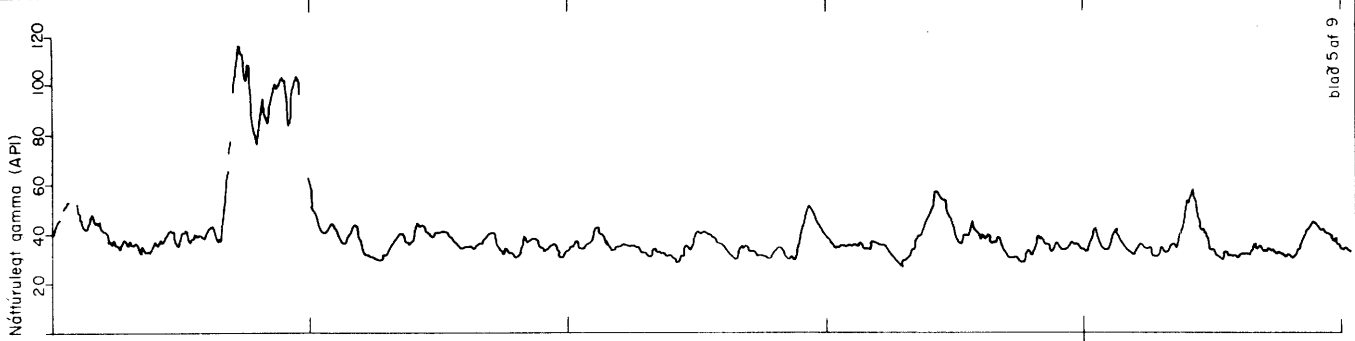
eldri 177 mm



blað 4 af 9

'80.12.17.
H.F./OD
Krafía
F. 20340

ORKUSTOFNUN
JARÐLAGSNID KJ-14

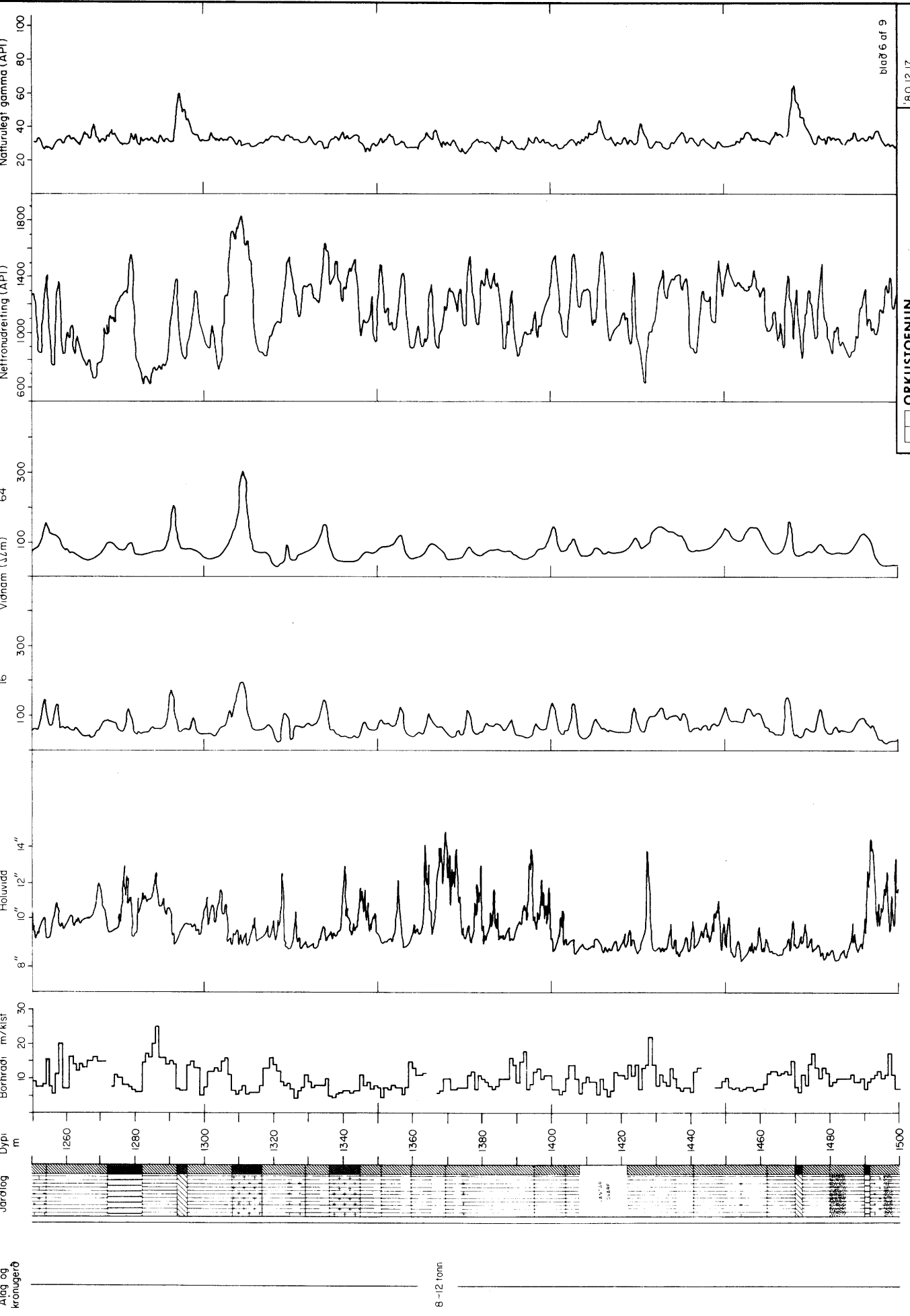


blað 5 of 9

'80.12.17
HF /00
Krafía
F. 20340

ORKUSTOFNUN
JARÐLAGASNIÐ KJ-14



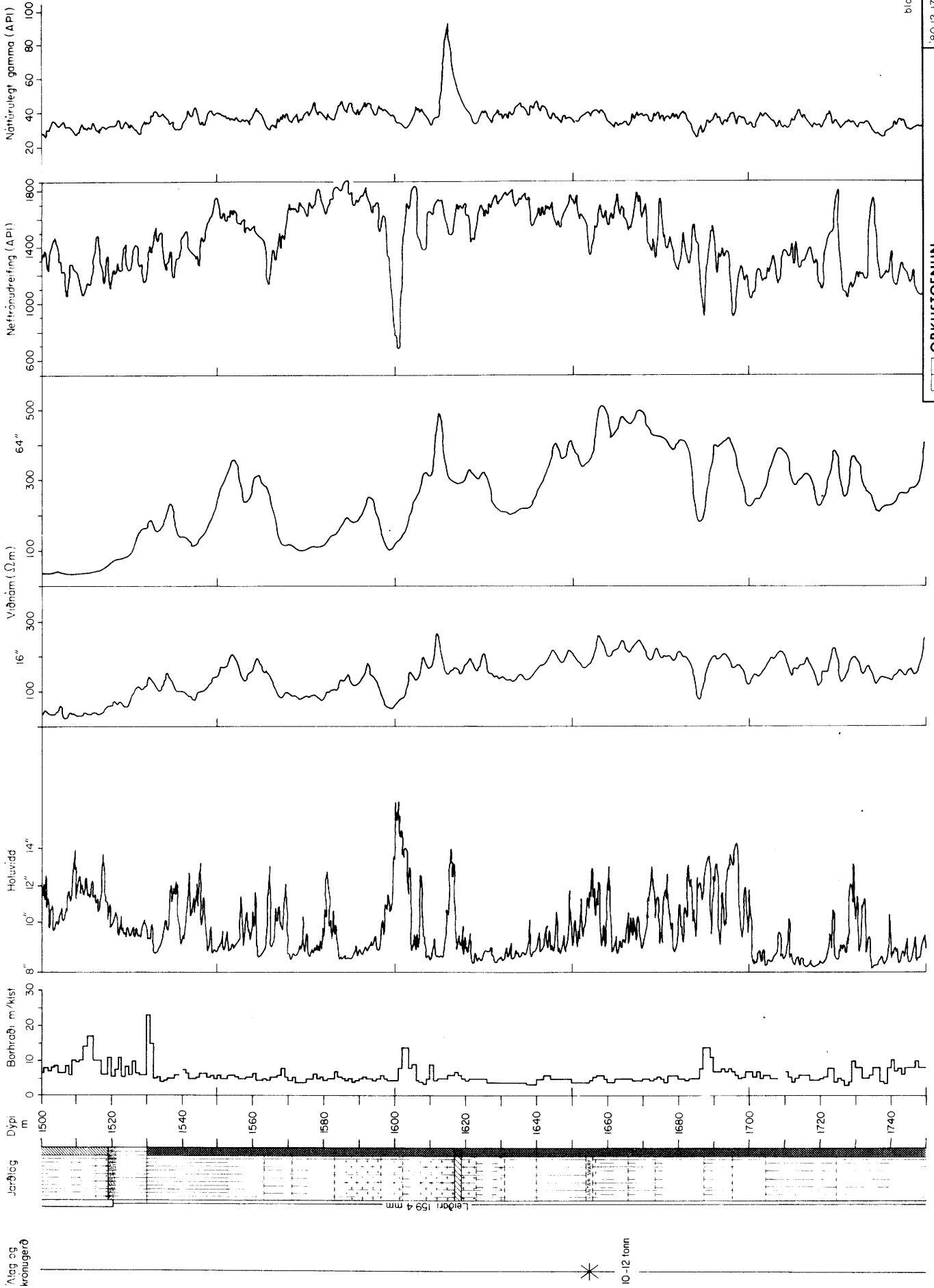


blað 6 af 9

80.12.17
H.F./O.D.
Krafía
F-20340

ORKUSTOFNUN
JARÐLAGASNIÐ KJ-14

8-12 cm



blað 7 af 9

5012.17

H.F. ZÓD

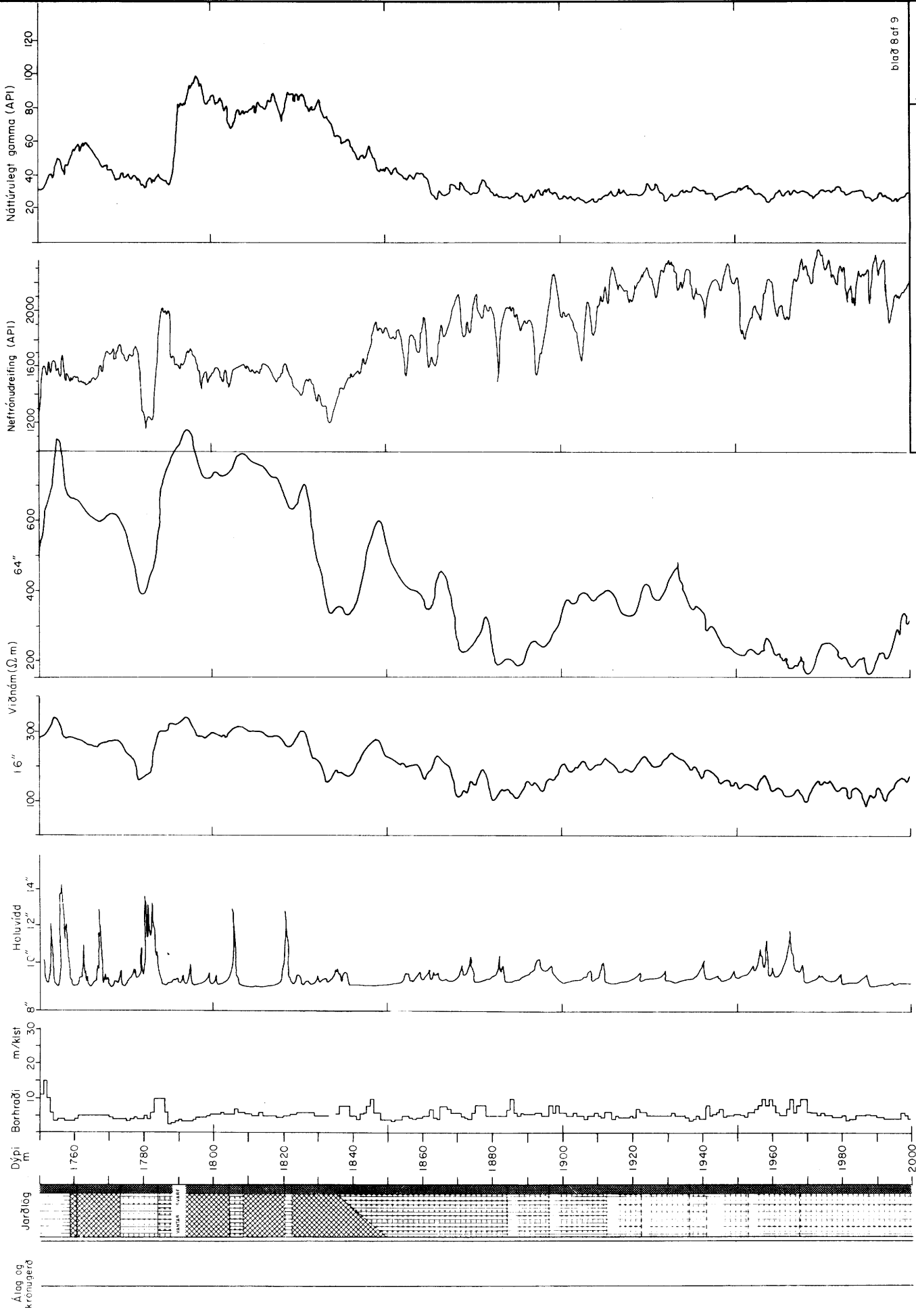
Krafía

F-20340

ORKUSTOFNUN

JARÐLAGASNIÐ KJ-14

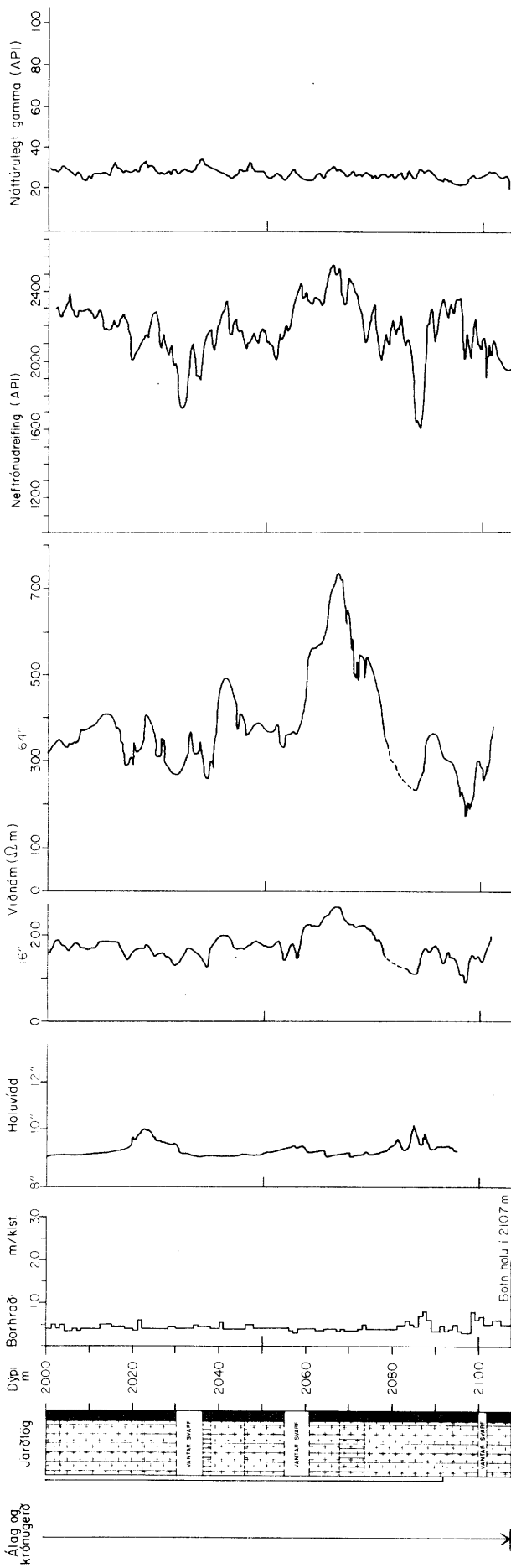




blað 8 af 9

80.12.17
H.F./O.D.
Krafía
F. 20340

ORKUSTOFNUN
JARÐLAGASNIÐ KJ-14



- Glerjugg basalt
- Ferskt basalt
- Ummyndað basalt
- Ummyndað aðlerit/gabbro
- Ferskt aðlerit/gabbro
- Móbergs breksía
- Basalt breksía
- Móbergs túff
- Finkarna (l)úrt berg
- Gráfkorna (l)úrt berg
- Hraunlag og/eda innskot
- Innskot

blað 9 af 9

ORKUSTOFNUN

JARÐLAGASNIÐ KJ-14

80.12.17
H.F./OD
Krafía
F. 20340

3.2 Tenging jarðlaga í KJ-14 við gamla borsvæðið

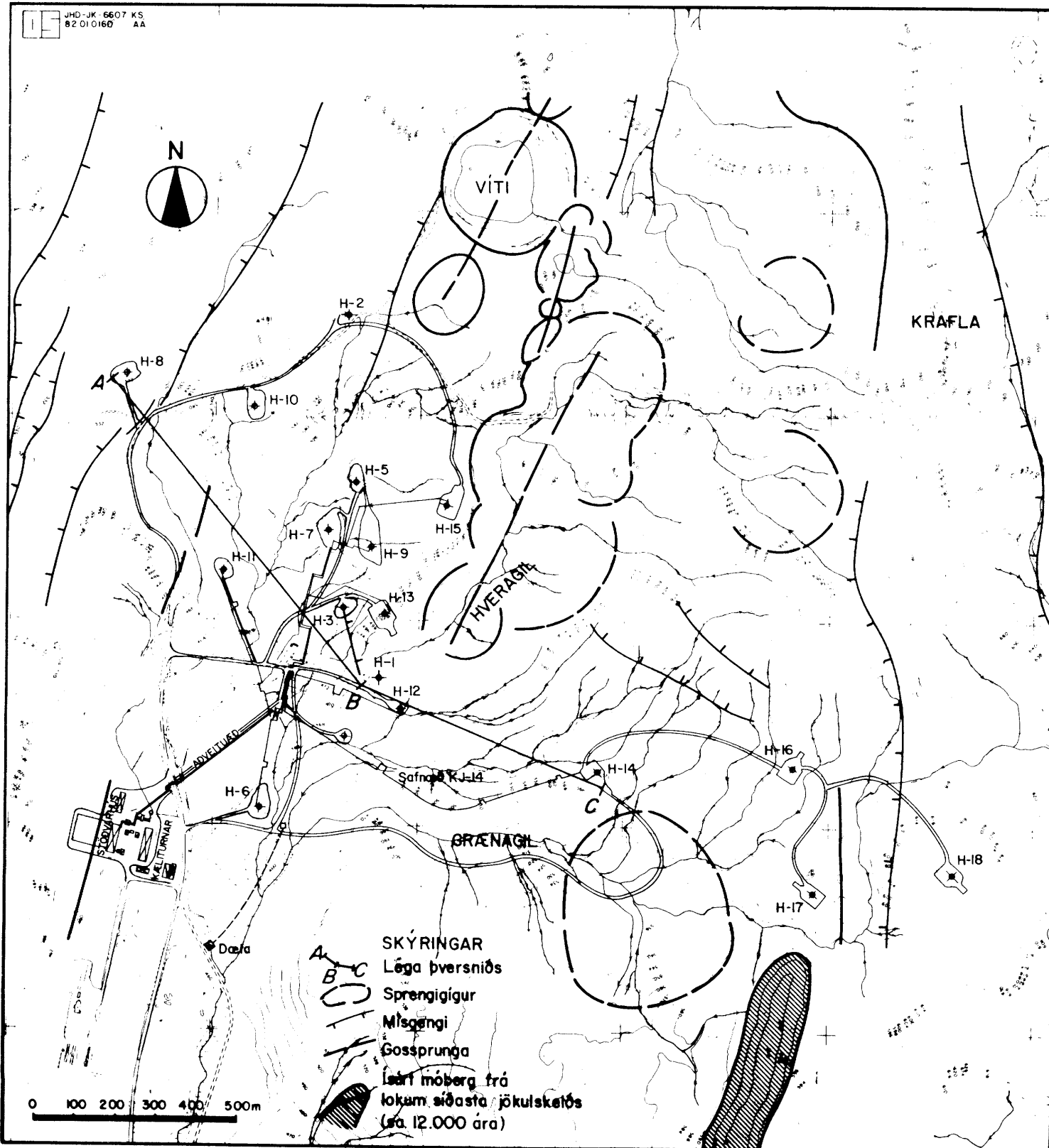
Tenging jarðlaga í KJ-14 við jarðlög á eldra borsvæði er sýnt í sniði á mynd 10 (Hrefna Kristmannsdóttir 1978). Staðsetning jarðlagasniðsins er sýnt á mynd 9, sem jafnframt sýnir helstu sprungur og afstöðu borhola á vinnslusvæði Kröfluvirkjunar. Jarðlög á eldra borsvæði eru miðuð við greiningar í holum KW-1, KJ-7, KG-8, KJ-9, KG-10 og KJ-11 (Hrefna Kristmannsdóttir 1975; 1976; Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1976 a, b & c; 1977 a, b, c & d). Þrjár efstu myndanirnar, þ.e. efri móbergsmýndunin, hraunlagasyrpan og neðri móbergsmýndunin, tengjast vel við samsvarandi myndanir eldra borsvæðisins, nema nokkur munur er á dýpi til jarðlagaskila á milli svæðanna.

Ætla má, að yfirborð hraunlagasyrpu sé fremur hallalítið, þar sem hraunkvika, sem hver annar vökvi, leitast við að slétta úr misfellum í landslagi. Öðru máli gegnir þar sem hraunlagasyrpa liggur ofan á móbergsmýndun, því þar ráðast hæðarmörk skilanna af lögum móbergsins.

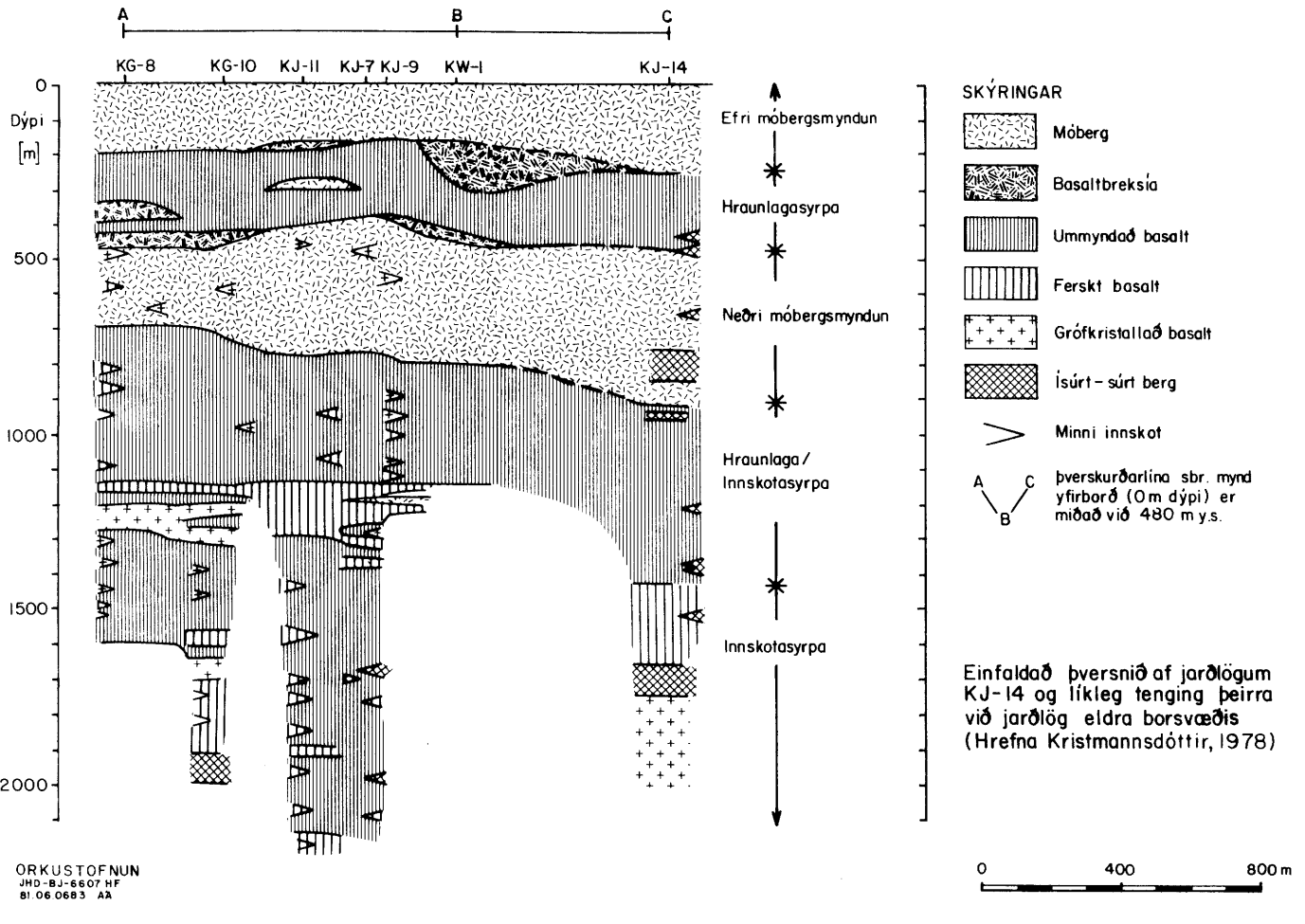
Eins og fram kemur í jarðlagalýsingu eru öll jarðlög neðan 1530 m dýpis talin innskot að uppruna. Ekki verður á þessu stigi reynt að tengja þau við innskot eldra borsvæðis.

Nefnt er í kafla 5 að ákveðið samband sé milli vatnsæða og ísúrra innskota í KJ-14. Mynd 11 sýnir samanburð á fjölda súrra og ísúrra berglaga, sem fundist hafa í borholum í Kröflu (Hrefna Kristmannsdóttir 1975; 1976; Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1976 a, b & c; 1977 a, b, c & d). Í grófum dráttum er fjöldi þeirra mestur í neðri hluta borholanna, ef frá eru taldar KJ-14 og KJ-13. Í þessum tveimur holum er viðsnúin röðun, þar sem flest þessara berglaga eru á milli 500-1000 m, en færri þar fyrir neðan. Í þessum samanburði ber þó að geta að engar mælingar á náttúrulegri gamma-geislun voru gerðar í holum 1-11, og getur það átt einhvern þátt í þessum mun.

Samkvæmt efnagreiningum á gasi í gufuaugum (Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980) er talið vera uppstreymi við Hveragil og í Suðurhlíðum. Í holum KJ-13 og KJ-14 er tiltölulega mikill fjöldi súrra innskota á minna dýpi en í öðrum holum á Kröflusvæði. Þessar aðstæður þyrfti að athuga nánar í framtíðinni.



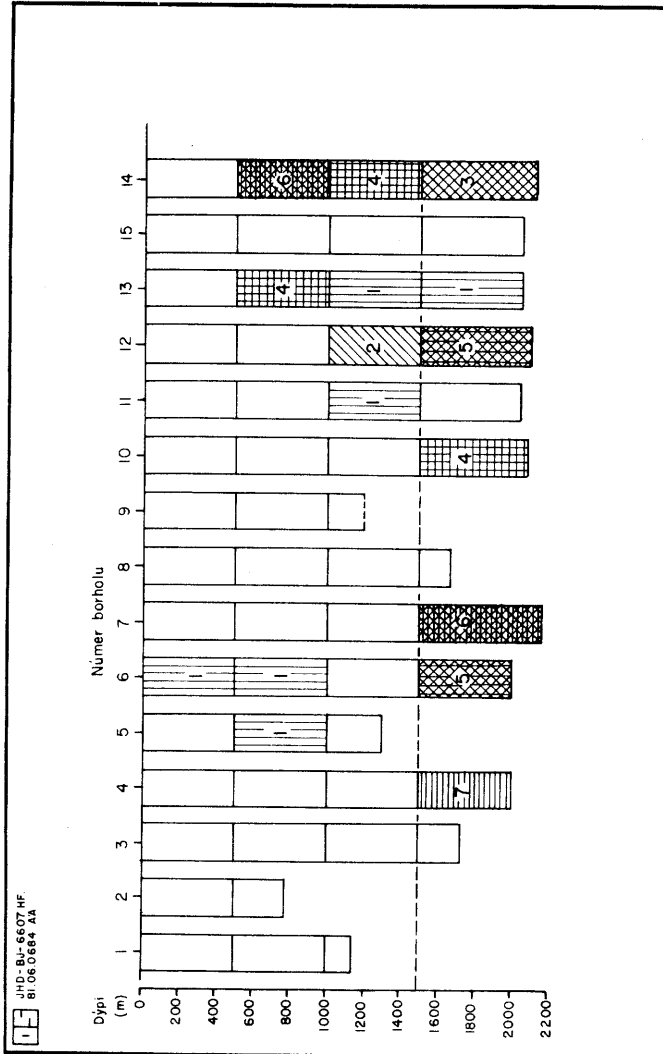
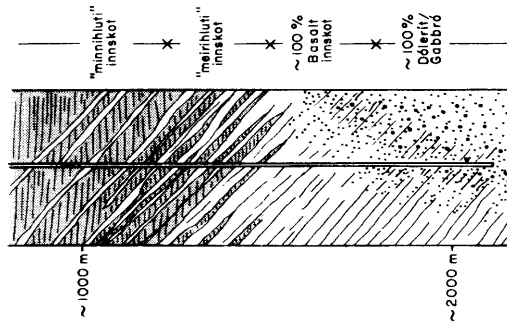
MYND 9 Afstöðumynd - Léga þversniða berglaga og ummyndunar



MYND 10 Tenging berglaga KJ-14 við eldra borsvæði

JHD-BJ-6607-HF
82.05.0748 OD

Skematískur þverskurður, sem sýnir
hugsanlega afstöðu basískra innskota
í neðri hluta KJ-14



MYND 11 Samanburður á fjölda súrra og ísúrra
bergлага í borholum í Kröflu

MYND 12 Hugsanleg afstaða innskota sem hola
KJ-14 sker neðan 1000 m dýpis

3.3 Nokkrar hugmyndir að túlkun á innskotum í KJ-14

Hér verða raktar nokkrar hugmyndir um uppruna innskotabergs í KJ-14, en ekki verður að svo stöddu reynt að tengja þessar "innskota-hugmyndir" við aðrar holur á svæðinu.

Fjöldi innskota skiptir KJ-14 í þrjá hluta (sbr. myndir 8 og 14):

- a. Ofan 1200 m. Í þessum hluta holunnar eru innskot hvað fátíðust.
- b. Milli 1200-1500 m. Eins og á jarðlagasniði sést í mörgum tilvikum nokkur óvissa í túlkun hvort um hraunlög eða innskot er að ræða. Miðað við heildarmynd holunnar, má ætla að þetta dýptarbil sé eins konar millistig á milli berglagastafla, þar sem upphleðsluberg er yfirgnæfandi, og berglagastafla sem innskotsberg er yfirgnæfandi.
- c. Neðan 1500 m dýpis. Í þessum hluta holunnar er talið, að innskotslög séu allt að 100% þeirra laga, sem holan sker.

Eins og fram kemur í jarðlagalýsingu, eru neðan 1500 m dýpis tvær gerðir innskota af basaltsamsetningu; rúmlega 200 m þykkur kafli fín- til meðalkorna basaltlaga í efri hluta en gabbró í neðri hluta. Lög efri hluta, sem öll eru talin vera innskot, eru mörg hver innan við 6 m þykk, og er meðalþykkt þeirra í holunni tæplega 14 m. Á tertíerum lághitasvæðum, þar sem borað hefur verið í nær lóðréttu ganga (halli $<10^\circ$ frá lóðréttu) hefur þykkt þeirra verið mun meiri en hér og er því líklegt að þessi innskot séu mun meira hallandi frá lóðréttu en ætla mætti frá þessum niðurstöðum. Mörk gabbrósins og þessara hallandi innskota eru nokkuð óglögg vegna ísúra innskotsins, sem þar er. Gabbróið sker sig mjög greinilega frá innskotunum fyrir ofan vegna mjög grófrar kristöllumunar. Lagamót innan gabbrósins, þar sem bergið verður fínkristallaðra, eru nokkuð tíð, og eru einstök lög yfirleitt þynnri en 20 m (meðalþykkt um 15 m). Á svipuðum forsendum og að ofan má telja líklegt að gabbróið sé gert úr hallandi innskotum.

Erfitt er að segja til um hvort þessar tvær gerðir innskota eru tengdar í tíma og rúmi, en slíkt væri hægt með kjarnaborun. Þó má út frá ummyndun ætla að svo sé, því að neðan um 1500 m er bergið tiltölulega lítið ummyndað og er enginn munur í ummyndun greinanlegur á milli basalt- og gabbróinnskotanna. Í öðru lagi greindist illít nær samfelld ásamt klóríti frá um 1600 m niður á botn holunnar. Svo virðist sem illít einskorðist hér við

þétt og fremur fersk berglög, en sé að því er næst verður komist óstöðugt þar sem jarðhitamyndunar gætir, eins og svo greinilegt er í og við ísúra innskotið og ofan 1500 m, en þar hverfur illítið. Hér er gert ráð fyrir að séu þessar tvær innskotamyndanir ólíkar að aldri, þá ætti að merkjast munur í ummyndun þeirra.

Talið er öruggt, að háhitasvæðið í Kröflu sé innan öskjumyndunarinnar (Kristján Sæmundsson o.fl. 1975). Rannsóknir á gerð öskjufyllinga og innskota innan þeirra hafa verið gerðar víða á teríerum og kvarterum svæðum Íslands, þar sem rofmörk liggja djúpt í jarðlagastaflanum (sjá t.d. Ingvar Friðleifsson 1973; Haukur Jóhannesson 1975; Hjalti Franzson 1978). Þessar rannsóknir sýna, að innskotamyndanir innan öskju megineldstöðvar eru frábrugðnar því, sem gerist utan hennar. Utan öskjunnar flyst kvikan að mestu eftir lóðréttum rásum, en innan hennar eru gangar mun minna áberandi, en svonefndir keilugangar og berghleifar ráðandi. Keiluganga-sveimur er fjöldi hallandi ganga (ca. 30-60°), frá "sameiginlegum upphafspunkti". Þar sem rof hefur náð djúpt niður í jarðlagastaflann, kemur í ljós, að hinn "sameiginlegi upphafspunktur" keiluganganna er í mörgum tilvikum berghleifur (gabbró, dólerít, díórít, granófýr). Nærri jöðrum slíkra hleifa geta keilugangar náð að verða allt að 100% bergsins. Því hefur einnig verið haldið fram (B.G.J. Upton, persónulegar upplýsingar), að berghleifar sem þessir "vaxi" upp eftir keilugangasveimnum.

Sé hliðsjón höfð af jarðfræði gamalla rofinna öskjumyndana, má átla, að meirihluti innskota neðan 1000 m séu keilugangar. Sú breyting, sem verður úr fín- til meðalkorna hallandi basaltinnskotum yfir í gabbró, gæti bent til, að hola 14 skeri gabbróhleifinn sem fæddi keilugangana. Þessi hugsanlega túlkun er sýnd skematískt á mynd 12.

Í svarfborun er erfitt að meta afstæða aldursröð innskota. Þó má átla að ef ísúru innskotin eru samaldra, sé gabbróið neðst í holunni eldra en ísúru innskotin (ef sú túlkun er rétt, að keilugangarnir séu af sama innskoti og gabbróið). Þrjú basaltlög, sem eru innan ísúra innskotsins á 857-945 m dýpi eru talin yngri innskot en þau ísúru.

4 UMMYNDUN

4.1 Ummyndun frumsteinda og glers

Á mynd 13 er sýnt yfirlit yfir ummyndun glers, plagióklas og pýroxen í KJ-14, og eru þær upplýsingar að mestu fengnar úr þunnsneiðaathugunum. Einkum þrennt telst hér markvert:

- a. Móbergsglerið helst tiltölulega ferskt niður á um 120 m dýpi, sem og pýroxen og plagióklas, þar sem þeir sjást.
- b. Niður að 1500-1600 m dýpi eykst ummyndun á plagióklas og pýroxen, þó nær hún sjaldnast að vera algjör.
- c. Frá 1500-1600 m niður á botn holunnar er ummyndun pýroxen og plagióklas fremur óveruleg, nema á dýptarbilinu frá 1750-1900 m, en þar er ummyndun þessara frumsteinda töluverð.

Gott samræmi er á milli ummyndunarstigs greindu í stereo smásjá og þunnsneiðagreininga. Það sem í fyrrnefndri greiningaraðferð er kallað ummyndað, samsvarar í þunnsneiðagreiningu að pýroxen og plagióklas eru teknir að brotna niður í ummyndunarsteindir.

4.2 Dreifing ummyndunarsteinda

Mynd 14 sýnir dreifingu ummyndunarsteinda í KJ-14. Ummyndunarsteindirnar voru greindar með stereo smásjá á borstað, í 58 þunnsneiðum, og með röntgen "diffraktion" (XRD) (58 leirgreiningar og 28 greiningar á útfellingum). Dreifing leirsteinda er eingöngu grundvölluð á röntgengreinginum.

Reynt var að skipta hverri af fjórum algengustu ummyndunarsteindunum (að leir undanskildum), kalsíti, kvasi, pýríti og epidóti, í þrjá flokka eftir ágiskunni magni þeirra í svarfsýnum, og er sú flokkun sýnd á mynd 14. Æskilegt væri að áætla nákvæmar magn ummyndunarsteinda (t.d. með talningu í þunnsneiðum), í þessum hluta rannsóknarinnar, en þess reyndist ekki kostur.

Kalsít finnst nær alls staðar neðan 100 m dýpis, bæði sem holu- og/eða sprungufylling og sem ummyndun frumhluta bergsins (glers, plagióklas, pýroxen). Frá um 120 m niður á um 750 m dýpi er kalsítið mjög algengt, en neðar finnst það í mjög litlu magni.

Kalsedón finnst sem holufylling milli 100-130 m dýpis.

Kvars er algengast sem holu-/sprungufylling, en einnig sem ummyndun á gleri. Þess varð fyrst vart á milli 110-130 m dýpis, en síðan ekki fyrir en í um 190 m. Á bilinu 250-1150 m er kvars mjög algengt, og algengt þaðan og niður á um 1600 m. Neðan þess dýpis finnst það aðeins í litlu magni, nema við ísúra innskotið, þar sem það finnst í miklu magni, bæði sem frumsteind og sem ummyndunarsteind.

Pýrít. Eins og mynd 14 ber með sér, verður pýríts lítið vart ofan 100 m dýpis. Magn þess er mest á bilinu 240-800 m, þ.e. að mestu innan móbergsmyndanna. Niður að um 1100 m er það algengt. Milli 100-1100 m dýpis kemur pýrítið bæði fyrir sem holu-/sprungufylling og sem ummyndun á frumhluta bergsins, en neðan þess dýpis einkum sem holu-/sprungufylling. Á bilinu 1100-1640 m er magn þess lítið. Pýrít finnst vart á dýptarbilinu 1640-1750 m og 1880-2000 m, en vottar fyrir því þar á milli (1750-1880 m), þ.e. innan ummyndunarbeltisins, sem tengt er díórítinnskotinu.

Pýrrhótít var greint frá pýrítinu á grundvelli rauðleits ljósendurkasts. Magn þess er hvergi mikið, og finnst það, eins og sést á mynd 14, aðallega á 600-1350 m dýptarbilinu. Tilvist þessarar steindar þarf þó að athugasgast nánar, helst með örgreini.

Zeólítar. Eftirtaldir zeólítar voru greindir í KJ-14: Kabasít fannst aðeins í einu sýni á um 110 m dýpi, sömuleiðis gýrólít á um 130 m dýpi en skólesít frá um 100 m niður að um 170 m. Mordenít fannst aðeins á einum stað í holunni, á um 320 m dýpi. Analsím/wairakít. Vegna vandkvæða við sundurgreiningu þessara steinda með XRD, þá eru þær ræddar saman. Þessar steindir finnast einkum á dýptarbilinu 260-800 m, en aðeins á tveimur stöðum þar fyrir neðan (1070 m og 1760 m), og finnast þær nær eingöngu sem holu-/sprungufylling. Sérstaka athygli vakti, að í svarfi, sem kom af líku dýpi og skoltap varð á 329 m, reyndist mikið magn þessara steinda. Einnig er athyglisvert að á þessu dýptarbili finnst ekkert epidót. Hugsanlegt er að analsím/wairakít sé að myndast á þessu dýpi nú.

Anhydrit greindist í einu röntgensýni á um 80 m dýpi.

Epidót er nær samfelld í holunni neðan 270 m dýpis, nema að það fannst ekki sem áður sagði á milli 330-350 m dýpis. Epidót er sérstaklega algengt innan neðri móbergsmyndunarinnar, og einnig við og innan díórítinnskotsins í um 1800 m. Epidót finnst bæði sem holu-/sprungufylling og ummyndun á frumhluta bergsins.

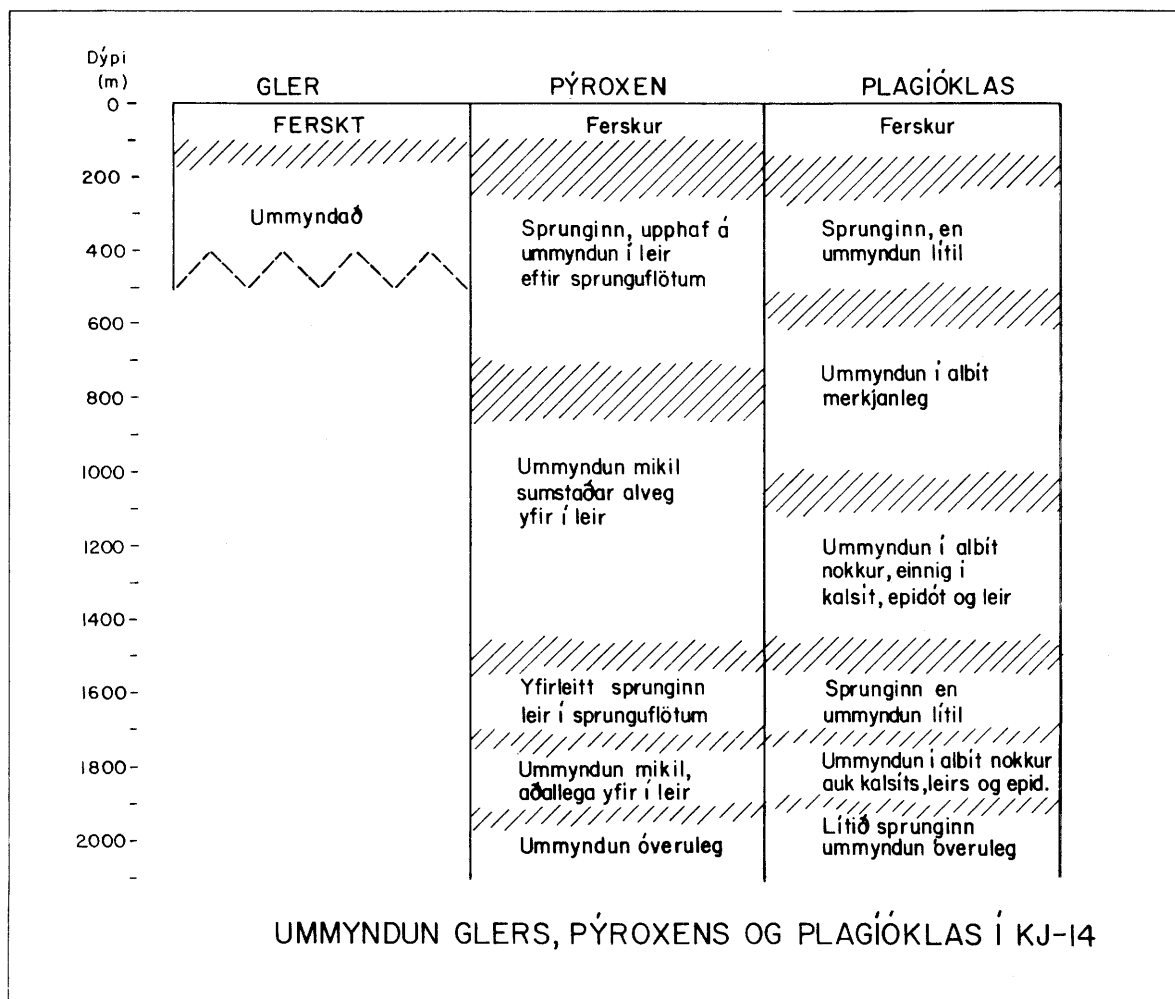
Prenít verður fyrst vart á um 760 m dýpi, og er það fremur algengt niður á um 1060 m en þar fyrir neðan finnst það aðeins á þremur stöðum (1330, 1525 m og 1810 m). Prenít finnst nær eingöngu sem holu-/sprungufylling, einkum meðal kvars, epidóts og leirs (klóríts).

Wollastonít finnst fremur dreift sem holu-/sprungufylling frá um 780 m niður á botn holunnar.

Hornblendi. Innan gabbrósins milli 1880 og 2000 m fannst dreif af grænni steind, plötulaga með mjög áberandi kleyfniflöt. Samband við frumsteindir bergsins fannst ekki, þar sem þau voru ætíð sem stök korn í svarfi og eru því líklegast sprungufyllingar. Röntgengreiningar benda til, að þessi korn gætu verið hornblendi ásamt klóríti. Reynt verður síðar að greina þessa steind nánar með örgreini.

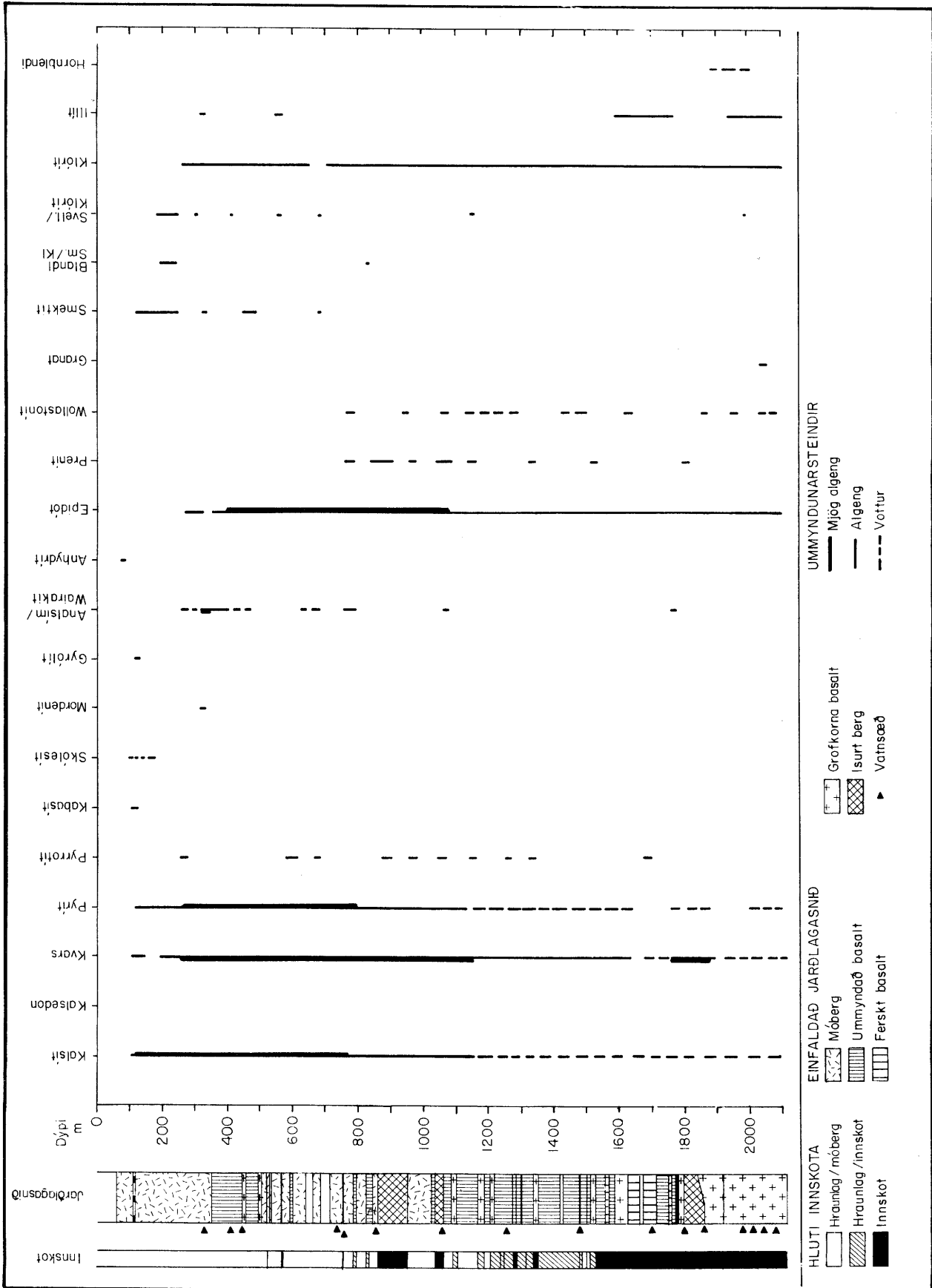
Granat fannst í þunnsneið svarfsýnis af 2042 m dýpi (þsn. nr. 10006) og hefur þar myndast innan klórítskristals.

Leir er algengast ummyndunarsteind á jarðhitasvæðum, og finnst bæði sem útfelling í sprungum og blöðrum svo og sem ummyndun glers og frumsteinda bergsins. Á mynd 13 er sýnd dreifing 4 leirtegunda auk klóríts byggð á 58 röntgengreiningum (XRD): Smektít greindist samfelld frá um 120 m niður á 225 m dýpi, en dreift þaðan og niður að 700 m. Blandlagsleirsteindir smektít/klórít finnast á dýptarbilinu 180-230 m, svo og í einu sýni á um 825 m dýpi. Svellandi klórít fannst aðallega á milli 180-230 m, en dreift þaðan og niður að 600 m. Vottur svellandi klóríts fannst í um 1050 m og nálægt 2000 m dýpi. Klórít finnst svo nær samfelld frá 260 m niður á botn holunnar. Illít finnst á afmörkuðum stöðum í holunni; á um 326 m dýpi, en þar varð algjört skoltap. Illít greindist einnig á um 560 m dýpi. Neðarlega í holunni finnst illít samfelld á tveimur dýptarbilum, annars vegar milli 1580 m og 1760 m (greint í 4 sýnum), og hins vegar frá um 1930 m niður á botn holunnar (greint í 5 sýnum), en kom ekki fram í 5 greiningum þar á milli.



JHD-BJ 6607 HF/AA 81.06.0686

MYND 13 Ummyndun frumhluta bergs í KJ-14



JHD - BJ 6607 HF/AA 81.06 0687

MYND 14 Dreifing ummyndunarsteinda í KJ-14

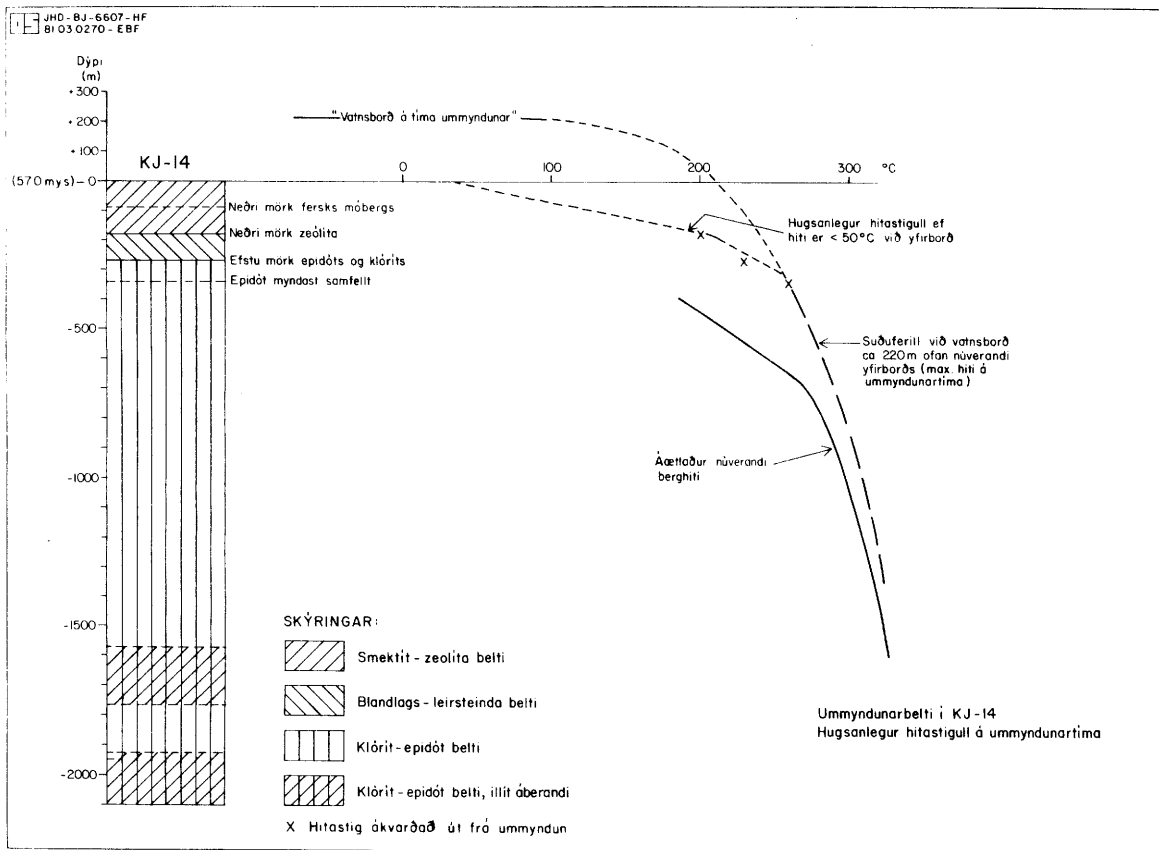
4.3 Ummyndunarbelti

4.3.1 Ummyndunarbelti í KJ-14

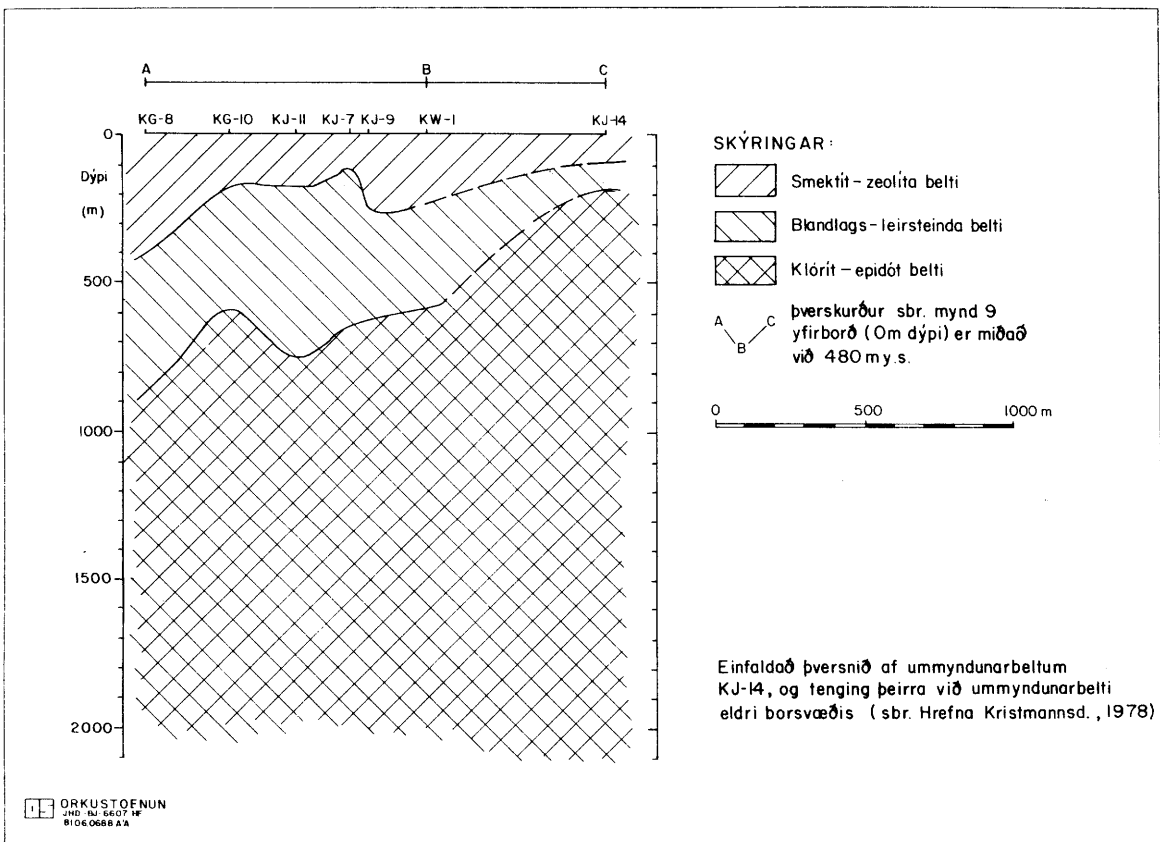
Mynd 15 sýnir beltaskiptingu ummyndunarsteinda. Neðri mörk smektít-zeólíta-beltisins eru sett við um 180 m, en þar greinast fyrst blandlagsleirsteindir og eru neðri mörk lághitazeólíta. Efri mörk þessa beltis eru sett við yfirborð. Næsta belti, sem nefnt hefur verið blandlagsleirsteindabeltið telst aðeins vera um 70 m þykkt eða frá 180 m, þar sem blandlags-smektít/klórít og svellandi klórít koma fyrst fram í röntgengreiningu, niður að um 250 m dýpi. Neðan þeirra marka tekur við klórít-epidót beltið, en þar er klórít ráðandi steind, svo og epidót nær samfelld. Epidót finnst samfelld alls staðar nema milli 320-350 m, en á þessu dýptarbili varð algjört skoltap. Auk þess fannst á þessu dýpi mikið magn analsíms/wairakíts, og það er eini staðurinn, sem mordenít greindist. Klórít-epidót beltið er tvískipt, eins og sýnt er á mynd 15, annars vegar á bilinu 250-1580 m, og hins vegar 1760-1930 m. Milli þeirra, svo og neðan 1930 m er illít áberandi. Fylgni er milli greiningar á illíti og þess sem í berggreiningu er kallað fersklegt, þétt berg. Því til frekari stuðnings skal bent á, að illít finnst ekki, eins og áður segir, milli 1760-1930 m, en á því bili er áberandi jarðhitaummyndun, sem tengd er öðrum jaðri díórítinnskots. Þessar niðurstöður eru frábrugðnar þeim sem fundist hafa í öðrum holum á Kröflusvæði, en þar er illít algengast nærri ísúrum og súrum berglögum svo og þar sem berg er ummyndað (Hrefna Kristmannsdóttir 1978).

4.3.2 Tenging ummyndunarbelta KJ-14 við eldra borsvæði

Á mynd 16 er sýnd líkleg tenging ummyndunarbelta í KJ-14 við eldra borsvæði (sbr. Hrefna Kristmannsdóttir 1978). Á þessu þversniði er klórít-illít beltið í KJ-14 ekki merkt, þar sem samræmingar er þörf í túlkun gagna milli borsvæða. Skýrt kemur fram á mynd 16, að ummyndunarbeltin í KJ-14 liggja mun hærra en annars staðar á svæðinu, og að efri beltin tvö liggja dýpra og gerast þykkari er vestar dregur. Ef tengsl eru á milli þeirra jarðhitakerfa, sem skópu þessi ummyndunarbelti, gefur það til kynna, að á samsvarandi dýpi sé mun hærra hitastig er austar dregur í átt að KJ-14, eða hærri vatnsleiðni í efri hlutanum vestur frá KJ-14, sem kælir lengra niður.



MYND 15 Ummyndunarbelti í KJ-14, áætlaður berghiti við ummyndun og núverandi berghiti



MYND 16 Ummyndunarbelti í KJ-14 og tenging við ummyndunarbelti á eldri borsvæði

4.4 Hugsanleg túlkun á ummyndun í KJ-14

Rannsókn á tengslum ummyndunarbelta og berghitastigs í íslenskum háhita-kerfum benda til að neðri mörk smektít-zeólíta beltisins séu við um 200°C hita, en efri mörk þess, þar sem klórít-epidót beltið byrjar við um 230°C. Þar sem epidót myndast samfellt sé berghiti yfir 260°C (Hrefna Kristmannsdóttir 1978).

Ummyndunarbelti KJ-14 og áður nefnd berghitastig eru sýnd á mynd 15 ásamt áætluðum núverandi berghitaferli neðan 400 m dýpis og suðumarkferli miðum við yfirborð um 250 m ofan núverandi yfirborðs. Samanburður sýnir á sannfærandi hátt að núverandi berghiti er mun lægri en sá sem ummyndun gefur til kynna, og einnig hærri en yfirborðs suðumarksferill afmarkar. Talið er, að hitastig jarðhitakerfis geti ekki til langframa verið herra en suðumarksferill afmarkar, nema þétt þak (cap-rock) skapi yfirþrýsting í kerfinu. Sé miðað við að á þeim tíma, sem ráðandi ummyndunarmynstur varð til, hafi vatnsborð verið nærri yfirborði, er ljóst, að hitastigs-mörk ummyndunarinnar eru nokkru hærri. Ef sú forsenda er gefin að hitastig í jarðhitakerfi geti ekki til langframa verið herra en suðumarksferillinn segir til um verður "hydrostatiskur" þrýstingur í jarðhitakerfinu að hafa verið samsvarandi um 200 m vatnssúlu ofan núverandi yfirborðs. Hér eru tilgreindar tvær mögulegar ástæður:

a. Að í upphafi þessa jarðhitakerfis hafi myndast það þétt þak í því, að hár þrýstingur hafi myndast. Þessi lausn er möguleg, en talin heldur ólíklegri, þar sem jarðhitasvæðið er á mjög virku sprungusvæði, hugsanlegt þak þyrfti auk þess að vera í mjög sprungusælu bergi (móbergi).

b. Hin lausnin er sú, að jarðhitakerfið hafi orðið til á jökulskeiði ísaldar, og að á þeim tíma hafi grunnvatnsborð náð a.m.k. 200 m upp í jökulinn, t.d. vegna bráðnunar af völdum jarðhitans fyrir neðan. Það fyrirbrigði, að vatnsborð nái upp í jökulísinn er vel þekkt á þeim virku háhitasvæðum, sem enn eru undir þykkum jökli (t.d. Grímsvötn). Til stuðnings þessu er bent á eftirfarandi: Jarðhitakerfið, sem KJ-14 sker, er tengt ísúrum innskotum, og er eðlilegt að álykta, að það sé það sama og skóp ummyndunarmynstrið. Fjöldi þessara innskota er mun meiri í KJ-14 en annars staðar á borsvæði Kröflu (sbr. mynd 11), og því líklegt, að KJ-14 sé nær upptökum þessarar tegundar kvikuvirkni en aðrar holur á

Kröflusvæði. Um 500 m suðaustan KJ-14 hlóðst upp ísúr móbergshryggur, auk tveggja súrra móbergshryggja nokkru austar, nærri lokum síðasta jökulskeiðs, fyrir um 12000 árum (Kristján Sæmundsson, óbirt gögn) með stefnu NNA-SSV. Talið er sennilegt að móbergshryggirnir og ísúru innskotin geti verið komin frá sömu kvikuvirkni. Sé svo, er jarðhitakerfið, sem KJ-14 sker, um 12000 ára gamalt, og á myndunartíma þess lá Krafla undir Jökli.

Móbergið er ferskt og nær óholufyllt niður á rúmlega 100 m dýpi, og ólíklegt að jarðhiti hafi náð að leika um það. Neðan þess er móbergið ummyndað og mjög sprungið, en þétt vegna útfellinga. Þessi breyting bendir til snöggra hitaskila. Þau hitastigsmörk, sem ummyndunin markar, benda til mjög hás hitastiguls ofan 350 m dýpis. Hátt vatnsborð getur bæði skýrt háan þrýsting í kerfinu, sem gerir 260°C hita mögulegan á 350 m dýpi, svo og það, að "öflugt kælikerfi", sem jökulvatnið er ofan yfirborðs, getur haldið efstu jarðlögum frá jarðhitaummyndun. Þar sem útfellingar verða miklar neðan 100 m má þar af leiðandi túlka sem belti, þar sem kæling og blöndun jarðhitavatnsins er mest og leiðir til mestra útfellinga. Slíkar aðstæður geta síðan leitt til myndunar þétts þaks (cap-rock).

Hátt í vesturhlíðum Kröflu (upp í rúmlega 700 m) svo og í Grænagili sér móta fyrir sprengigígum (mynd 9). Þessa sprengigíga telur Kristján Sæmundsson (óbirt gögn) vera frá lokum síðasta jökulskeiðs. Sé ísúra móbergsmyndunin framlengd í strikstefnu hennar til norðurs, liggur hún við austurmörk sprengigíganna í vesturhlíðum Kröflu. Er mögulegt, að þessir sprengigígar hafi myndast í gufusprengingum, annað hvort vegna skyndilegrar opunar sjóðandi jarðhitakerfis til yfirborðs, eða af því að ísúra kvikan hafi á þessu svæði komist nærri yfirborði og orsakað snögghitnun á grunnvatni, sem síðan leiddi til sprenginga. Einnig er sú tilgáta freistandi, að skyndileg lökkun vatnsborðs, svo sem gerist í jökulhlaupum (t.d. Grímsvötn), geti leitt til snöggsuðu og öflugra gufusprenginga í jarðhitakerfinu.

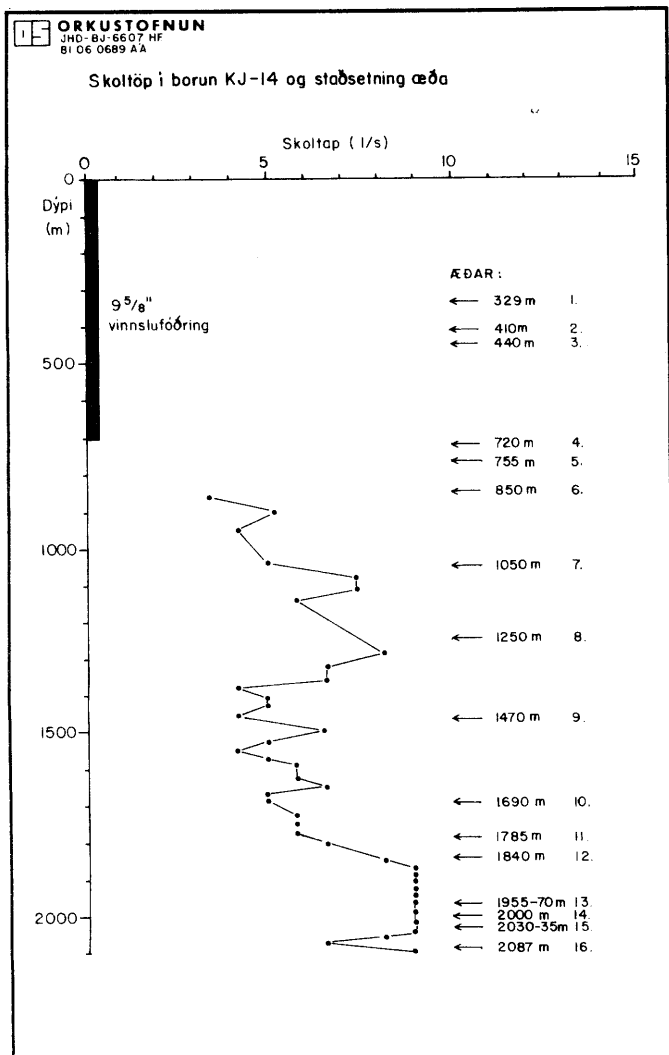
5 EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFIS

5.1 Vatnsæðar

Vatnsæðar í KJ-14 eru merktar inn á myndir 14 og 17. Í holunni eru að finna vísbendingar um allt að 16 æðar, en þær þrjár efstu eru ofan 700 m vinnslufóðringar.

Engin ein algild aðferð er til að staðsetja vatnsæðar, heldur samspil margra mæliaðferða, svo sem skoltapsmælinga, hita- og mismunahitamælinga meðan á borun stendur og svo Amarada hitamælinga í upphitun holu. Í sumum tilvikum er unnt að nota aðrar mæliaðferðir til að staðsetja æðarnar nánar, svo sem jarðlagasnið, n-n, viðnám og borhraða.

Þessum kafla er einkum ætlað að skýra möguleg tengsl milli jarðfræði holunnar og vatnsæðanna. Einstakar æðar eru númeraðar inn á mynd 17.



MYND 17 Skoltöp í borun KJ-14 og staðsetning æða

1. (329 m) Nær algjört skoltap varð á þessu dýpi. Svarfsýni, sem náðust af svipuðu dýpi, innihéldu mikið magn af analsími/wairakíti, en epidót, sem hafði fundist samfelldt á um 40 m bili fyrir ofan svo og samfelldt fyrir neðan (sjá mynd 14), fannst ekki á þessu bili. Samkvæmt borholumælingum kemur æðin fram neðarlega í efsta hraunlagi hraunlagasyrþunnar.
2. (410 m) Algjört skoltap varð á þessu dýpi. Er loka átti æðinni hljóp holan í gos. Æðin reyndist mjög gasrík, og var þrýstingur á holutoppi allt að 8 kg/cm². Mælingar bentu til að hiti væri lægri en suðuhiti þess dýpis (nokkur óvissa er um áhrif gassins á hitastigið). Samkvæmt jarðlagasniði er æðin í breksiulagi á mótum tveggja hraunlaga. Ef dæma má af þeim árangurslitlu aðgerðum, sem reyndar voru til að stífla æðina, er ekki ólíklegt, að æðin sé tengd sprungu. Frekar er fjallað um þessa æð í 5.5.3.
3. (440 m) Á þessu dýpi kemur fram frávik í hitamælingu. Samkvæmt jarðlagasniði kemur æðin fram um 5 m ofan við efri mörk grófkorna basaltlags.
4. Á bilinu frá um 720-740 m kom fram fremur óverulegt frávik í hitamælingu. sem má túlka sem vatnsæð. Á þessu dýptarbili skiptast á túff, breksía og þunn basaltlög. Í um 750 m kemur fram fremur þunnt ísúrt innskot.
5. (755-765 m) Á þessu bili kom fram fremur lítið frávik í hitamælingu sem gæti verið merki um vatnsæð. Viddarmæling sýndi skápamyndun í 755 m, við neðri mörk ísúrs innskots, og einnig í 762 m. Neftrónudreifing sýnir ákveðin lággildi við þessi dýpi.
6. (850 m) Þessi æð kom fram í hitamælingu en einnig varð, eins og sést á mynd 17, vart við skoltapsaukningu. Á þessu dýpi er móberg með basaltívafi. Í 857 m eru efri mörk ísúrs innskots, sem nær niður á um 945 m dýpi. Talið er líklegt að æðin sé tengd þessu innskoti.
7. (1050 m) Samkvæmt hita- og þrýstimælingu er þessi æð talin sú aflmesta í holunni. Samkvæmt jarðlagasniði er hún í neðri hluta ísúrs innskots. Um 2 l/s aukning í skoltapi varð á þessu dýpi í borun. Æðin opnaðist ekki að neinu marki fyrr en að dælt hafði verið í holuna í um sólarhring eftir að borun lauk.

8. (1250 m) Æð kom fram á þessu dýpi í hitamælingu. Á þessu bili reyndist ekki unnt að greina á milli hraunlaga og innskota. Þess ber þó að geta, að í 1245 m er miðja á fremur lágum, eða u.þ.b. 8 m breiðum toppi í náttúrulegu gamma, en ekki fannst þar vottur af ísúru bergi í svarfi.

9. (1470 m) Þessi æð er merkjanleg á hitamælingu og er við 2 m þykkt ísúrt innskot.

10. (U.þ.b. 1690 m) Hitamæling gefur til kynna fremur óverulega æð við, eða neðan 1690 m. Milli 1686-1690 m eru skil milli innskota og er bergið þar ummyndað. Mjög ákveðin viðnámslægð er á þessu dýpi svo og lággildi í neftrónudreifingu, og er líklegt að æðin sé tengd þessum skilum.

11. (1785 m) Hitamæling gefur til kynna fremur óverulega æð. Frá um 1775 m niður í um 1870 m verður aukning í skoltapi (sjá mynd 17), þ.e. frá um 4 1/2 l/s í tæplega 9 l/s. Milli 1782-1787 m er borhraði mun meiri, eykst úr 4 í um 10 m/klst. Á þessu dýpi er ummyndað dólerít en 3-7 m neðar liggja efri mörk díórítinnskota. Í mælingum kemur fram um 3" skápur auk þess ákveðin lægð bæði í viðnámi og neftrónudreifingu.

12. (1834 m) Þessi æð kemur fram á hitamælingum. Aukning í skoltapi er á þessu dýpi sem áður sagði. Áberandi lægð er í viðnámi og neftrónudreifingu í um 1834 m þrátt fyrir mjög óverulega skápamyndun. Æðin er við neðri jaðar díórítinnskots, sem talið er vera bratt hallandi (nær lóðréttu). Eins og áður er sagt er ummyndun áberandi neðan díórítinnskotsins, allt niður að um 1912 m.

13. (1955-1970 m) Samkvæmt hitamælingum er líklega æð á þessu dýptarbili. Erfitt er að staðsetja æðina samkvæmt jarðlagalýsingu, eða mælingum, þar sem bergið er fersklegt. Milli 1955-1970 m er borhraði fremur breytilegur, og einhver skápamyndun og getur æðin mögulega verið á þessu bili.

14. (1990-2000 m) Á þessu dýptarbili er líklegt að æð sé samkvæmt hitamælingu, en í jarðlagalýsingu eða víddarmælingu er ekki um neina vísbendingu að ræða. Hugsanlega gæti skörp lægð í neftrónudreifingu á 1995-1997 m dýpi verið vísbending um þessa æð.

15. (2030-2035 m) Samkvæmt hitamælingu er þessi æð fremur lítil. Mögulegt er að skörp lægð neftrónudreifingar í um 2030 m dýpi geti bent til að um æð sé að ræða. Svarf vantar á milli 2030-2036 m dýpis en þar fyrir neðan kemur um 2 m ummyndað basalt, sem líklega er merki um lagaskil.

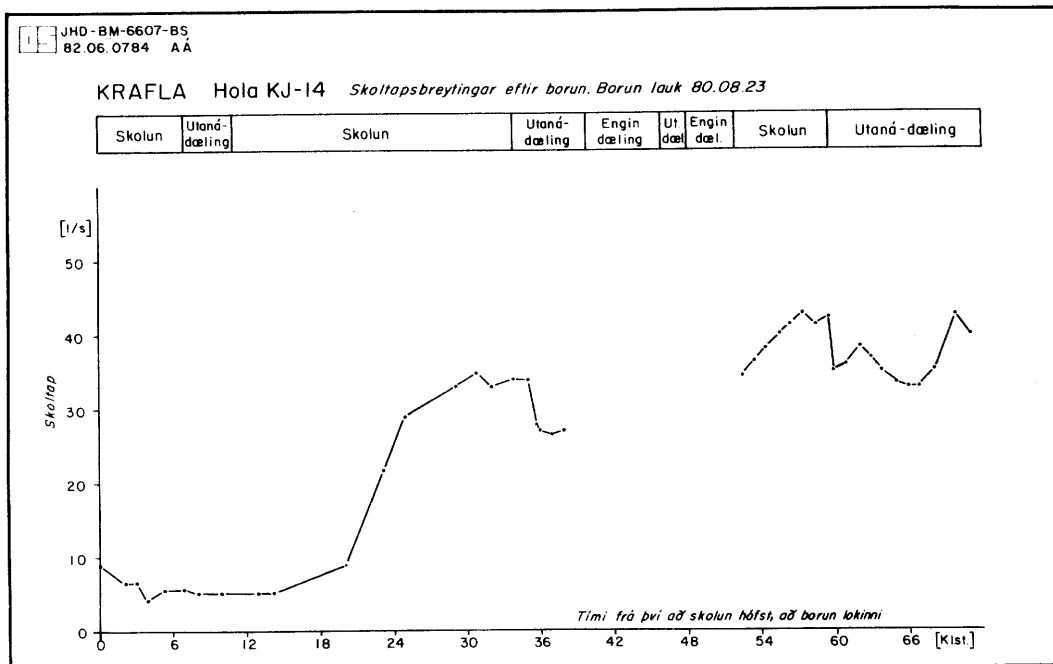
16. (2087 m) Á þessu bili er breytilegur borhraði, fremur óverulegur skápur, en viðnámslægð og mjög skörp lægð í neftrónudreifingu. Um 2 l/s skoltapsaukning varð á þessu dýpi. Jarðlagasnið gefur ekki til kynna að æð sé á þessu dýpi.

Ef frá eru taldar efstu þrjár æðarnar, sem fóðraðar voru af, koma 6 til 8 af 13 æðum í eða í nánd við ísúr innskot, en tvær líklega við jaðra basaltinnskota. Ekki reyndist unnt að geta sér til um líklega jarðfræðilega skýringu á tilveru annarra æða í holunni.

5.2 Lekt jarðlaga

Lokið var við að bora holu KJ-14 klukkan 8, 23. ágúst. Skoltap var þá 8,8 l/s. Köldu vatni var dælt stöðugt á holuna. Skoltap minnkaði og klukkan 12 var skoltap orðið 4 l/s. Skoltapið 4 l/s hélst stöðugt til klukkan 22, en fór þá að aukast. Um morguninn 24. ágúst klukkan 9 var skoltap komið upp í 29 l/s, og klukkan 15 var skoltap 35 l/s. Eftir það var dæling í holuna minnkuð vegna erfiðleika með vatn. Hætt var alveg að dæla í holuna um kvöldið 24. ágúst klukkan 23:30. Holan var látin hitna um nóttina. Byrjað var aftur að dæla í holuna 25. ágúst kl. 12. Skoltap var þá 34 l/s, en óx eftir því sem lengur var dælt í holuna.

Klukkan 15, 25. ágúst var skoltap komið upp í 43 l/s. Frá klukkan 15 25. ágúst og fram á næsta morgun kl. 7, 26. ágúst var dælt í holuna 33-34 l/s, en það var ekki fullt skoltap, því að holan var ekki full. 27. og 28. ágúst var skoltap stöðugt 43 l/s í holunni.



MYND 18 Skoltap í KJ-14 við lok borunar

Á mynd 18 er skoltap í holunni sýnt sem fall af kælingartíma. Þar kemur greinilega fram að eftir ca. 20 tíma kælingu á botni opnast holan tiltölulega snögglega. Þessi hegðun er almenn hjá borholum í Kröflu, og er talin stafa af sprungumyndun sem verður vegna samdráttar bergsins við kælingu. (Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980 b; Bodvarsson & Lowell 1972; Lister 1974).

Holan var látin hita sig upp í 12 tíma í kælingarathöfninni og þegar byrjað var að dæla á ný óx skoltap með tíma.

Ekki er hægt að fullyrða hvort holan hefði haldið áfram að opna sig ef dæling hefði verið samfelld, en augljóst er að umskipti kælingar og upphitunar hafa ekki skaðað holuna.

Prepadæling hófst kl. 05:30 þann 29. ágúst. Mynd 19 sýnir framkvæmd prepadælingar og viðbrögð holunnar við ádælingu.

Mynd 20 sýnir tímaferla vatnsborðsfalls eftir 43 l/s og 35 l/s dælingar, og uppbyggingarferla fyrir 60 l/s ádælingu.

Mynd 21 sýnir vatnsborðsstöðu eftir 45 mín. dælingu fyrir mismunandi magn ádælingar.

Eftirfarandi gildi hafa fengist fyrir leiðni bergsins:

$$T_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_2 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_3 = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_4 = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T(B) = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

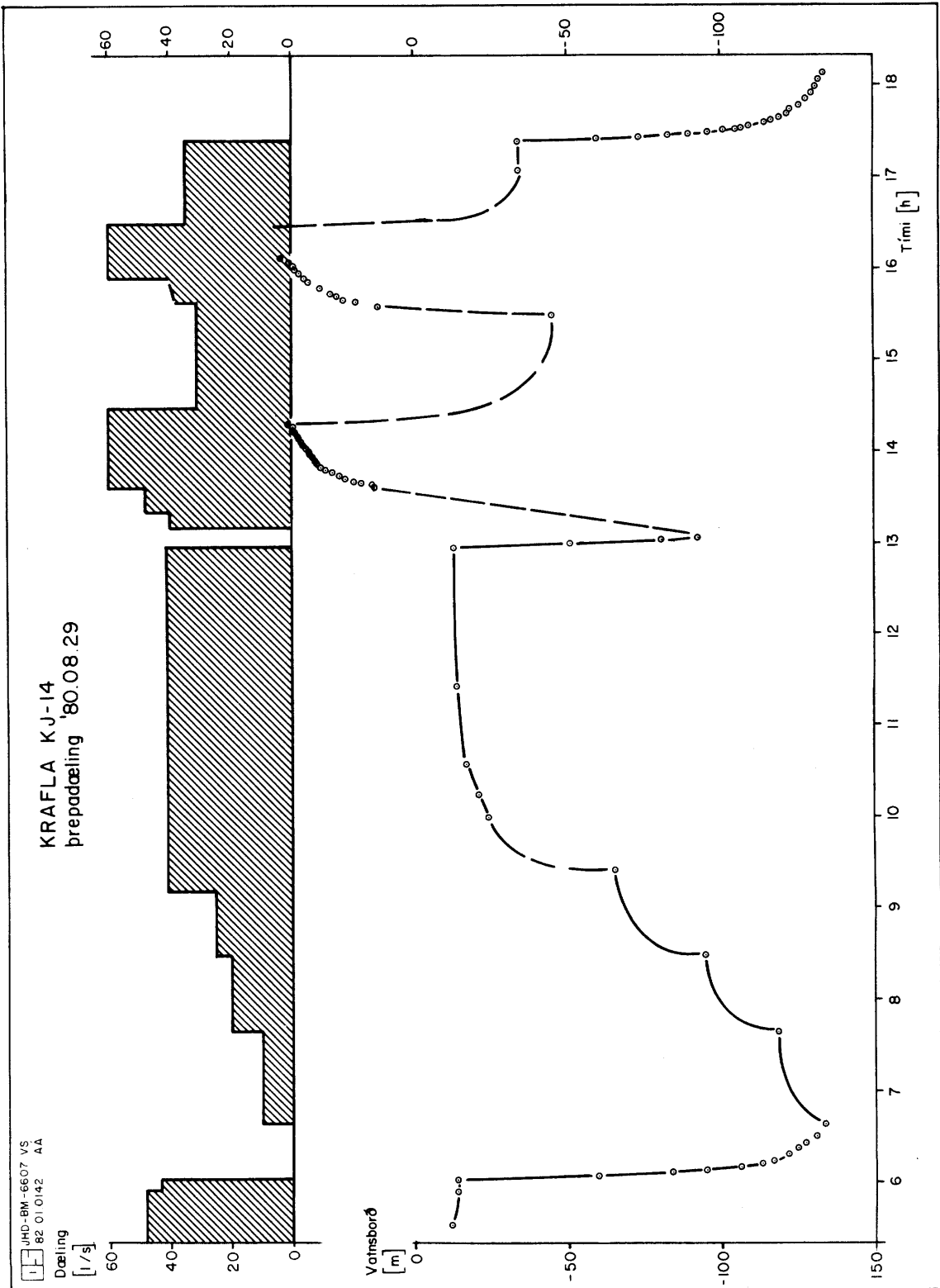
$$\text{Meðalgildi } 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Þetta er nokkuð herra gildi en mælt hefur í holum 12 og 13 ($1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$). Þrepadælingar gáfu þannig til kynna að afl KJ-14 gæti orðið meira en þeirra.

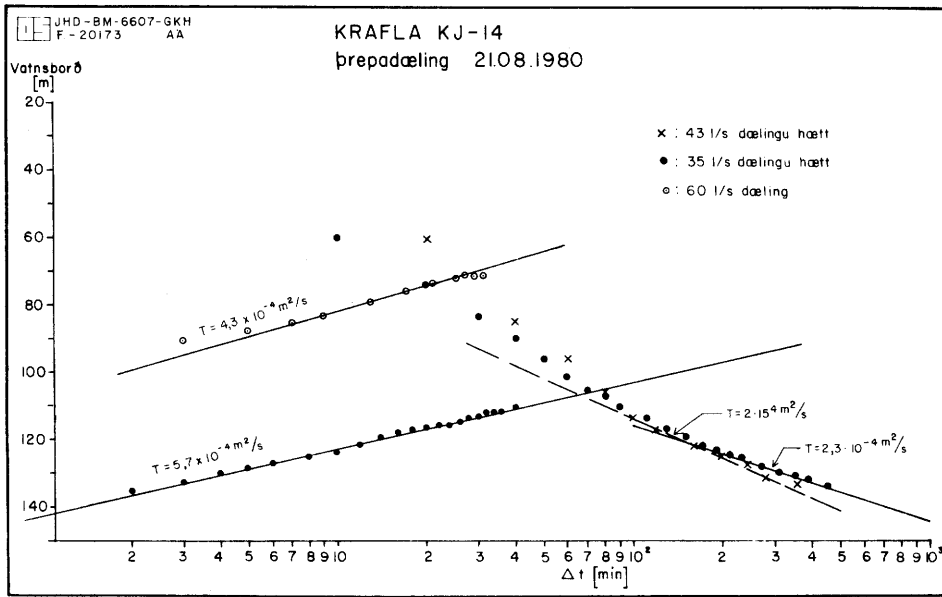
Svo sem nánar er fjallað um í skýrslu OS um KJ-13 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1982) má ákvarða vatnsleiðni bergsins frá blásturssögu holunnar. Á mynd 22 er blásturssaga KJ-14 sýnd í Q-h grafi. Hitastig aðalæðar í KJ-14 er um 300°C, og er því búist við að blástursferillinn sé línulegur a.m.k. ofan við 1350 kJ/kg. Mynd 22 sýnir að meginhluti blásturs neðan við 2000 kJ/kg er línulegur á þessu grafi. Ofan við 2000 kJ/kg er nokkuð stöðugt rennsli þó varmainnihald aukist. Er trúlegt að þá sé bergið farið að opna sig vegna kælingaáhrifa sem blásturinn veldur (Stefánsson & Steingrímsson 1980).

Framlenging línulega ferilsins gefur $Q_{2700} = 6,5 \text{ kg/s}$ en sú stærð hefur verið notuð sem mælikvarði á vatnsleiðni bergs í holum með tveggja fasa streymi (sjá Valgarður Stefánsson o.fl. 1982).

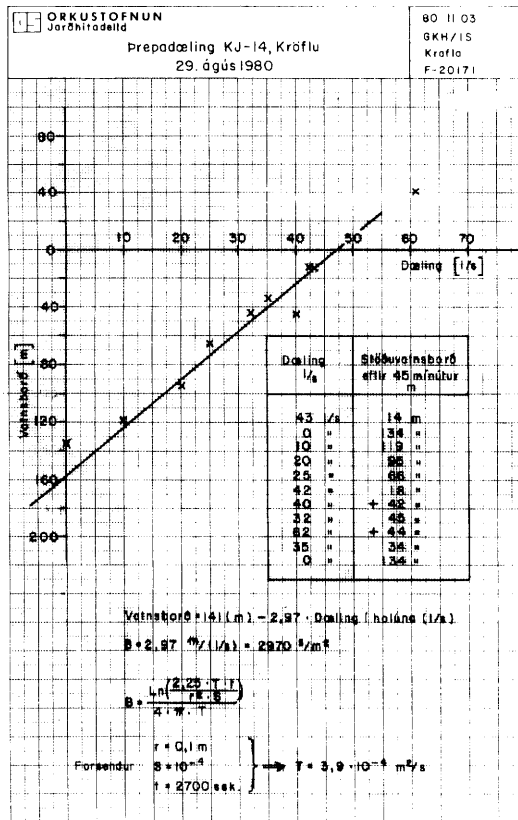
Í ofangreindri heimild er einnig fjallað um samband leiðni og rennslis úr tveggja fasa borholum. Þar kemur fram að leiðni í holu KJ-14 er hærri en í holum KG-12, KJ-13 og KJ-15. Rennsli úr KJ-14 er einnig meira en úr ofangreindum holum.



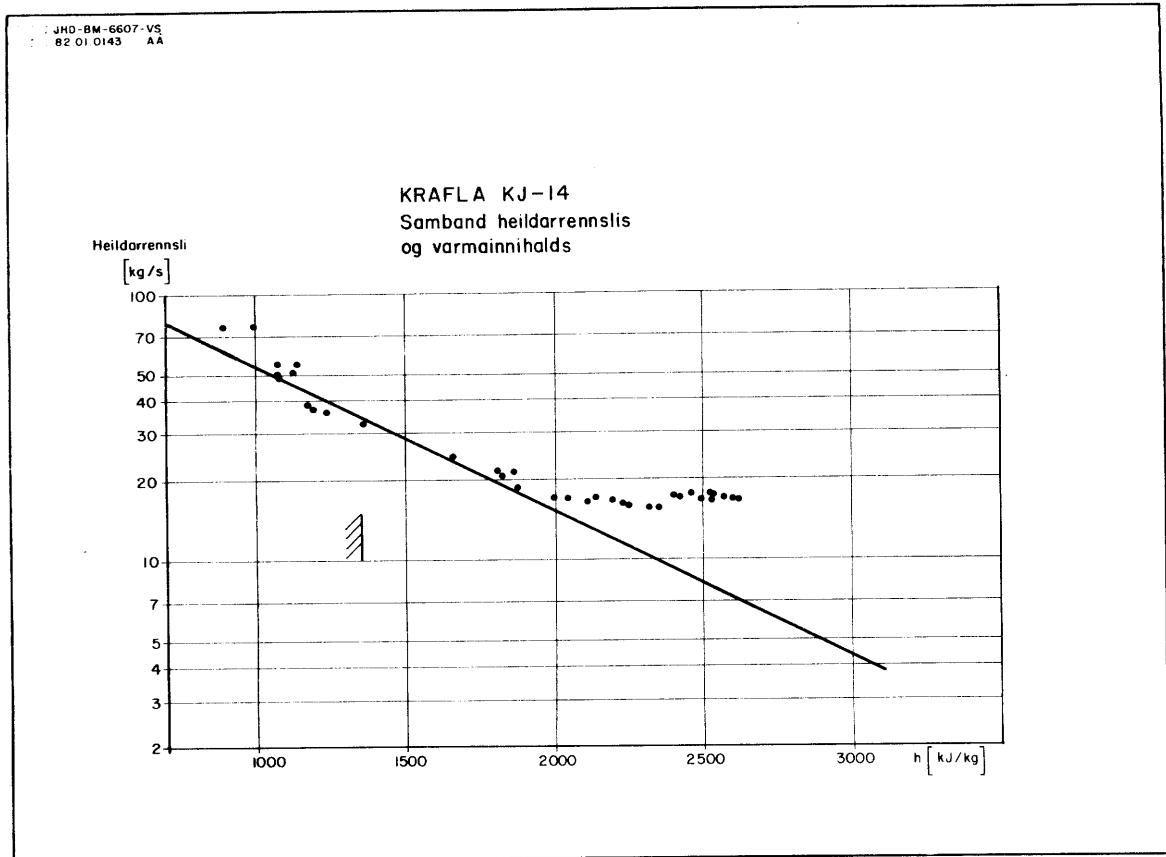
MYND 19 Prepaðaling í holu KJ-14, vatnsborð og áðaling



MYND 20 Prepadæling holu KJ-14. Vatnsborðsbreytingar eftir 43 l/s og 35 l/s dælingu



MYND 21 Vatnsborðsstaða í KJ-14 við mismunandi ádælingu



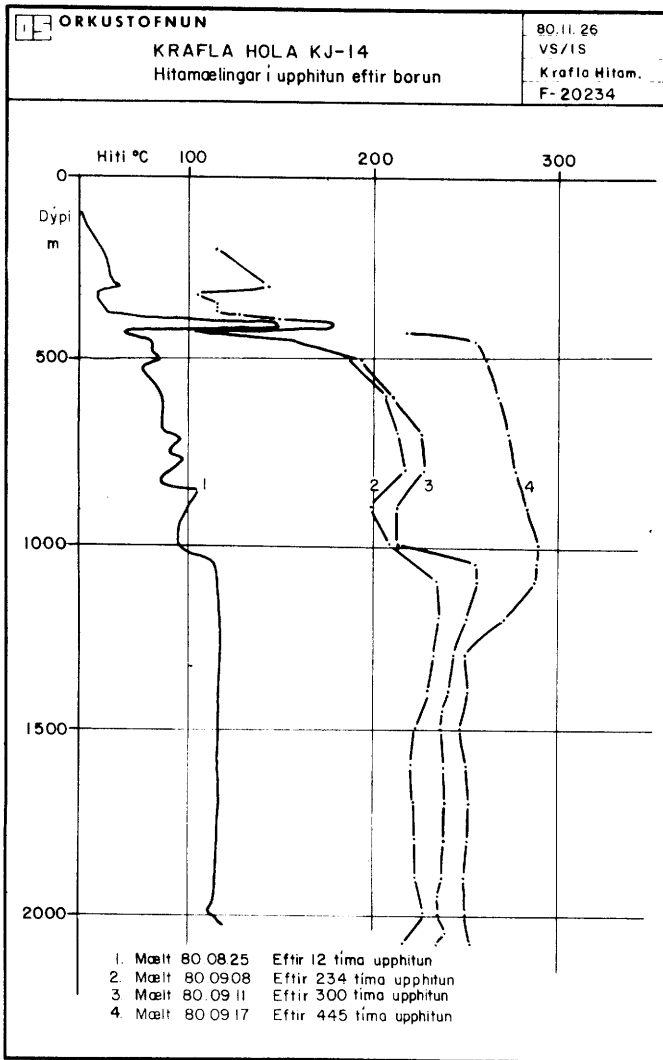
MYND 22 Samband heildarrennslis og varmainsihalds rennslis í holu KJ-14

5.3 Upphitun

Upphitun KJ-14 eftir borun telst hafa hafist þegar dælingu var hætt við borlok. Þetta var 29. ágúst 1980 kl. 21:00. Fyrstu viðbrögð holunnar í upphitun höfðu raunar verið könnuð við borlokin með hitamælingum eftir tólf tíma upphitun (mynd 23). Fyrst eftir að hin eiginlega upphitun hófst var ekki aðstaða til að fylgjast með holunni. Flutningur borsins stóð yfir, og síðan þurfti að koma toppútbúnaði á holuna. Það var því ekki fyrr en 8. september sem reglubundið eftirlit með upphituninni hófst.

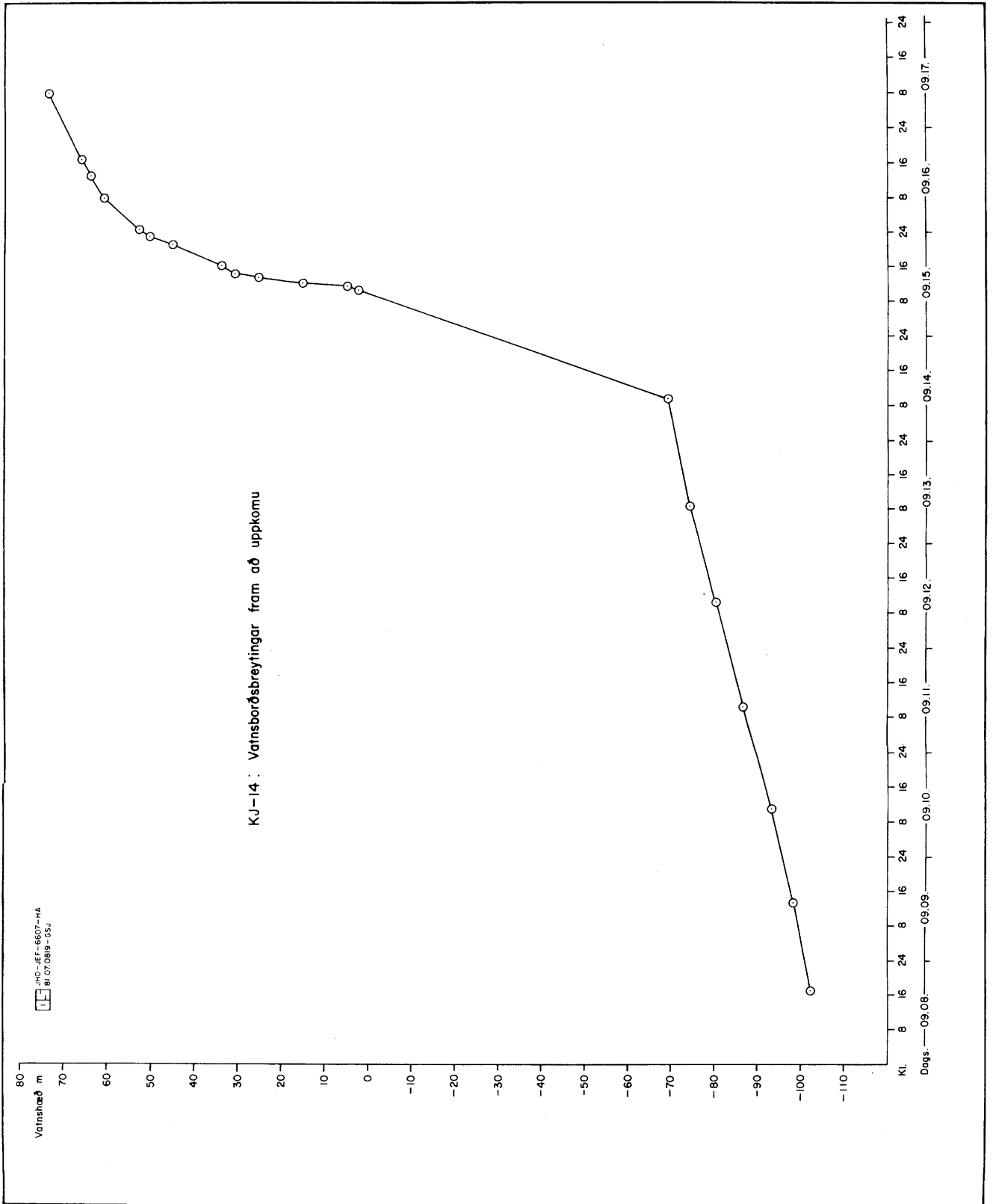
Eftirlitið fólst í daglegum mælingum á vatnsborði og mælingum á hitastigi og þrýstingi í holunni. Alls voru gerðar átta hitamælingar og tvær þrýstimælingar áður en holunni var hleypt í blástur.

Hegðun holu KJ-14 í upphituninni kom skýrast fram í hitamælingum. Á mynd 23 eru sýndar nokkrar þeirra. Fyrsta mælingin er gerð eftir aðeins 12 tíma upphitun. Hitaferillinn ber ýmis einkenni um rennslí milli æða í holunni. Rennur inn í holuna um efstu æðar og niður holuna. Neðsta

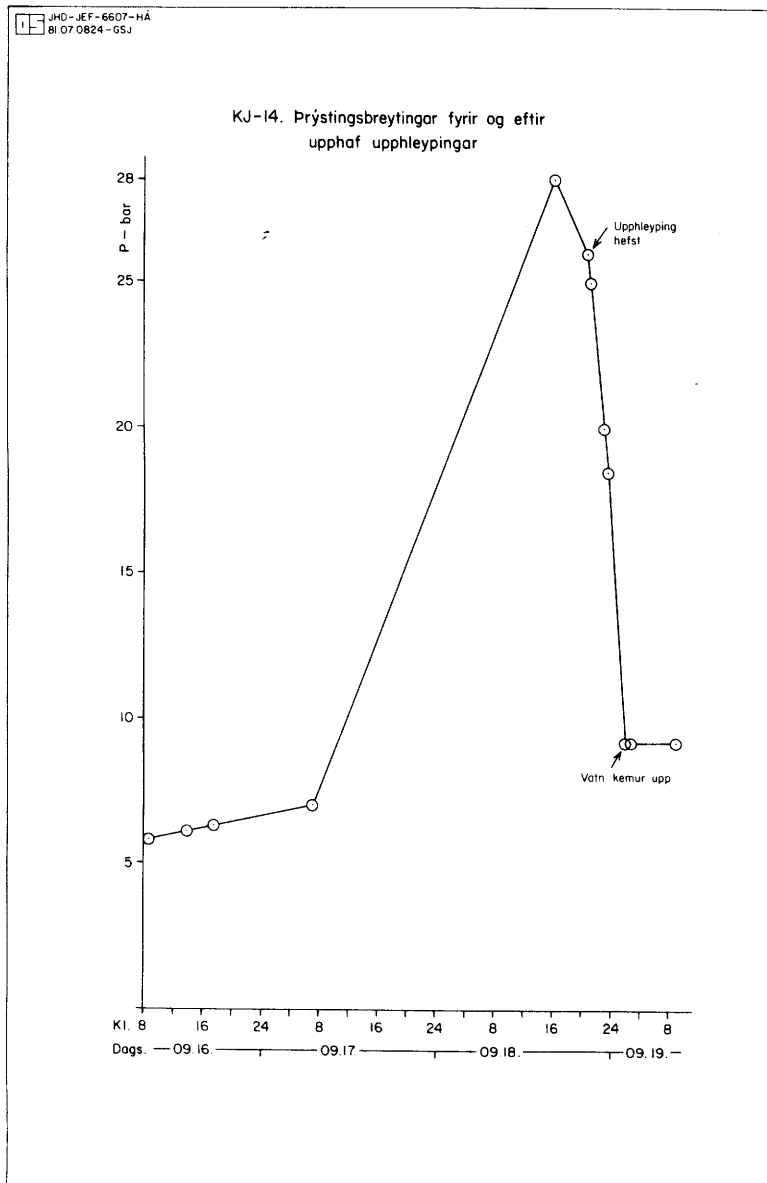


MYND 23 Hitamælingar í KJ-14 meðan á upphitun stóð

innstreymið er í 1030-1050 m dýpi, en æðar koma einnig fram milli 700 og 800 m dýpis og í 850 m dýpi. Ekki kemur skýrt fram hvar þetta vatn fer síðan út úr holunni, en lítið af því kemst greinilega niður fyrir 1950 m dýpi. Seinni mælingar í upphitun sýna sömu einkenni. Þó virðist innstreymisæðar vera að finna dýpra eða allt niður í 1200-1300 m dýpi. Upphitunin er hröðust við æðina í 1030-1050 m (sjá mynd 23), og lauk upphitun æðarinnar með því að suðumarki var náð. Hleypti æðin síðan holunni upp. Er það ástæðan fyrir því háa hitastigi sem mælist á 500-1000 m dýpi í síðustu mælingu á mynd 23. Vatnsborð holunnar endurspeglar þessa upphitunarsögu. Vatnsborðsmælingarnar eru sýndar hér á mynd 24. Er vatnsborðshækkunin línuleg á meðan eðlileg upphitun er ráðandi, en um leið og æðin í 1030-1050 metrum fer í suðu og gufa fer að hræra í holunni ofan við æðina rýkur vatnsborðið upp. Holan fór síðan undir þrýsting og var gufuþrýstingur um 26 bar 19. september, þegar upphleypling hófst (sjá mynd 25).



MYND 24 Vatnsborðsstaða í holu KJ-14 í upphitun



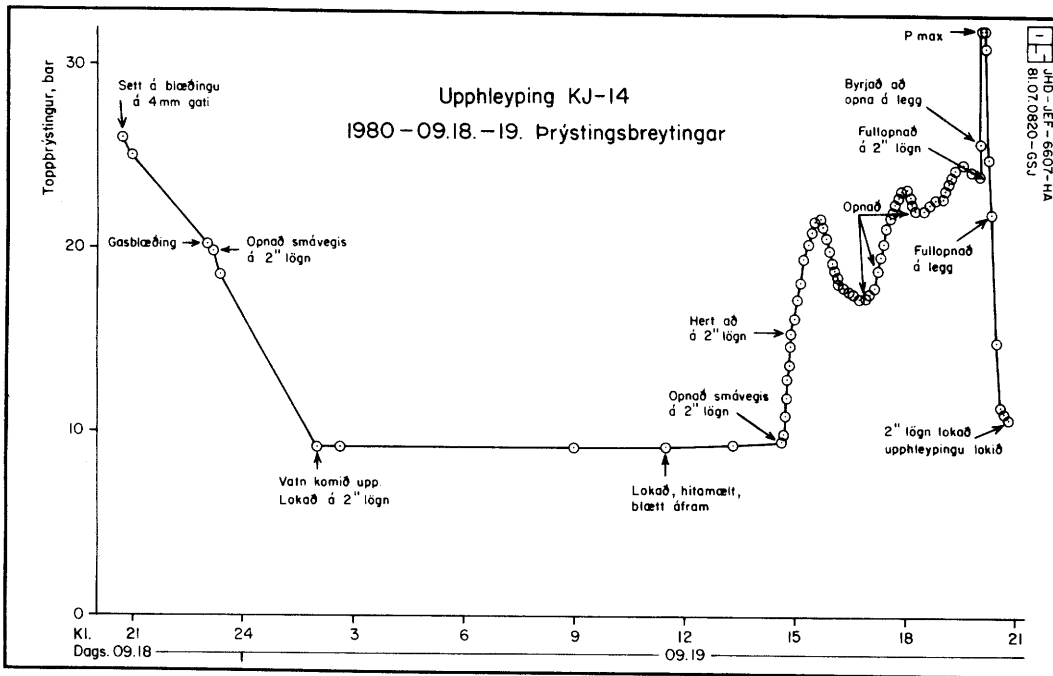
MYND 25 Þrýstingur á holutoppi KJ-14 áður en upphleyping hófst

Þegar holunni hafði verið lokað eftir fyrstu merki uppkomu steig toppþrýstingur og virðist ná nokkru jafnvægi við 7-8 bar. Síðan steig hann nokkuð snögglega í 28 bar en seig síðan í 26 bar, áður en hafist var handa um upphleypingu. Þessar breytingar á toppþrýstingi eru sýndar á mynd 25. Sé gert ráð fyrir, að mismunurinn á hámarksþrýstingnum 28 bar og vatnsúluprýstingi 9,2 bar tákni gasþrýsting, og miðað við, að æðin í 1040 m sé ráðandi, fæst, að gas hafi verið 17% af massa rennis við þessar aðstæður. Er hér augljóslega um ójafnvægi að ræða, þar sem jafnvægisstyrkur gass reyndist 1-2% eftir upphleypingu.

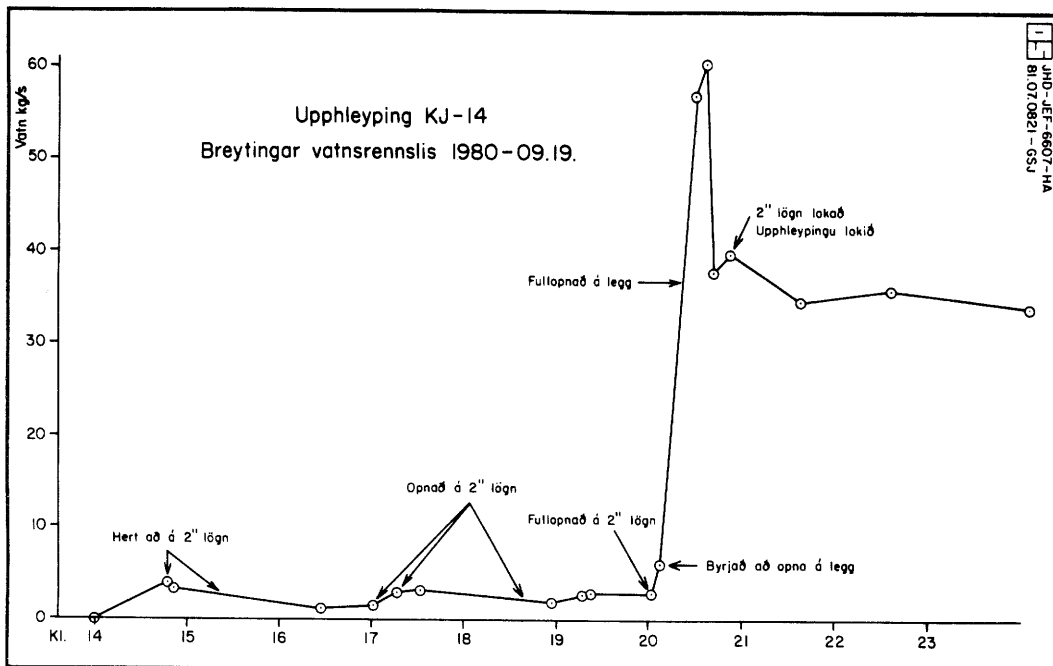
5.4 Blástur

Byrjað var að hleypa holunni upp 80-09-18 kl. 20:40, og var búið að full-opna fyrir holuna sólarhring síðar. Var holutoppsþrýstingur þá 10,8 bar og vatnsrennsli 39,8 kg/s. Á mynd 26 eru sýndar breytingar á holutoppsþrýstingi og á mynd 27 breytingar á vatnsrennsli, meðan á upphleypingu stóð. Gerðar voru reglulega aflmælingar, sem skráðar eru í töflu 4. Einnig var fylgst með gasstyrk rennisins. Heildarrennsli varð mest 76,2 kg/s kl. 20:37 1980-09-19, en minnkaði síðan og var 16,6 kg/s 1980-09-24 (sjá mynd 28). Á sama tíma hækkaði varmainnihald úr 889 kJ/kg í 1977 kJ/kg. Gasstyrkur var 2,2% kl. 21:37 1980-09-19, en var orðinn 1,3% kl. 9:20 1980-09-22 (mynd 28), og hefur haldist nokkuð jafn eftir það; var 1,2% 1980-11-28. Heildarrennsli hélst stöðugt $16,6 \pm 1,0$ kg/s ($N = 28$; $\bar{x} \pm 2\delta$) fram til 1980-11-28, er holan var tengd. Varmainnihald hafði þá haldist allstöðugt 2630 ± 13 kJ/kg ($N = 6$; $\bar{x} \pm 2\delta$) frá 1980-11-10. Holan þornaði verulega, og er minnkun vatnsmagns sýnd á mynd 29.

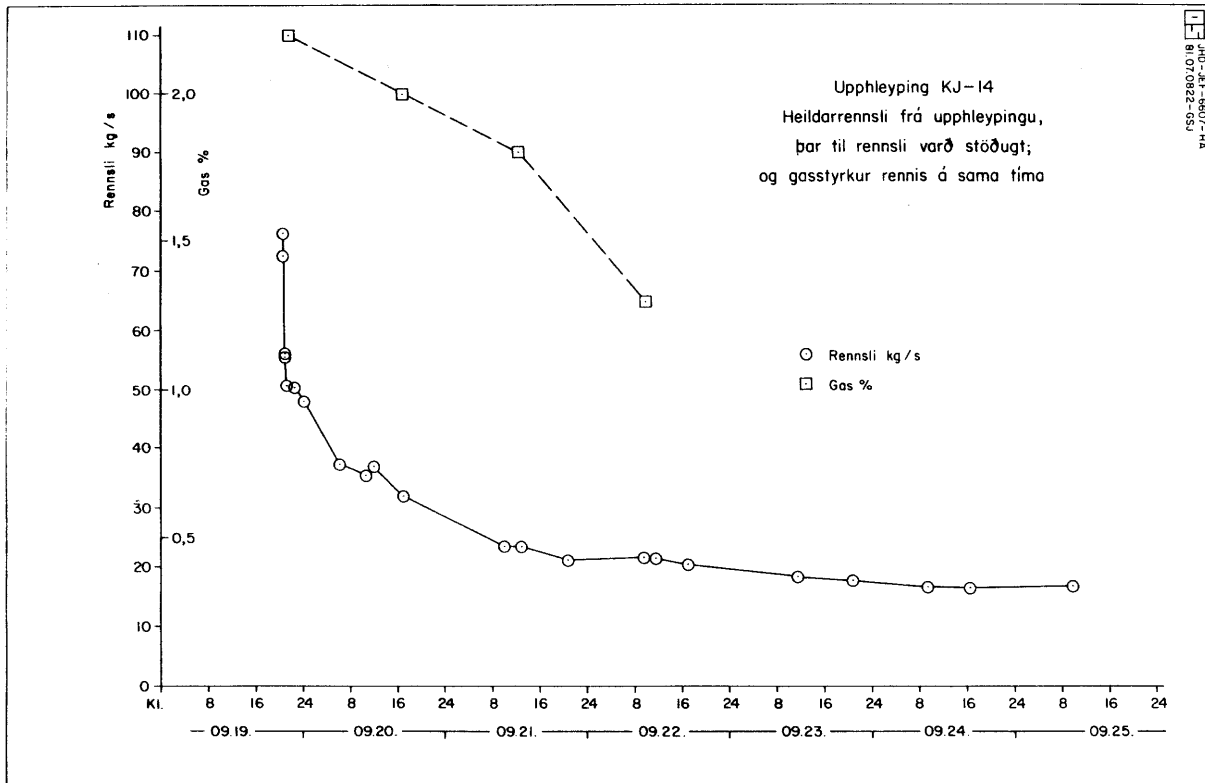
Í fjögur skipti hefur verið fylgst með viðbrögðum holunnar við lokun. Eru niðurstöður þrýstingsmælinga skráðar í töflu 5. Má þar sjá, að hæsti þrýstingur, sem náðst hefur í holunni lokaðri, er 60 bar.



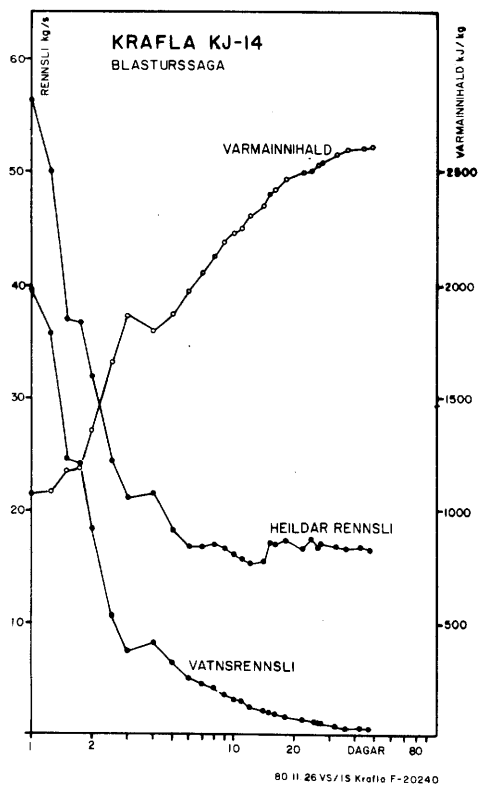
MYND 26 Upphleyping KJ-14. Þrýstingur



MYND 27 Upphleyping KJ-14. Vatnsrennslis



MYND 28 KJ-14. Heildarrenslí og gasstyrkur renslis fyrstu viku blásturs



MYND 29 KJ-14. Afl og varmannihald renslis fyrstu 50 daga blásturs

TAFLA 4 Krafla KJ-14. Aflmælingar

Dags.	Kl.	Po	Pc	D	Ho	Q _w	Q _T	Q _s
		bar	bar	mm	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s
80-09-18	Upphleypling							
	hefst 125 mm blenda							
	20.40	26				0		
	20.55	25						
	23.05	20,2						
	23.10	20,0						
	23.22	18,5						
80-09-19	02.00	9,2				vottur		
	02.36	9,2						
	09.00	9,2						
	11.30	9,2						
	13.20	9,4						
	14.42	9,6						
	14.43	10,0						
	14.45	11,0						
	14.47	12,0				4,0		
	14.49	13,0						
	14.51	13,8				3,4		
	14.54	14,8						
	14.57	15,5						
	15.00	16,3						
	15.06	17,3						
	15.11	18,2						
	15.17	19,5						
	15.21	20,3						
	15.29	21,0						
	15.32	21,6						
	15.37	21,8						
	15.42	21,8						
	15.47	21,3						
	15.52	20,7						
	15.57	20,0						
	16.02	19,3						

TAFLA (frh.1)

Dags.	Kl.	Po	Pc	D	Ho	Q _w	Q _T	Q _s
		bar	bar	mm	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s
80-09-19	16.07	18,9						
	16.12	18,7						
	16.17	18,3						
	16.22	18,0						
	16.27	17,9				1,2		
	16.32	17,8						
	16.37	17,5						
	16.42	17,6						
	16.47	17,4						
	16.57	17,4						
	17.02	17,8				1,6		
	17.07	17,9						
	17.12	18,0						
	17.17	18,9				3,0		
	17.22	19,7						
	17.27	20,4						
	17.32	21,3						
	17.37	21,8				3,2		
	17.42	22,1						
	17.47	22,5						
	17.52	22,9						
	17.57	23,1						
	18.02	23,1						
	18.07	23,0						
	18.12	22,9						
	18.17	22,5						
	18.22	22,3						
	18.32	22,1						
	18.37	22,2						
	18.42	22,5						
	18.47	22,7						
	18.52	22,8						
	18.57	22,8						2,0
	19.02	22,8						
	19.07	23,3						

TAFIA (frh.2)

Dags.	Kl.	Po	Pc	D	Ho	Qw	Qt	Qs	
		bar	bar	mm	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s	
80-09-19	19.12	23,7							
	19.17	24,0				2,8			
	19.22	24,4				3,0			
	19.27	24,7							
	19.32	24,7							
	19.52	24,2							
	20.02	24,1				3,0			
	20.07	26,0				6,2			
		32							
	20.12	31							
	20.17	25							
	20.22	22							
	20.30	15	4,0	155	996	57,8	72,7	19,5	
	20.37	(10,5)	3,3	-	889	60,4	76,2	15,5	
	20.42	10,2	3,1	-	1138	37,8	55,5	17,3	
	20.52	9,8	2,9	-	1077	39,8	56,2	16,0	
	20.52	Upphleypingu lokið							
	21.02	9,7	2,9						
	21.37	9,0	2,7	-	1128	34,8	50,7	15,6	
	22.37	8,5	2,5	-	1076	35,9	50,7	14,5	
80-09-20	00.07	8,2	2,3	-	1074	34,0	48,0	13,6	
	06.07	7,2	1,8	-	1175	24,7	37,1	12,2	
	10.40	6,8	1,85	-	1240	22,7	35,6	12,7	
	12.00	6,7	1,83	-	1196	24,1	36,8	12,4	
	17.00	6,5	1,85	-	1365	18,6	32,0	13,2	
80-09-21	10.10	6,1	1,70	-	1667	10,9	24,4	13,2	
	12.50	6,1	1,70	-	1667	10,9	24,4	13,2	
	20.45	5,8	1,65	-	1869	7,6	21,1	13,3	
80-09-22	09.20	5,8	1,65	-	1815	8,3	21,8	13,2	
	11.40	5,7	1,60	-	1805	8,3	21,6	13,0	
	14.35	Sett í 100 mm blenda							
80-09-23	07.00	12,5	1,5	-	1827	7,7	20,5	12,5	
	11.25	12,5	1,3	-	1884	6,7	18,3	11,8	
	20.50	12,5	1,25	-	1884	6,3	17,9	11,6	

TAFIA (frh.3)

Dags.	Kl.	Po	Pc	D	Ho	Qw	Qt	Qs
		bar	bar	mm	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s
80-09-24	09.20	12,4	1,25	155	1987	5,1	16,9	11,7
	16.25	12,4	1,2	-	1977	5,1	16,6	11,4
80-09-25	09.55	12,7	1,35	-	2064	4,6	16,9	12,3
	20.15	12,7	1,33	-	2116	4,0	16,3	12,2
80-09-26	13.30	12,7	1,47	-	2137	4,1	17,0	12,9
80-09-27	09.30	12,7	1,50	-	2193	3,6	16,7	13,1
80-09-28	08.00	12,6	1,46	-	2235	3,2	16,1	13,0
80-09-29	18.40	12,6	1,43	-	2251	3,0	15,8	12,8
80-09-30	14.00	12,6	1,43	-	2317	2,4	15,3	12,9
80-10-02	09.30	12,7	1,5	-	2355	2,17	15,5	13,3
80-10-03	08.55	13,7	1,85	-	2404	2,06	17,2	15,1
80-10-04	12.00	14,7	1,85	-	2422	1,92	17,0	15,1
80-10-06	08.10	14,1	1,95	-	2463	1,63	17,3	15,6
80-10-10	15.15	14,1	1,90	-	2495	1,34	16,7	15,4
80-10-12	14.00	14,6	2,06	-	2519	1,22	17,5	16,0
80-10-14	12.00	14,8	1,92	-	2530	1,07	16,6	15,3
80-10-15	16.00	14,8	2,02	-	2537	1,05	17,1	15,8
80-10-20	19.45	14,6	2,03	-	2571	0,79	16,9	15,8
80-10-24	17.15	14,6	2,01	-	2593	0,61	16,6	15,7
80-10-28	14.00	14,5	1,93	-	2589	0,62	16,2	15,6
80-10-31	09.00	14,5	2,00	-	2597	0,58	16,6	16,0
80-11-05	15.00	14,5	2,00	-	2611	0,47	16,5	16,0
80-11-10	10.30	14,5	2,00	-	2622	0,39	16,4	16,0
80-11-14	09.25	14,5	2,00	-	2630	0,34	16,3	16,0
80-11-17	09.10	14,4	2,00	-	2625	0,37	16,4	16,0
80-11-19	10.45	14,5	2,00	-	2628	0,34	16,3	16,0
80-11-24	14.00	14,25	2,00	-	2640	0,26	16,3	15,7
80-11-28	14.30	14,0	2,01	-	2634	0,30	16,4	15,8
80-11-28	Sett á veitu							
81-05-24	00.10	12,2	1,62	-	2668	0,05	14,1	14,1

TAFLA 5 KJ-14. Þrýstingsbreytingar við lokanir.

Lokun nr.	Dags.	kl.	Opnun	Po bar	Aths.
1	1980-09-20	17.05	125 mm blenda	6,5	Hita- mæling
		17.05	Lokuð	11	
		17.10	-	20	
		17.16	-	22	
		17.23	-	24	
		17.36	-	24	
		18.03	-	20	
		18.25	-	15	
		18.45	-	14	
		18.50	Byrjað að opna	5	
		19.10	Fullopnað, 125 mm blenda	25	
		19.15	-	11	
		10.10	-	6,1	
		14.35	-	5,7	
2	1980-09-21	14.40	Lokuð	22	Sett í 100 mm blenda
		14.50	-	25	
		14.55	-	28	
		15.00	-	27	
		15.05	Opnað á 2" lögn	26	
		15.10	Byrjað að opna á hjúðeyfi. 100 mm blenda	18	
		15.15	Fullopnað 100 mm blenda	14	
		15.30	-	18	
		16.00	-	15	
		07.00	-	12,5	

Tafla 5 (frh.)

Lokun nr.	Dags.	kl.	Opnun	Po bar	Aths.
3	1980-09-24	16.50	100 mm blenda	12,5	Hita- mæling
		16.52	Lokuð	22,5	
		17.02	-	32	
		17.09	-	35	
		17.26	-	36	
		17.40	-	37	
		17.50	-	37	
		18.23	-	37	
		18.37	-	37	
		20.30	Opnuð, 100mm blenda		
4	1980-09-25	09.55	-	12,7	
		10.20	-	14,4	
		10.20	2" blæðilögn	50	
		13.50	Lokuð	60	
		15.05	2" blæðilögn opnuð	52	
		17.15	100 mm blenda	14,6	

5.5 Líklegur hiti og þrýstingur í jarðhitakerfi

5.5.1 Þrýstingur á vatnsæðum

Þau gögn, sem til eru um þrýsting á vatnsæðum KJ-14, eru vatnsborðsmælingar gerðar á bortíma og tvær þrýstimælingar gerðar á meðan holan var að hitna upp eftir borun.

Í töflu 6 eru allar vatnsborðsmælingar í borun sýndar. Kemur þar skýrt fram hvaða æðar eru taldar stjórna vatnsborði holunnar hverju sinni. Þrýstingur á æð er síðan fundinn sem þunginn á kaldri vatnssúlu frá vatnsborði niður að æð. Nokkrir skekkjuvaldar eru við þessa ákvörðun. Sá stærsti er yfirleitt sá að dælingu er nýhætt í holuna, þegar mæling er gerð, og er vatnsborðið því ekki komið niður í jafnvægisstöðu. Ef hins vegar er beðið lengi eftir að vatnsborð nái jafnvægi fer upphitun í holunni að hafa áhrif. Bæði skammur mælitími og upphitun þýða að reiknaður þrýstingur verður eitthvað hærri en raunþrýstingur, og verða gildin, sem sýnd eru í töflu 6 að skoðast með það í huga.

TAFLA 6 Krafla - KJ-14. Vatnsborðsmælingar í borun

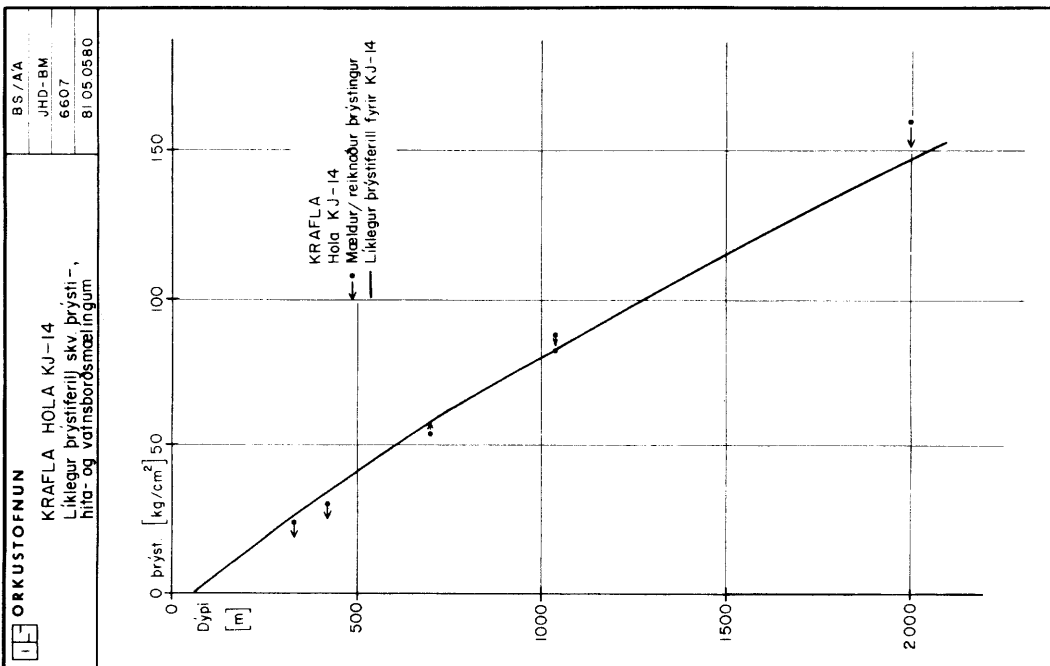
Dagsetning	Holudýpt	Vatnsborð	Dýpi á ráðandi æð	Reiknaður þrýstingur á æð	Athugasemdir
80.07.26	339 m	90 m	329 m	24,0 kg/cm ²	Holan hálfstífluð
80.07.27	415 m	101 m	410 m	31,0 "	Leki >45 l/s
80.08.07	449 m	118 m	410-440 m	29,0 - 32,0 kg/cm ²	Mikill leki
80.08.09	660 m	130 m	410-440 m	28,0 - 31,0 kg/cm ²	Leki >40 l/s
80.08.09	715 m	135 m	410-440 m	28,0 - 31,0 "	"
80.08.29	2107 m	135 m	1030-1050 m	89,5 - 91,5 "	Þrepadæling. Tap 45 l/s

Furðulegt við niðurstöðurnar í töflu 6 er að þrýstingur á æðinni á 410-440 m dýpi lækkar með tíma. Þar sem æðin tók stöðugt við vatni í borun þýðir þrýstilækkunin í raun að dæling á köldu vatni í æðina lækkar þrýsting hennar, sem er þveröfugt við það sem búast má við, ef um hreina vatnsæð er að ræða. Þetta ásamt fleiri athugunum á æðinni á 410-440 metra dýpi er rætt frekar í kafla 5.5.3 hér á eftir.

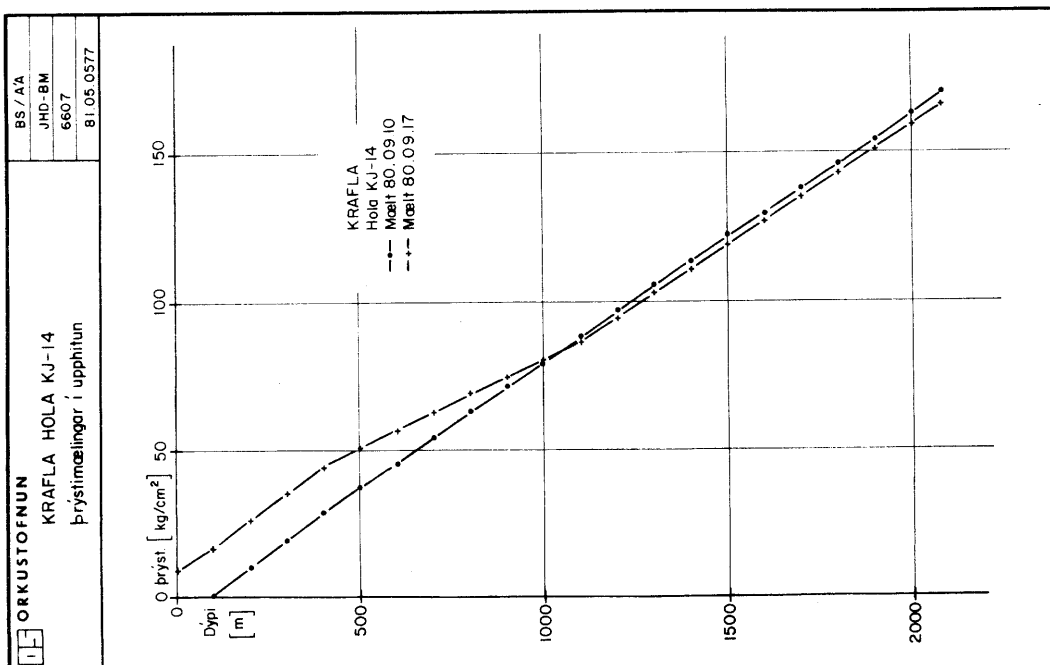
Þrýstimælingarnar, sem gerðar voru í KJ-14 í upphitun eru sýndar á mynd 30. Vendipunktur í þrýstingi kemur fram við æðina á 1030-1050 m dýpi. Þessi æð ræður því þrýstingi í holunni í upphitun og mældur þrýstingur við hana ($82,5-87,0 \text{ kg/cm}^2$) er jafn raunþrýstingi. Ekki er hægt að nota þrýstimælingarnar til að ákveða þrýsting á öðrum æðum nákvæmlega. Um æðar neðan við 1050 m er þó það að segja að þar er yfirþrýstingur í holunni og mældur þrýstingur í upphitun því hærri en þrýstingur á æðum, enda rennsli út í þessar æðar meðan holan er að hitna. Ofan við 1050 m rennur inn í holuna í upphitun a.m.k. allt fram til þess að 1050 m æðin fór í suðu. Þrýstingur þessara æða er því hærri en mælist fyrst í upphitun. Ef þær niðurstöður um þrýsting á vatnsæðum KJ-14 sem hér hefur verið fjallað um eru skoðaðar sem fall af dýpi, fást fram þeir punktar sem sýndir eru á mynd 31. Tekið er tillit til skekkju vegna rennslis í holunni þegar mælt er, með því að sýna með ör hvoru megin mæligildið er talið vera við raungildið.

Skv. myndinni vex þrýstingur með dýpi, en bæði vegna rúmra skekkjumarka og mikillar fjarlægðar milli punkta, er ekki hægt að draga ákveðinn þrýstiferil út frá mælipunktunum einum sér.

Reynslan frá gamla borsvæðinu í Kröflu er sú að þrýstingur vex þar með dýpi eins og um kyrrstæða vatnssúlu sé að ræða. Telja verður líklegt að svo sé einnig í Suðurhlíðum Kröflu. Ef gengið er út frá þessari forsendu fæst heildregni þrýstiferillinn á mynd 31. Er hann reiknaður út frá mældum þrýstingi í 1030-1050 m og áætluðum berghita skv. hitamæl-
ingum í holunni (sjá kafla 5.5.2).



MYND 31 Líklegur þrýstiferill í KJ-14



MYND 30 KJ-14. Þrýstismælingar í upphitun

5.5.2 Berghiti við KJ-14

Í þessum kafla verða dregin saman þau gögn, sem til eru og gefa upplýsingar um berghita sem fall af dýpi við KJ-14. Hér er fyrst og fremst um að ræða hitamælingu frá upphitun holunnar eftir borun, en einnig eru hitamælingarnar, sem gerðar voru eftir að blástursprófun hófst, hafðar til hliðsjónar.

Engin ein af þessum mælingum fylgir væntanlegum berghitaferli holunnar, heldur setja ýmsar truflanir mark sitt á þær. Helstar þessara truflana eru kæling frá bortíma, rennsli milli æða í holunni, suða og blástur. Berghitinn verður því ekki fundinn út frá mælingunum, nema þar sem þessara truflana annað hvort gætir ekki, eða þar sem hægt er að meta áhrif þeirra tölulega. T.d. er hægt að reikna mælt hitastig í upphitun eftir borun fram til jafnvægishita (berghita) ef vatnið í holunni er kyrrstætt. Aðferðin er kennd við Albright og lýst t.d. í "Geothermal logging I" (Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980 b). Ef rennsli er í holunni er í besta falli hægt að fá berghita við innstreymisæð.

Upphitun KJ-14 var lýst í kafla 5.3 hér að framan. Þar kemur fram hvernig rennsli var háttað í holunni í upphitun, hvenær byrjaði að sjóða í henni og hvar. Af þeirri lýsingu er nokkuð ljóst á hvaða dýpi hægt er að nota mælingar til að spá í berghita, þ.e. ofan 700-800 m dýpis, við æðina í 1050 m og botni (sjá mynd 23). Annars staðar stjórnar rennsli milli æða í holunni hitastiginu. Efsti punktur í holunni, sem við höfum áreiðanlegar hitamælingar frá í upphitun, er á 300 m dýpi og síðan á 405, 500, 700, 800, 1100 og 2080 m dýpi (sjá myndir 32-38). Á myndunum er einnig sýndur framreiknaður berghiti skv. Albright, þar sem hægt er að beita hans aðferð.

Lítum á helstu niðurstöður.

300 m dýpi. Mynd 32. Hæsta hitastig 142,3°C mælist eftir 300 tíma upphitun, og er upphitunin þá orðin mjög hæg. Síðasti mælipunkturinn í upphitun er hins vegar nokkru lægri. Holan var þá komin upp, og hrærði gasstreymi að neðan upp í henni. Ef aðferð Albrights er beitt á þessa upphitun fæst jafnvægishitinn $T_{\alpha} = 150^{\circ}\text{C}$.

405 m dýpi. Mynd 33. Á þessu dýpi er sterk æð utan við fóðurrörið. Upphitunarhraði var fádæma hár í byrjun, og hækkaði hitinn um 130°C á fyrstu 12 tímum upphitunarinnar. Upphitunin var síðan hæg úr því og var hitastigið $178,4^{\circ}\text{C}$ eftir 300 tíma upphitun. Hitastigslækkunin í síðasta mælipunkti í upphitun er síðan vegna gasstreymis að neðan, sem hrærir upp í holunni og jafnar út hitatoppinn sem var við þetta dýpi.

Upphitunarferill æðarinnar í 405 m getur tæpast talist venjulegur. Fyrirfram er því hæpið að reikna út jafnvægishita með venjulegum aðferðum. Á mynd 33 eru áfanganiðurstöður Albright-reikninga sýndar. Ef aðferðin dygði ættu þessar niðurstöður að liggja á beinni línu í C-T_α-línuriti. Svo er þó ekki, og aðferðin því ekki nothæf, og því ekki hægt að framreikna jafnvægishitam. Upphitunarferill bendir hins vegar til að hitajafnvægi sé nokkurn veginn náð eftir 300 tíma upphitun og jafnvægishiti sé því u.þ.b. 180°C .

500 m dýpi. Mynd 34. Eftir 300 tíma upphitun er hitastig $193,6^{\circ}\text{C}$, og reiknast jafnvægishitinn $\sim 210^{\circ}\text{C}$ skv. upphituninni fram að því. Suða í holunni í 1050 m grípur síðan inn í upphitunina og er síðasti mælipunkturinn truflaður af gufustreymi að neðan.

700 m dýpi. Mynd 35. Eins og í 500 m dýpi er síðasti mælipunktur truflaður af gufustreymi að neðan. Hæsta ótruflaða hitastig í upphitun er 226°C eftir 300 tíma upphitun, en jafnvægishitinn reiknast $\sim 265^{\circ}\text{C}$.

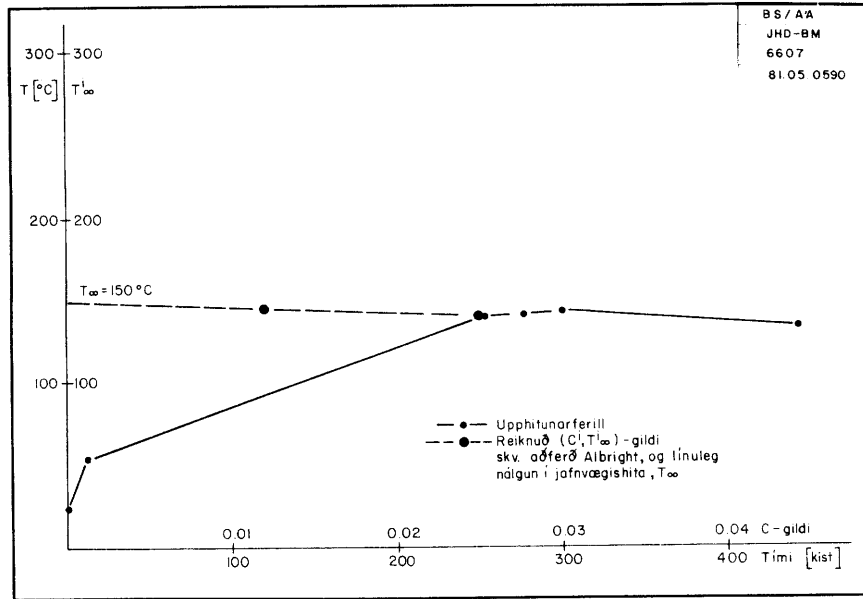
800 m dýpi. Mynd 36. Eftir 300 tíma upphitun er hitastigið $227,7^{\circ}\text{C}$ en jafnvægishiti reiknast $\sim 275^{\circ}\text{C}$.

1100 m dýpi. Mynd 37. Upphitunin á þessu dýpi stjórnast af innstreymi-hita í æðum ofar í holunni vegna niðurrennslis. Mest er innstreymið úr æðinni á 1050 m dýpi, og eftir að holan fór í suðu þar virðist innstreymið ofar í holunni stöðvast. Síðasta hitamæling í 1100 m dýpi sýnir því u.þ.b. jafnvægishita í 1050 m og er hitastigið $290,1^{\circ}\text{C}$. Ekki er til hitamæling frá í 1050 m dýpi á sama tíma, en fyrr í upphituninni mældist hiti þar mestur $288,4^{\circ}\text{C}$. Skv. mældum þrýstingi við æðina er suðuhiti þar $296\text{--}298^{\circ}\text{C}$. Æðin verður því að teljast við suðu.

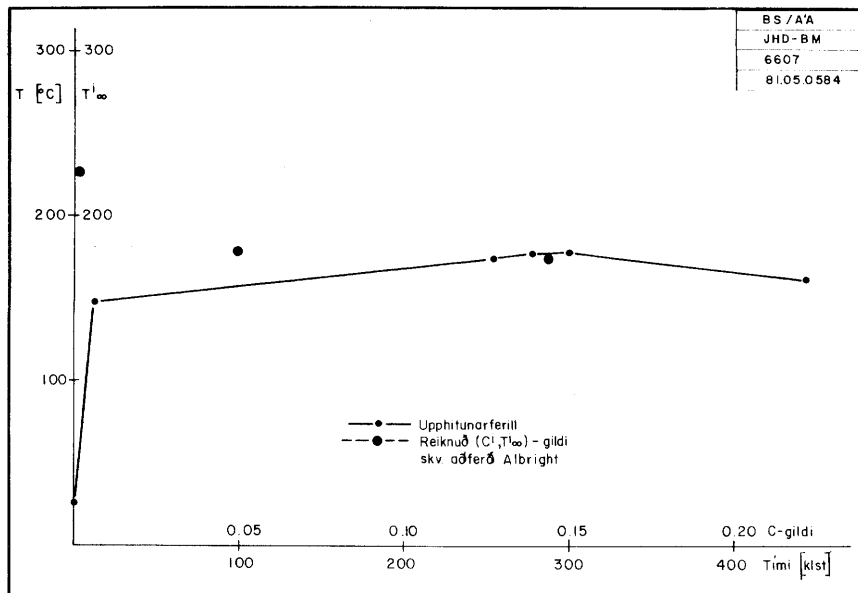
2080 m dýpi. (Botn) Á mynd 38 er sýnt hvernig upphitun í botni KJ-14 gekk fyrir sig, fyrstu 500 tíma eftir að borun lauk. Hæst fór hitinn í 254°C og var upphitunarhraðinn orðinn lítill á milli síðustu mæli-punkta. Útreikningur á jafnvægis hita gefur óljósar niðurstöður, eins og fram kemur á mynd 38. Þessar niðurstöður renna stoðum undir það, að upphitunin í botni KJ-14 hafi verið háð einhverju öðru en kælingu frá borun og borlokum. Líklegasta skýringin er sú að niðurrennsllisins sem var í holunni í upphitun hafi gætt til botns. Það þýðir í raun, að mælt hitastig í botni hefur ekkert með berghita þar að gera. Því til stuðnings má geta að mun hærri hitastig mældist á botni eftir að holan hafði blásið í nokkra daga. Í mælingunni kom fram greinilegt innstreymi á rúmlega 2000 m dýpi (sjá mynd 39). Hitastigið þar reyndist vera 323,5°C. Þar sem holan var að ná sér eftir blástur þegar mælt var, verður að reikna með að berghiti sé hærri en melda gildið.

Hér að framan hefur verið fjallað um berghita á nokkrum dýpum við KJ-14. Þessar niðurstöður, bæði mældar og reiknaðar, eru færðar inn á mynd 40. Berghitinn vex með dýpi, fyrst nokkuð hratt línulega, en neðan við 700-800 m dýpi vex hiti mun hægar með dýpi. Ef mæld og reiknuð hitastig eru borin saman við suðumarksferil kemur í ljós að í efri hluta holunnar er berghiti langt undir suðumarki. Hins vegar er hitastig í 1050 m nærri suðumarki eins og kom fram hér að framan. Sömuleiðis er mældur botnhiti ekki fjarri suðumarki, auk þess sem vitað er að berghiti þar er hærri en mælt hitastig.

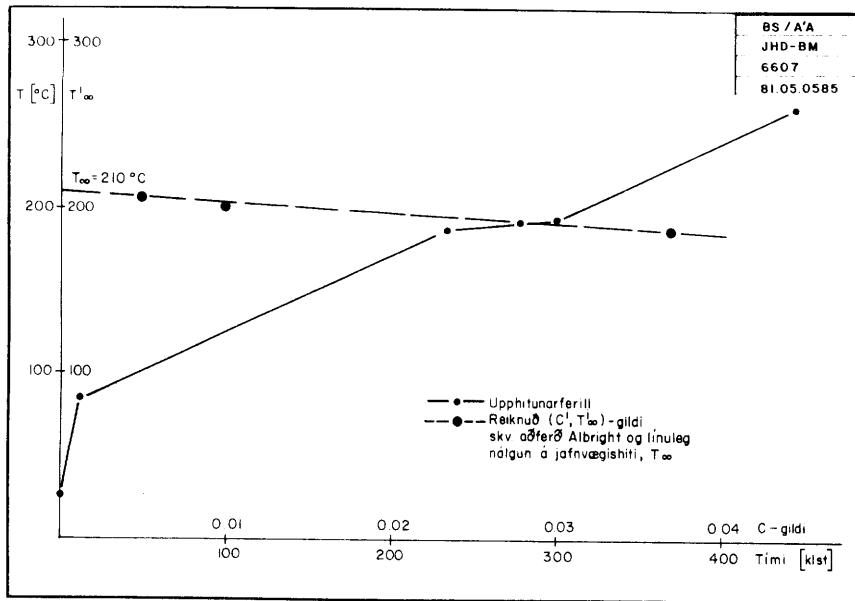
Á mynd 40 er teiknaður heildreginn ferill, sem nefndur er líklegur berghitaferill fyrir KJ-14. Hann samanstendur af suðumarksferli frá 700 m dýpi í botni, en ofan 700 m dýpis byggir hann eingöngu á mældum og reiknuðum gildum. Telja verður að þessi einfaldi ferill falli það vel að mældum gildum að hann standi undir nafni, sem líklegur berghitaferill. Niðurstaða þessarar umræðu um berghita við KJ-14 er því að hitastig sé frekar lágt efst í holunni, en hækki hratt með dýpi. Nái suðumarki í u.þ.b. 700 m og fylgi því síðan allt í botn.



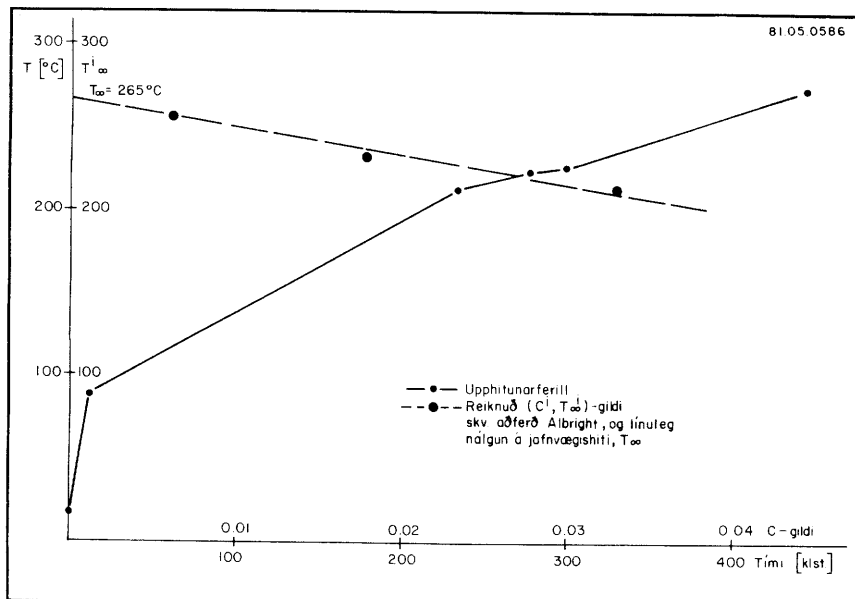
MYND 32 KJ-14. Upphitun eftir borun á 300 m dýpi



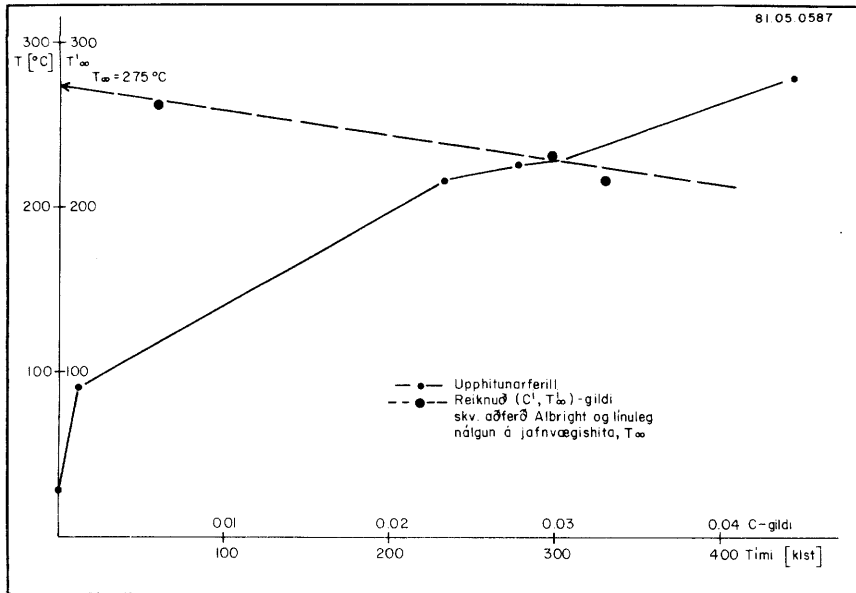
MYND 33 KJ-14. Upphitun eftir borun á 405 m dýpi



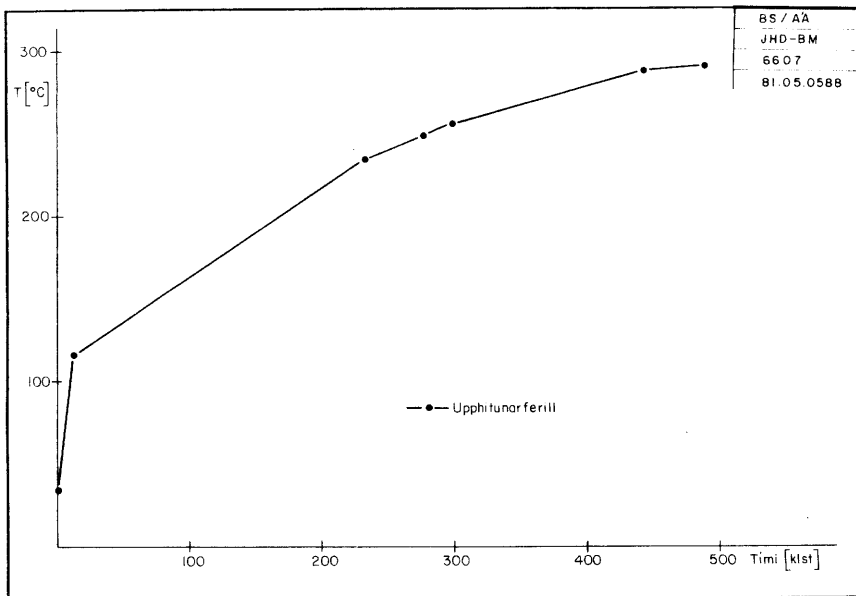
MYND 34 KJ-14. Upphitun eftir borun á 500 m dýpi



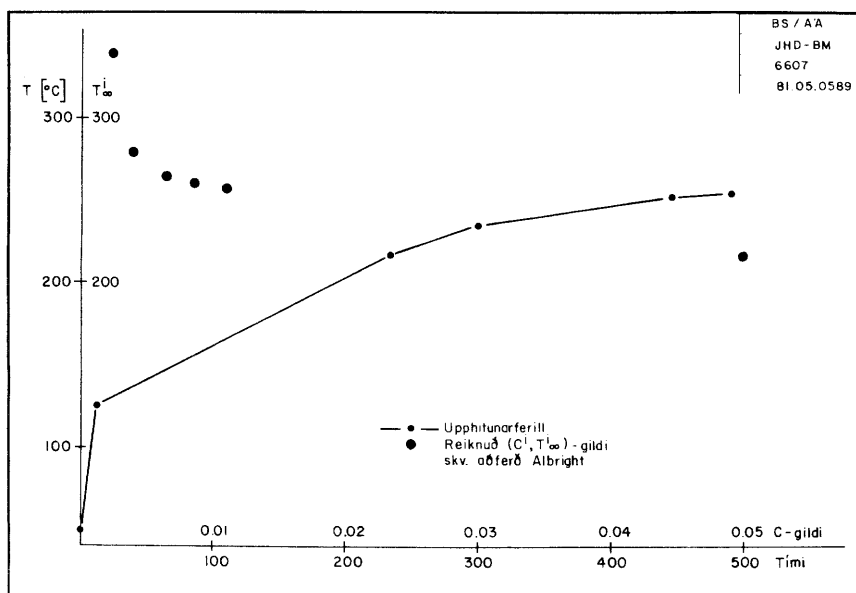
MYND 35 KJ-14. Upphitun eftir borun á 700 m dýpi



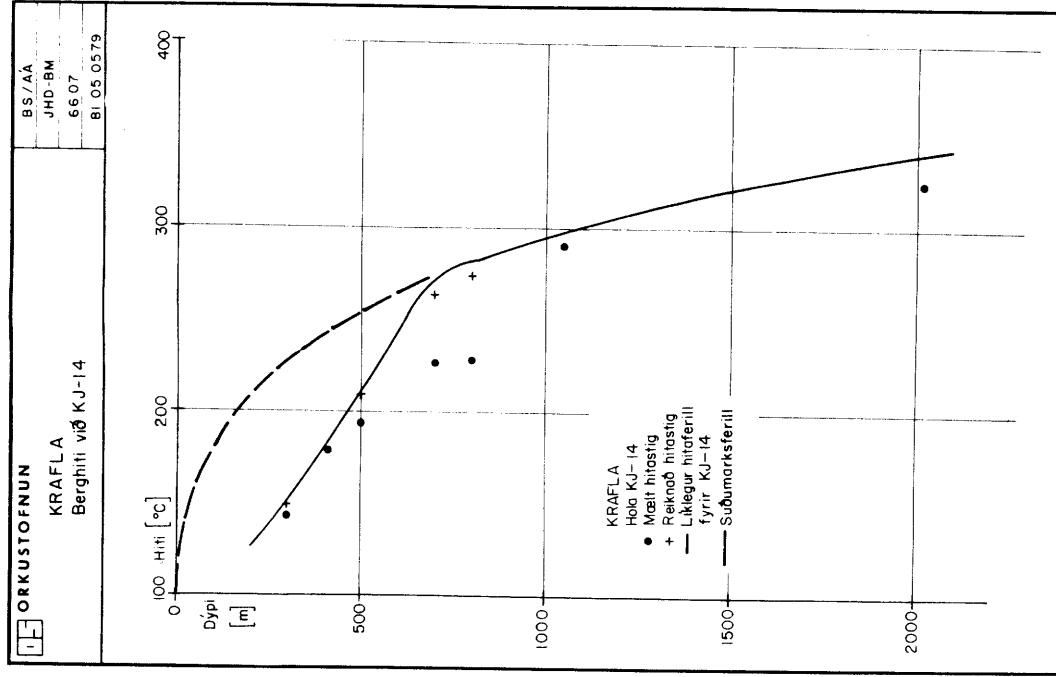
MYND 36 KJ-14. Upphitun eftir borun á 800 m dýpi



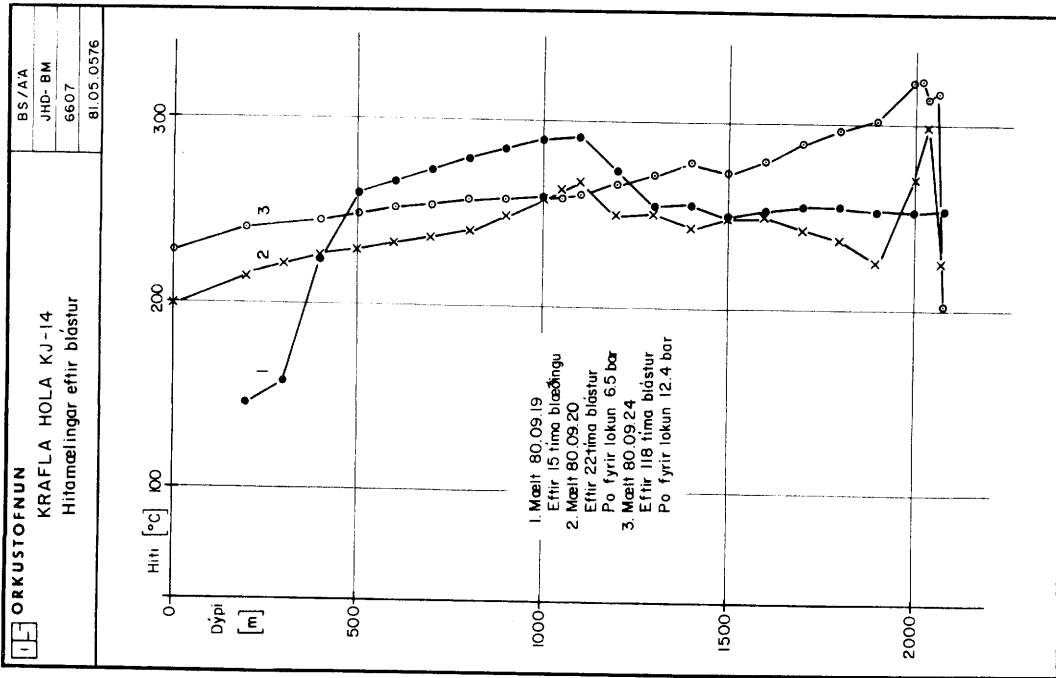
MYND 37 KJ-14. Upphitun eftir borun á 1100 m dýpi



MYND 38 KJ-14. Upphitun eftir borun á 2080 m dýpi



MYND 40 Berghiti við hólú KJ-14



MYND 39 Krafla hola KJ-14. Hitamælingar eftir blástur

5.5.3 Æðin í 410 m

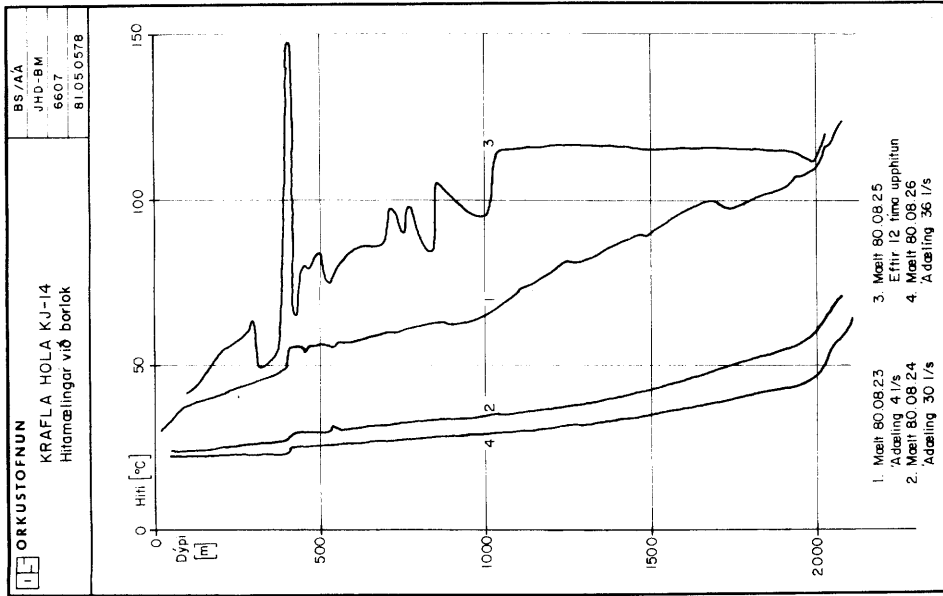
Í undangengnum köflum um hitastig og þrýsting í KJ-14 kemur fram að æðin í 410 m hafi ekki verið á suðumarksferlinum. Þrýstingur á æðinni skv. vatnsborðsmælingum í borun var 31 bar, sem þýðir að suðumark er við 235°C. Hitinn á æðinni er hins vegar aðeins um 180°C. Engu að síður er ýmislegt við hegðun þessarar æðar, sem erfitt er að skýra án þess að gera ráð fyrir að hún sé tveggja fasa. Helst þessara atriða eru:

- (1) Úr æðinni streymdi gas í byrjun og mældist allt upp í 8 bar gasþrýstingur á holutoppi
- (2) Vatnsborð var í 101 m fyrst þegar borað var í æðina. Mældist síðan í 118 m þegar króna var í 450 m og loks mældist vatnsborðið í 130 m þegar fóðringardýpi var náð. Í fyrstu vatnsborðsmælingum er það 410 m æðin sem stjórnar þrýstingnum, en í tveim síðustu mælingunum er það annað hvort sú æð eða æð niðri við 440 m, sem stjórnar þrýstingnum. Ádæling lækkar því þrýstinginn, og ef það er æð í 440 m, sem stjórnar þrýstingi í síðustu vatnsborðsmælingunum, hefur sú æð sama þrýsting og æðin í 410 m.
- (3) Upphitunin á æðinni eftir að hún hafði verið fóðruð af var gífurlega hröð, og var æðin t.d. komin langleiðina í hitajafnvægi eftir 12 tíma upphitun eftir borun (sjá mynd 41).

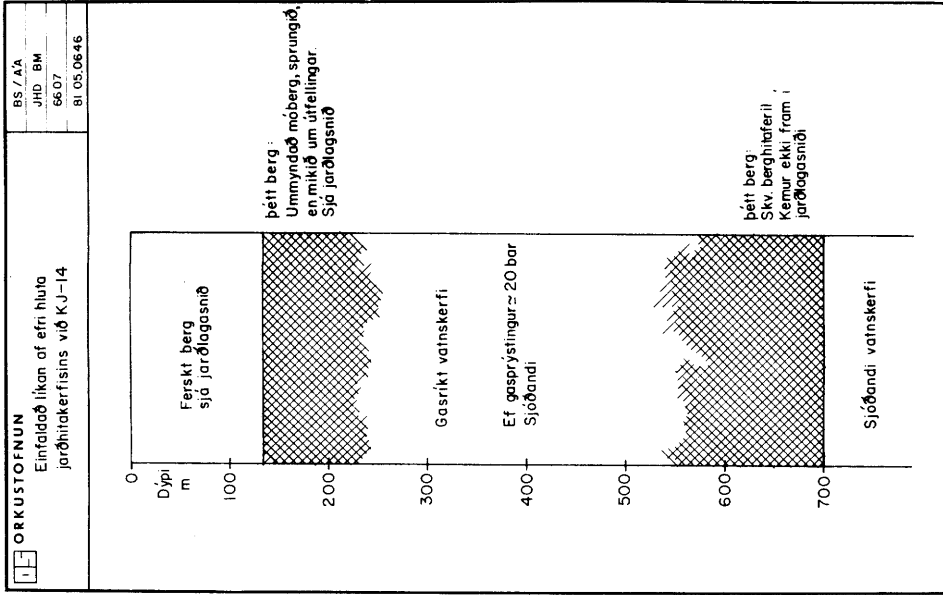
Síðasta atriðið má hugsanlega skýra fyrir hreina vatnsæð með því að gera ráð fyrir öru streymi í æðinni, en tvö fyrstu atriðin verða tæpast skýrð án tveggja fasa, vatns og gufu í æðinni. Hegðun æðarinnar verður því í fljótu bragði að teljast vera í mótsögn við mældan hita og þrýsting. Svo þarf þó ekki að vera. Uppleyst gas lækkar suðumark vatns á þann veg, að þegar summan af hlutþrýstingi gas og gufu við ríkjandi hitastig nær umhverfisþrýstingi sýður vatnið.

Sá hlutþrýstingur á gasi (8 bar), sem mældist í KJ-14 færir þó suðumark aðeins niður í 220°C. Til að sjóði við 180°C þarf gasþrýstingur að vera um 20 bar. Að sá gasþrýstingur hafi í raun ríkt í æðinni er ekki hægt að færa sönnur á, en hegðun æðarinnar bendir sem sagt eindregið til þess.

Mynd 42 sýnir einfaldað líkan af efri hluta jarðhitakerfisins í Suðurhlíðum þar sem hola KJ-14 er.



MYND 42 Einfaldað líkan af efri hluta jarðhitakerfisins við KJ-14



MYND 41 KJ-14. Hitamælingar við borlok

6 EFNASAMSETNING RENNIS ¹⁾6.1 Niðurstöður efnagreingina

Styrkur helstu efna í renni holunnar, reiknaður frá niðurstöðum efnagreininga fjögurra sýna og aflmælinga, sem gerðar voru á sama tíma, er skráður í töflu 7.

TAFULA 7 Krafla KJ-14. Heildarrenni. Styrkur efna í mg/kg.

Dags	Númer	Po bar	Ho kJ/kg	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl	F	U.e.	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	N ₂
800920	1049	7,7	1270	665	176	41,0	0,8	0,05	64,2	47	0,87	1108	5388	305,0	6,43	0,59	61,85
800922	1051	6,7	1805	405	79	19,2	0,4	0,04	17,9	19	0,65	586	6866	468,1	12,15	0,50	55,11
801012	1052	15,3	2519	97	16	1,3	0,1	0,00	1,9	4	0,39	148	8238	637,9	24,10	0,62	115,00
801128	1067	14,9	2634	53	10	0,8	0,0	0,01	0,8	3	0,32	88	10868	700,2	33,45	0,78	0,00
Meðaltal		11,2	2057	305	70	15,6	0,3	0,02	21,2	18	0,56	482	7840	527,8	19,03	0,62	77,32
Staðalf. %		41,0	31,1	93,9	109,1	121,9	112,3	100,7	140,4	113,3	44,9	98,0	29,7	33,7	63,6	19,0	42,4

6.2 Mældur hiti, kísilhiti og varmainnihald

Hitastig og varmainnihald, metið frá beinum hitamælingum, aflmælingum og styrk kísils stuttu eftir upphaf blásturs, eru sýnd í töflu 8. Varmainnihald er hið sama, innan mæliskekkmjarkna, metið með þessum þremur aðferðum. Sú ályktun er dregin, að fyrir blástur hafi þarna verið um að ræða því sem næst vatnsfasa einan í jafnvægi við berg. Mikil breyting verður hins vegar á þessu við blástur, er varmainnihald hækkar. Ekki er ástæða til annars en að ætla, að hitastig æða sé stöðugt. Miðað við kísilhitann 291°C fæst að styrkur kísils í vatnsfasa einum við jafnvægi ætti að vera 665 mg/kg. Sé mældur styrkur kísils borinn saman við þennan styrk eins og gert er í töflu 9 sést, að vatnshluti djúprennis fer minnkandi. Gert er ráð fyrir, að styrkur kísils í þessum vatnshluta sé stöðugur við innstreymishitastigið. Því sýnir hlutfallið milli kísilstyrks í djúprenni og jafnvægisstyrks kísils í vatnsfasa einum við sama hitastig vatnshluta rennisins. Er hann sýndur í töflu 9 og breytingar með tíma á mynd 43.

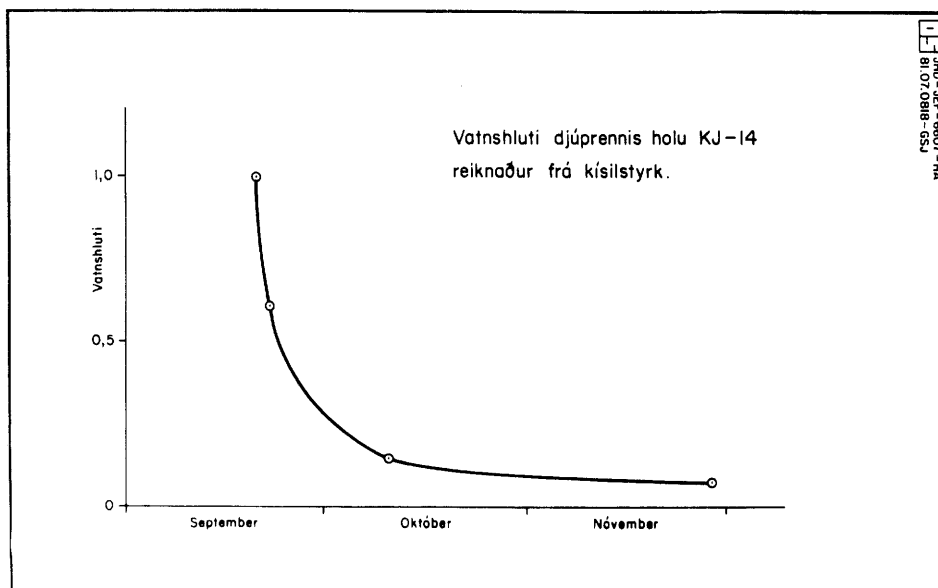
1) Renni: Það, sem rennur (getur verið blanda allra fasa; e. fluid).

TAFLA 8 Hitastig og varmainnihald frá hitamælingum, aflmælingum og efnagreiningu kísils skömmu eftir upphaf blásturs.

Matsaðferð	Dags.	T _o °C	H _o ·kJ/kg
Bein mæling á 1000 m dýpi	1980-09-19	289,5	1287
Bein mæling á 1100 m dýpi	- " -	290,1	1293
Mat frá hita og þrýstimælingum og suðumarksferli, 1040 m	- " -	295	1317
Kísilhiti	1980-09-20	291	1297
Mæling krístisks þrýstings og vatnsrennslis Skv.Russel-James	- " -	286	1270

TAFLA 9 Kísilstyrkur rennis holu KJ-14 og reiknaður vatnshluti djúprennis

Dags.	Kísilstyrkur rennis mg/kg	Kísilstyrkur vatnsfasa við 291°C mg/kg	Vatnshluti djúprennis
1980-09-20	665	665	1,00
1980-09-22	406	665	0,61
1980-10-12	98,0	665	0,15
1980-11-28	54,2	665	0,08



MYND 43 Vatnshiti djúprennisholu KJ-14 reiknaður frá kísilstyrk

6.3 Gasþrýstingur og mældur þrýstingur

Sé gert ráð fyrir, að allt renni komi úr æðinni á 1030-1050 m eða æðum þar fyrir ofan, er samanlagður þrýstingur gass og suðuþrýstingur vatns hærri en mældur þrýstingur (sjá töflu 10 við 295°C). Bendir það til suðu í kerfinu.

TAFLA 10 Mældur þrýstingur og gasþrýstingur á líklegu dýpi æðar við líklegt hitastig rennis

Matsaðferð	Dýpi	Hitastig	Þrýstingur bar abs.
Bein mæling	1000 m	289,5 (mælt)	79,8
- " -	1100 m	290,1 (mælt)	87,2
Metið frá ofan- greindum mælingum	1030-1050 m (líkl.dýpi æðar)	295 (metið)	83
Efnagreining og aflmæling	Innstreymis- dýpi	280 (valið)	75
- " -	- " -	291 kísilhiti	87
- " -	- " -	295 (metið)	91
- " -	- " -	300 (valið)	97

6.4 Efnahlutföll

6.4.1 Samanburður við aðrar holur

Nokkur efnahlutföll í renni valinna Kröfluhola eru skráð í töflu 11. Hátt $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ hlutfall hefur einkennt holur, sem fá rennsli úr neðri hluta jarðhitakerfisins, og má að nokkru leyti rekja til kvikuáhrifa, en að e-u leyti til hita- og þrýstingsáhrifa vegna mismunandi dýpis æða. Hóla KJ-14 fellur í flokk með þeim holum sem virðast hafa orðið fyrir tiltölulega litlum kvikuáhrifum; er að þessu leyti líkust KW-1 (sjá töflu 11), sem fær innstreymi á svipuðu dýpi. Svipað má segja um $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ hlutfall, en það hlutfall og H_2/CO_2 hlutfall eru einnig háð röskun jafnvægis í jarðhita-kerfinu.

Lágt Na/Cl hlutfall hefur einkennt renni úr neðri hluta jarðhitakerfisins og hefur það verið túlkað á þann veg, að ofgnótt klórs úr kviku kæmist í jarðhitakerfið (Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980). Hlutfallið í holu KJ-14 liggur á milli þess, sem fæst í blandholu á við KJ-7, og efri hluta holu eins og KW-2. Gæti það bent til takmarkaðra kvikuáhrifa. Hátt Na/K hlutfall á að fást í renni úr tiltölulega köldu umhverfi, en lægra hlutfall við meiri hita. Na/K hlutfall rennis KJ-14 liggur á milli Na/K hlutfalls efri hluta rennis eins og í KW-2, og ráðandi neðri hluta rennis eins og í KJ-7 og KJ-13. Hátt H_2S/SO_4 hlutfall bendir til lítt oxandi aðstæðna, þ.e. að ekki sé um að ræða andrúmsloftsblöndun, sem gæti gert slíkt hlutfall lágt í efri hluta jarðhitakerfisins.

TAFLA 11 Meðaltal nokkurra efnahlutfalla í renni valinna hola á Kröflusvæði.

Hola nr.	Teg.	CO_2/H_2S	$H_2/H_2S \times 10^3$	$H_2/CO_2 \times 10^3$	Na/Cl	Na/K	$F/Cl \times 10^3$	H_2S/SO_4
KW-2	Efri hluti	4,8	5,9	1,3	7,3	13,4	19,0	0,33
KW-1	Blanda	11,3	41,4	3,6	4,5	6,4	27,5	20,0
KJ-7	Blanda	65,7	60,7	1,1	2,5	6,1	10,8	9,9
KJ-13	Neðri hluti	26,3	69,6	2,6	2,5	5,2	7,3	50,7
KG-4	Blanda	8,9	61,6	7,3	3,8	7,8	109	0,77
KJ-14		15,1	33,0	2,2	3,8	8,3	64,2	310

Radon-222 myndast við geislavirka klofnun radíums-226, og er helmingunartími 3,8 dagar. Það er því styrkur radíums í bergi því, sem skolað er úr, sem ræður styrk radons í renninu.

Styrkur radons ásamt hlutföllum þess við koldíoxíð og kalsíum í nokkrum nýlegum sýnum frá Kröflu og Námafjalli er skráður í töflu 12. Þar sem styrkur radíums er hár í súru og ísúru bergi (sjá Barth 1950) en kalsíums lágur, má búast við háu Rn/Ca hlutfalli úr æðum, sem koma fram í súrum og ísúrum berglögum. Hátt F/Cl hlutfall (sjá töflu 11) er einnig talið einkenna námunda æða við súrt eða ísúrt berg. Bæði Rn/Ca og F/Cl hlutföll eru tiltölulega há í holu KJ-14, og styður það þá hugmynd, að aðalæð holunnar sé við ísúra innskotið, sem fram kemur á 1031-1056 m dýpi (sjá

jarðlagasnið, mynd 8). Hátt F/Ck hlutfall kom fram í holu KG-4, en aðalæð hennar á um 1940 m dýpi var talin vera við granófýrinnskot (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1976 a; og Hrefna Kristmannsdóttir 1976), og í neðri hluta renni holu KG-10, en þar var einnig talið, að stóra æðin neðst í holunni væri við granófýrinnskot (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1977 b).

6.4.2 Breytingar með tíma

Breytingar, sem urðu á þeim hlutföllum, sem sýnd voru í töflu 11 við blástur, eru sýndar í töflu 13. Í töflu 14 er svo sýndur reiknaður styrkur ýmissa efna í vatnsfasa og gufufasa djúprennis við 291°C, sem var kísilhiti fyrsta sýnisins og einnig mjög nærri mældum hita. Gert var ráð fyrir vatnsfasa einum, þegar það var tekið. Í þeim reikningum er gert ráð fyrir að hiti bergs sé stöðugur og að rennið nái þeim hita (hér 291°C), en mælingar á varmáinnihaldi eru notaðar til að reikna vatns- og gufuhluta rennis.

Eins og getið var um áður minnkaði heildargasstyrkur í fyrstu, en hélst síðan stöðugur. CO₂/H₂S hlutfall hefur haldist nokkuð stöðugt, en afstæður styrkur vetnis hefur aukist með tímanum. Na/K hlutfall hefur hækkað, og gæti það bent til nálægðar kaldara vatns. F/Cl hlutfall hefur hækkað, e.t.v. vegna leysingar flúors úr bergi. H₂S/SO₄ hlutfall hefur að öllum líkindum hækkað vegna upphaflegra áhrifa andrúmslofts og skolvatns, sem síðan fara þverrandi. Í töflu 14 sést, að kísilstyrkur er nærri því að vera jafnvægisstyrkur, og er því forsendan fyrir reikningi á vatnshluta í töflu 9 réttmæt innan þolanlegra skekkjumarka. Við þornun

TAFLA 12 Styrkur radons og hlutföll hans við styrk koldíoxíðs og kalsíums í renni nokkurra hola í Kröflu og Námafjalli, mælt des. 1979 - nóv. 1980.

Hola nr.	Sýni nr.	Dags.	Rn dpm/kg	Rn/CO ₂ dpm/mg	Rn/Ca dpm/mg
BJ-11	80-1050	09-20	1824	3,17	8844
KJ-9	79-1079	12-07	475	0,345	365
-	80-1001	02-22	368	0,358	216
-	80-1042	09-12	350	0,312	233
-	80-1062	11-25	1047	0,375	629
KJ-6	80-1069	11-29	2581	0,539	3316
KJ-7	79-1081	12-08	4230	0,468	3254
KG-12	80-1002	02-23	7122	0,435	-
-	80-1018	06-08	7432	0,389	-
KJ-13	80-1048	09-17	7112	0,720	7434
-	80-1063	11-25	11228	1,202	-
KJ-14	80-1051	09-22	5858	0,856	139476

má ætla, að leysin efni eins og Na, K og Cl styrkist í vatnsfasa. Í reynd fer styrkur þessara efna minnkandi frá fyrsta til þriðja sýnis, en eykst síðan. Má telja víst, að áhrifa skolvatns gæti verulega í byrjun, en eftir þriðja sýni (23 dögum eftir upphleypingu) sé þornun jarðhitarennis orðin ráðandi ferli um styrk þeirra.

Betra er að átta sig á efnum, sem eru háð leysni steinda um styrk sinn í lausn. Jafnvægisreikningar voru gerðir með aðstoð forritsins WATCH 1 (Hörður Svavarsson 1981). Styrkur súlfats ræðst af leysni anhydrits (CaSO₄)



TAFLA 13 Efnahlutföll í renni holu KJ-14, frá upphleypingu til tengingar.

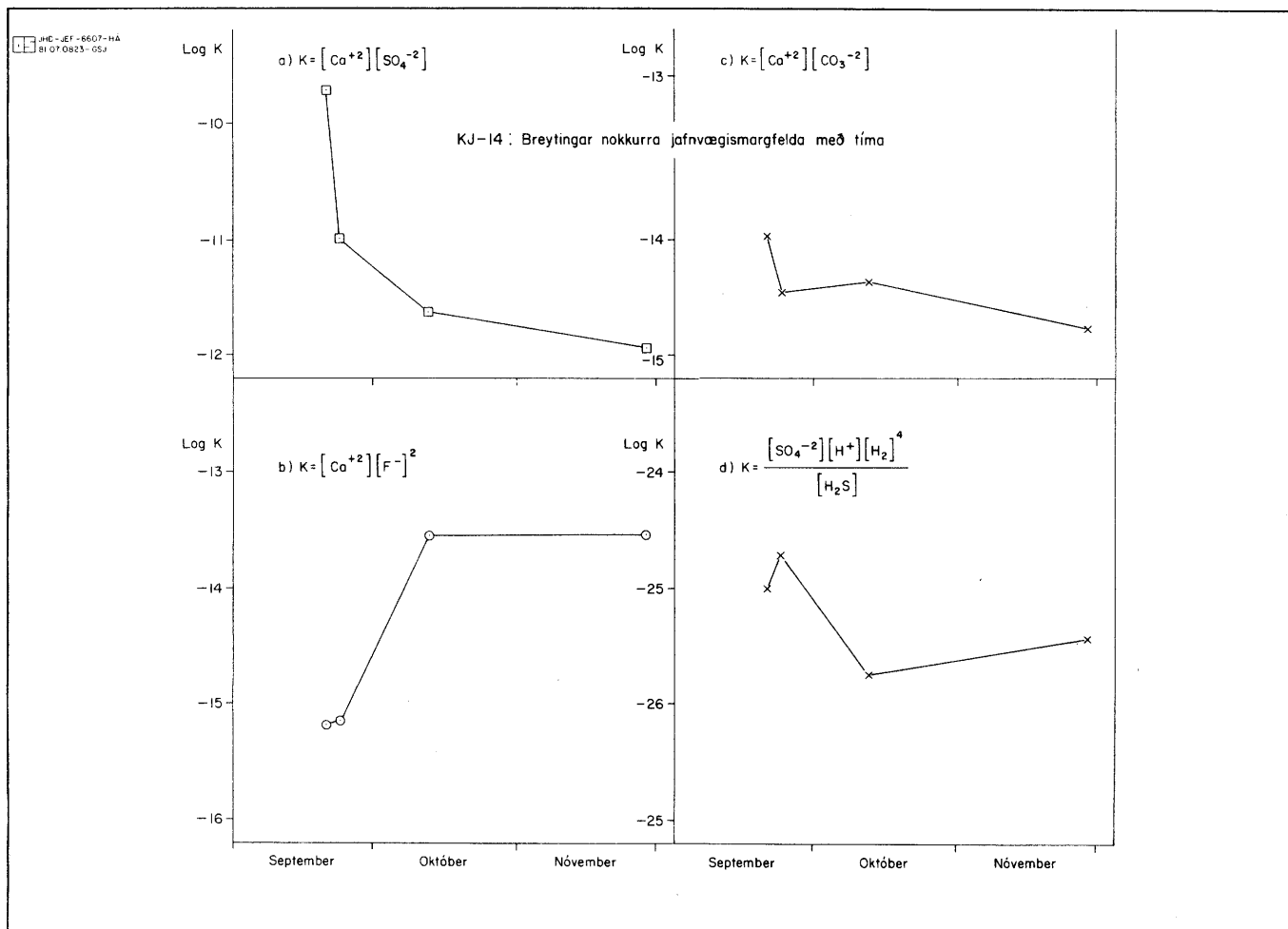
Dags.	CO ₂ /H ₂ S	H ₂ /H ₂ Sx10 ³	H ₂ /CO ₂ x10 ³	Na/Cl	Na/K	F/Clx10 ³	H ₂ S/SO ₄
80-09-20	17,3	20,5	1,2	3,7	4,3	18,2	4,0
80-09-22	14,7	26,0	1,8	4,2	4,1	34,2	26,2
80-10-12	12,9	37,8	2,9	4,0	12,3	97,5	336
80-11-28	15,5	47,8	3,1	3,3	12,5	107	875
Meðalgildi	15,1	33,0	2,2	3,8	8,3	64,2	310

TAFLA 14 Krafla KJ-14. Vatn og gufa við 291°C. Styrkur efna í mg/kg.

Dags.	Númer	Po bar	Ho kJ/kg	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	So ₄	Cl	F	U.e.	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	N ₂
800920	1049	7,7	1270	654	173	40,3	0,8	0,05	63,1	46	0,85	1089					
800922	1051	6,7	1805	621	121	29,4	0,6	0,06	27,5	30	1,00	898	19760	1347,2	34,98	1,44	158,61
801012	1052	15,3	2519	588	99	7,7	0,4	0,01	11,2	22	2,37	892	9873	764,5	28,88	0,74	137,82
801128	1067	14,9	2634	609	120	9,6	0,3	0,06	8,6	34	3,68	1005	11905	767,1	36,64	0,86	0,00
Meðaltal		11,2	2057	618	128	21,7	0,5	0,04	27,6	33	1,97	971	13846	959,6	33,50	1,01	148,21
Staðalf. %		41,0	31,1	4,5	24,5	72,6	45,7	57,2	90,9	30,6	67,3	9,7	37,7	35,0	12,2	36,8	9,9

Á mynd 44 a sést, að jónamargfeldi kalsíum og súlfatjóna er mjög hátt í byrjun eins og um yfirmettun sé að ræða, en minnkar síðan og verður nokkuð stöðugt eins og komið sé nærri jafnvægi. Að vísu kemur þetta ekki alveg heim við fræðilegt leysnimargfeldi við 291°C ($\log K_{sp} = 8,874$), en bæði er það gildi fengið við aðrar aðstæður. og ekki þarf annað en að breyta forsendum varðandi spesíun (speciation) til þess, að upphaflega jónamargfeldið verði hærra en leysnimargfeldið. Líklega hefur upphaflega myndast ofgnótt súlfatjóna í lausninni vegna oxunar brennisteinsvetnis af völdum súrefnis, sem borist hefur með skolvatni. Anhydrit hefur þá fallið út, en við það minnkar styrkur kalsíumjóna, og raskast þá annað jafnvægi, sem kalsíum tekur þátt í.

Styrkur flúoríðs í vatnsfasa hefur aukist. Hann ræðst sennilega af leysni flúoríts (CaF_2).



MYND 44 KJ-14. Breytingar jafnvægismargfelda nokkurra efna með tíma

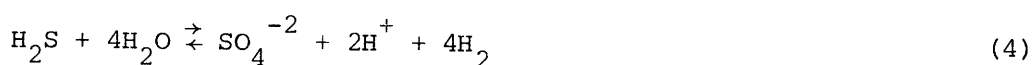
Á mynd 44 b sést, að jónamargfeldi kalsíums og flúoríðs stígur mjög ört í fyrstu, en virðist síðan nálgast stöðugt gildi. Væntanlega er vatnið undirmettað með tilliti til þessara jóna, en brottnám kalsíumjóna við útfellingu anhydrits myndi valda frekari leysingu flúoríts ef til væri. Hið nærri fasta jónamargfeldi sem næst, er þó hvergi nærri fræðilegu leysnimargfeldi flúoríts við 291°C ($\log K_{sp} = -11,209$), en það er líklega fengið við nokkuð aðrar aðstæður. Einnig getur verið, að hraði hvarfsins minnki mjög, er nálgast jafnvægi, og ennfremur getur flúorít verið af svo skornum skammti í berginu, að jafnvægi verði ekki náð.

Auk ofantalinni efnahvarfa stjórnast kalsíumstyrkur af leysingu kalsíts (CaCO_3)

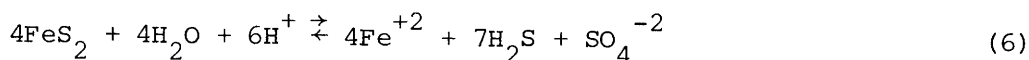


Á mynd 44c sést, að litlar breytingar verða á jónamargfeldi kalsíts, enda um mikla ofgnótt karbónatjóna að ræða í kerfinu. Lítið ber á milli þessa tiltölulega fasta jónamargfeldis og hins fræðilega leysnimargfeldis ($\log K_{sp} = -13,864$), og má því ætla, að jafnvægi ríki með tilliti til þessarar steindar.

Aðrar athyglisverðar breytingar með tíma eru stórhækkun $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4$ hlutfalls og aukning vetnisstyrks. Styrkur vetnis ræðst af eftirfarandi jafnvægi



Við brottnám súlfats ætti hvarfið að ganga til hægri og styrkur vetnis að aukast. Styrkur brennisteinsvetnis endurnýjast líklega fyrir tilstilli leysingar steinda eins og pyrrhótíts og pýríts.



Því hækkar $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4$ hlutfall. Hafi jafnvægi haldist í efnahvarfi (4) ætti styrkur vetnis að hafa aukist og útkoma deilimargfeldisins

$$\frac{[\text{SO}_4^{-2}] [\text{H}^+]^2 [\text{H}_2]^4}{[\text{H}_2\text{S}]} = K$$

að hafa haldist föst. Á mynd 44 d sést, að svo lætur nærri, og er hér um nærtæka skýringu á vetnisaukningunni að ræða. Fræðilega reiknaður fasti fyrir jafnvægi (4) (Helgeson 1969) reyndist log K - 23,6 við 250°C og -21,95 við 300°C, og liggja mældu gildin nokkru neðar en þau fræðilegu.

7 HELSTU VINNSLUEIGINLEIKAR

Hola KJ-14 er núna aflmesta holan á Kröflusvæðinu. Aðrir vinnslueiginleikar hennar eru líka mjög góðir.

Blásturssaga holunnar (sjá mynd 29, bls. 67) ber öll helstu einkenni vinnslu úr tveggja fasa jarðhitakerfi. Fyrstu daga blásturs minnkar bæði heildarrennsli og vatnsrennsli frá holunni á meðan varmainsihald rennslis stígur. Eftir rúma viku er heildarrennsli búið að ná jafnvægi, og varmainsihald breytist hægar.

Samband heildarrennslis og varmainsihalds (mynd 22, bls. 61) sýnir, að þegar varmainsihald fer yfir 2000 kJ/kg vikur rennslisferill frá "kennilínu holunnar". Þetta hefur verið túlkað svo (Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980) að kælingaráhrif blástursins skapi samdrátt bergs þannig að sprungur vikki og leiðni holunnar aukist. Þetta eru sambærileg áhrif og verða við dælingu á köldu vatni niður í holur t.d. við borlok. Er þá algengt að holur opnast verulega eftir að dælt hefur verið í nokkurn tíma. Í blásturssögunni fer þessarra áhrifa að gæta eftir u.þ.b. 10 daga blástur.

Bæði í blásturssögu og í sambandi rennslis og varmainsihalds koma fram misfellur í ferlana. Tvö dæmi eru augljós. Á 3.-4. blástursdegi koma stökk í alla þrjá ferlana á mynd 29, og á 15. blástursdegi eykst heildarrennsli án mikilla breytinga í vatnsrennsli. Í báðum tilvikum er talið að vinnslueiginleikar holunnar batni snögglega. Nokkur eðlismunur virðist þó á þessum tveim tilvikum.

Svo heppilega vill til að til eru hitamælingar í holunni frá fyrsta og fimmta blástursdegi holunnar. Fyrri mælingin gerð 80-09-20 en sú seinni gerð 80-09-24. Þessar mælingar eru sýndar á mynd 39 og í viðauka. Við samanburð sést að mælingarnar eru mjög frábrugðnar hvor annarri, þó þær séu gerðar við mjög svipuð skilyrði. Mæling á fyrsta blástursdegi (80-09-20) er túlkuð þannig að fram að þeim tíma hafi æð á 1050 m dýpi að mestu stjórnað rennsli holunnar. Þegar holu er hins vegar lokað á fimmta blástursdegi (80-09-24) til mælinga, er verulegt innrennsli í

holuna úr djúpu æðinni á 2000-2030 m dýpi. Af þessu er ályktað að breytingar í rennslissögunni á 3.-4. blástursdegi stafi af því að djúpa æðin á rúmu 2000 m dýpi byrji að taka þátt í blæstri í fullri alvöru. Breytingin sem verður á 15. blástursdegi er á hinn bóginn einungis í gufurennisli, og er því trúlegt að það stafi af auknu rennsli úr þeim æðum sem þegar eru til staðar í blæstri, frekar en að ný æð sé að koma inn. (Sjá Stefánsson and Steingrímsson 1980).

Lokunarþrýstingur holunnar er tiltölulega hár, og hefur hæst mælst 60 bör. Þessar aðstæður hafa það í för með sér að auðvelt er að velja holutoppsþrýsting á bilinu 7-20 bar. Eðlilegast er að hafa holutoppsþrýsting 10-15 bar í vinnslu. Ótrúflað hitastig í jarðhitageyminum við holu KJ-14 er sýnt á mynd 40, bls. 80. Út frá því og mældum þrýstingi (mynd 30) má álykta að kerfið sé í suðu neðan við 700 m dýpi. Auk þessa er mjög gasríkt kerfi á bilinu milli 300 og 500 m dýpis, og er aðaltenging holunnar við það kerfi á 410 m dýpi. Svo sem getið er í 5.5.3 gæti þessi hluti kerfisins einnig verið í suðu, þó hitastigið sé aðeins 180°C. Ekki er talið ráðlegt að nýta þennan hluta kerfisins, bæði af því að hitastig er tiltölulega lágt svo og vegna þess að í renninu er mikið gas.

Efnafræðilegir eiginleikar rennis eru frekar hagstæðir. Gasstyrkur í gufu var í byrjun rúm 2%, en minnkaði með tíma í 1,2 - 1,3%.

Efnasamsetning rennisins bendir líka til að áhrif kvikugasa sé mun minni en úr djúpum æðum í holum vestan Hveragils. Hins vegar er rennið ekki í jafnvægi við bergið, svo áhrif kvikugasa eru fyrir hendi þó í minna mæli sé en vestan Hveragils.

Hola KJ-14 er að mörgu leyti frábrugðin fyrri holum á Kröflusvæðinu, enda var hún boruð á öðru borsvæði en þær. Jarðlagaskipan í KJ-14 er í megindráttum svipuð þeirri sem fram kemur í fyrri holum í Kröflu. Í kafla 3.3 er sett fram sú hugmynd að innskotamyndunin, sem neðri hluti KJ-14 sker geti verið þéttur keilugangasveimur út frá gabbróhleif (sjá mynd 12), en slík tegund innskota er ráðandi innan öskjumyndana í rofnum megineldstöðvum.

Í holunni er áberandi meira af súrum og ísúrum innskotum heldur en í eldri holum (sjá mynd 11). Á yfirborði er einnig ísúr og súr gosvirkni nálægt holu KJ-14. Möguleiki er á að súru lögin í holu KJ-14 tengist þeirri gosvirkni sem er talin vera um 12.000 ára gömul.

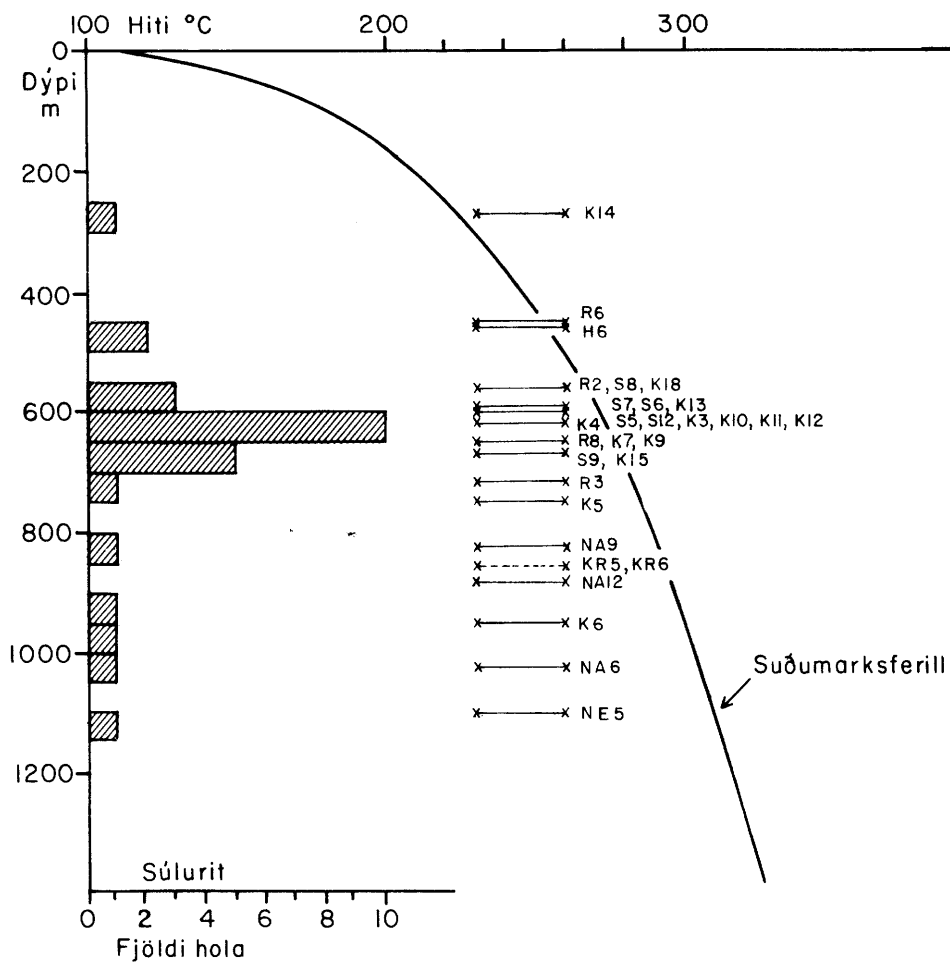
Samband virðist vera milli súrra innskota og staðsetningar vatnsæða í holu KJ-14, og efnasamsetning rennis (töflur 11 og 12) bendir til að það sé í nánum tengslum við súrt berg. Að sumu leyti gætu hér verið svipaðar aðstæður og í holum KG-4 og KG-10. Í báðum þessum holum eru sterkar æðar tengdar granófýrinnskoti og í báðum tilvikum er hlutfallið F/Cl hátt í renni holanna eins og í holu KJ-14.

Holur KJ-4 og KG-10 eru fjær súrri gosvirkni en hola KJ-14. Hins vegar ber að geta þess að í sprengigosinu í Víti 1724 kom upp kraflit, sem sýnir að undir Víti eru súr innskot til staðar og að þessi innskot eru af sama tagi og súru innskotin í holum KG-4, KG-10 og KJ-14. Samband góðrar vatnsleiðni og súrra innskota í borholum í Kröflu er því nokkuð áberandi. Ekki er mjög mikið vitað um ástæðu fyrir þessu sambandi, en benda má á að þar sem seigja súrrar kviku er hærri en basaltkviku má ætla að súr innskot brjóti grannbergið meira upp en basaltkvika, og þess vegna skapist betri vatnsleiðarar við súr innskot.

Háhitaummýndun í holu KJ-14 er mun nær yfirborði en í eldri holum í Kröflu (sjá mynd 16). Á mynd 45 er sýnt á hvaða dýpi epidóts verður fyrst vart í 29 borholum á sjö íslenskum háhitasvæðum (Sigvaldason 1963; Jens Tómasson & Hrefna Kristmannsdóttir 1971; Gestur Gíslason 1973; Kristmannsdóttir & Tómasson 1974a, 1974b; Hrefna Kristmannsdóttir 1976;

JHD-BJ-9000-H.F.
82.08.1003-I.S.

EFRI SKIL EPIDÓTBELTIS Í ÍSLENSKUM HÁHITAHOLUM



- K. KRAFLA
 - R. REYKJANES
 - S. SVARTSENGI
 - H. HVERAGERÐI
 - NE. NESJAVELLIR
 - NA. NÁMAFJALL
 - KR. KRÍSUVÍK
- (holur 5 og 6 eru ~850m djúpar ; epidót fannst ekki)

Hitastigsmörk efri skila epidótbeltis í samtals 26 háhitaholum á 7 íslenskum háhitasvæðum.

Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1976a, 1976 b, 1976c, 1977a, 1977b, 1977c; Flores 1980; Hjalti Franzson, óbirt gögn; Ásgrímur Guðmundsson, óbirt gögn). Á mynd 45 eru einnig sýnd hitastigsmörk þau sem epidót er talið myndast fyrst við (230-260°C) og þau borin saman við suðumarksferil frá yfirborði. Athyglisvert er að í öllum holum nema holu KJ-14 er þessi ummyndunarhiti innan suðumarksferils. Á súluritinu vinstra megin á mynd 45 sést að ráðandi dýpi þar sem epidót finnst fyrst er á bilinu 550-700 m með hápunkti í 600-680 m.

Í samanburði á mynd 45 er eingöngu miðað við steindina epidót. Þess ber þó að geta að í holu 5 í Krísuvík greindist steindin klórít, sem talin er hafa svipað eða nokkru lægra myndunarhitastig en epidót, á 100 m dýpi (Stefán Arnórsson o.fl. 1975). Var af því dregin sú ályktun að klórítið í holu 5 í Krísuvík hefði myndast á jökultíma.

Ummyndunarhitastig í holu KJ-14 breytist mjög snögglega með dýpi. Niður á 110 m dýpi er ferskt móberg ráðandi. Móberg er mjög viðkvæmt gagnvart jarðhita, bæði vegna þess að poruhlutfall þess er hátt, svo og vegna þess að móbergsgler ummyndast auðveldlega þó hitastig sé undir 100°C. Efri mörk blandlagsleirsteindabeltis (~200°C) er á um 180 m dýpi og klórít-epidót beltið byrjar á 270 m dýpi.

Milli 110 m og 180 m dýpis vex ummyndunarhitastig um a.m.k. 100°C eða um 1,4°C/m (1428°C/km). Mjög skörp hitaskil hafa því verið í jarðhitageym-inum á þessu dýpi þegar ummyndunin átti sér stað, eða að ferski hluti móbergsins hefur myndast eftir að ummyndun neðan við 180 m dýpi átti sér stað.

Í svarfgreiningu er ekki hægt að sjá nein merki þess að móberg ofan við 110 m sé yngra en móbergið þar fyrir neðan. Ekki verður heldur vart við neitt berglag sem sérstaklega hefti streymi jarðhitavökva og verndi ferska móbergið frá ummyndun.

Þess er getið í kafla 4.4 að skýra mætti ummyndun í holu KJ-14 með því að Kröflusvæðið hefði legið undir jökli þegar ummyndun epidóts á 270 m dýpi átti sér stað. Ferska hluta móbergsins efst mætti þá skýra þannig að jökullónið hefði náð að kæla bergið niður á þetta dýpi (110 m).

Hvort sem þessi skýring er valin eða að ferska móbergið sé seinni tíma upphleðsla breytir því ekki að viss hluti ummyndunar í holu KJ-14 er eldri en 10.000 ára, og að jarðhitakerfið í Suðurhlíðum er eldra en þessi tímamörk.

Aðstæður á Kröflusvæði á jökultíma gætu hafa líkst því sem nú er t.d. í Grímsvötnum, en þar stendur jökullónið uppi í jöklinum. Þegar ísa leysti í Kröflu hefur þrýstingur í jarðhitakerfinu lækkað og þar með hitastig í efsta hluta kerfisins. Ekki verða neinar líkur leiddar að því hvert hafi verið eðlisástand jarðhitakerfis Suðurhlíða á ísöld, en trúlegt er að hitastigin 200°C á núverandi 180 m dýpi og $230\text{--}260^{\circ}\text{C}$ á núverandi 270 m dýpi hafi verið nálægt suðumarki á þeim tíma.

Varmagjafar íslenskra háhitasvæða eru kvikuþrær eða heit innskot í rótum megineldstöðva eða í miklum gangasveimum. Gosvirkni í virkum megineldstöðvum er yfirleitt rakin mun lengra aftur í tímann en til síðustu ísaldar. Því má ætla að flest íslensk háhitasvæði hafi verið virk á ísöld. Fram að þessu hafa áhrif ísaldarjökulsins aðeins fundist í ummyndunarmynstri tveggja borhola, H-5 í Krísuvík og KJ-14 í Kröflu.

Auk þess sem háhitaummyndun er mun nær yfirborði í holu KJ-14 en í eldri holum í Kröflu er þrýstingur í jarðhitakerfinu við holu KJ-14 mun hærri en á samsvarandi dýpi í eldri holum. Þessar aðstæður benda til að í Suðurhlíðum sé sjálfstætt uppstreymi óháð meintu uppstreymi við Hveragil. Á þessu stigi verður ekki reynt að lýsa jarðhitakerfinu í Suðurhlíðum, en ljóst er að í samræmdu líkani af jarðhitakerfi Kröflusvæðisins verður að endurskoða gaumgæfilega fyrri hugmyndir um uppstreymi við Hveragil.

HEIMILDASKRÁ

- Ármannsson, H., Gíslason, G. & Hauksson, T. 1982: Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. Geochim. Cosmochim. Acta, 46: 167-177.
- Barth, T.F.W. 1950: Volcanic geology, hot springs and geysers in Iceland. Carnegie Institute of Washington, Publ. 587, 174 s.
- Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson 1978: Holubréf nr. 9. Orkustofnun JHD, 5 s.
- Bodvarsson, G. & Lovell, R.P. 1972: Ocean floor heat flow and the circulation of interstitial waters. J. Geophys. Res., 77: 4472-4475.
- Flores, J. 1980: Borehole Geology of SG-9, Svartsengi Geothermal Field, SW-Iceland. UNU Geothermal Training Programme, Iceland. Report 1980 - 4: 39 s.
- Gestur Gíslason 1973: Rannsókn á háhitaummyndun í Krísvík og Námafjalli. BS-ritgerð við Verkfræði- og raunvísindadeild Háskóla Íslands, 23 s.
- Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1978: Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustofnun, OSJHD - 7846, 45 s.
- Guðmundur Sigvaldason 1963: Sjá Sigvaldason, G.E. 1963.
- Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980: Krafla. Samsetning gass í gufuaugum. Orkustofnun OS80027/JHD16, 51 s.
- Halldór Ármannsson, Gestur Gíslason & Trausti Hauksson 1982: Sjá Ármannsson, H., Gíslason, G. & Hauksson, T. 1982.
- Haukur Jóhannesson 1975: Structure and petrochemistry of the Reykjadalur central volcano and the surrounding areas, Midwest-Iceland. Ph.D.thesis, University of Durham, 273 s.

Helgeson, H.C. 1969: Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am.J.Sci., 267: 729-804.

Hjalti Franzson 1978: Structure and petrochemistry of the Hafnarfjall-Skarðsheiði central volcano and the surrounding basalt succession, W-Iceland. Ph.D.thesis, University of Edinburgh, 264 s.

Hrefna Kristmannsdóttir & Jens Tómasson 1974: Sjá Kristmannsdóttir, H. & Tómasson, J. 1974.

Hrefna Kristmannsdóttir 1975: Jarðlög og ummyndun í borholum 1 og 2 í Kröflu. Orkustofnun OSJHD-7542, 19 s.

Hrefna Kristmannsdóttir 1976: Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu. Viðauki. Lýsing jarðlaga. OSJHD-7642, 22 s.

Hrefna Kristmannsdóttir 1978: Ummyndun berggrunns á Kröflusvæðinu. Orkustofnun OSJHD-7854, 29 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðmundur Ómar Friðleifsson & Einar Gunnlaugsson 1976a: Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu. Borun, vatnsæðar, niðurstöður berggreininga. Orkustofnun OSJHD-7641, 22 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Margrét Kjartansdóttir, Ásgrímur Guðmundsson & Guðmundur Ó. Friðleifsson 1976 b: Krafla. Hola KJ-6. Borun, jarðlög, vatnsæðar og ummyndun. Orkustofnun, OSJHD-7646, 15 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson & Margrét Kjartansdóttir 1976 c: Krafla. Hola 7. Framvindu-skýrsla um borun, jarðlög, vatnsæðar og ummyndun. Orkustofnun, OSJHD-7647, 14 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson & Margrét Kjartansdóttir 1977 a: Krafla. Hola KJ-11. Borun, vatnsæðar, jarðlög og ummyndun. Orkustofnun, OSJHD-7708, 15 s.

- Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Margrét Kjartansdóttir & Guðmundur Ómar Friðleifsson 1977 b: Krafla. Hola KG-10. Borun, vatnsæðar, jarðlög og ummyndun. Orkustofnun, OSJHD-7709, 16 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson & Margrét Kjartansdóttir 1977 c: Krafla. Hola KJ-9. Borun, skoltöp, jarðlög og ummyndun. Orkustofnun, OSJHD-7710, 9 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Margrét Kjartansdóttir & Guðmundur Ómar Friðleifsson 1977 d: Krafla. Hola KG-8. Borun, vatnsæðar, þrýstiprófun, lektarprófun, jarðlög og ummyndun. Orkustofnun OSJHD-7713, 19 s.
- Hörður Svavarsson 1981: Forritin WATCH1 og WATCH3. Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Leiðbeiningar fyrir notendur. Orkustofnun, OS81007/JHD03, 70 s.
- Ingvar Birgir Friðleifsson 1973: Petrology and structure of the Esja Quaternary volcanic region, Southwest Iceland. Ph.D.thesis, Oxford University, 208 s.
- Jens Tómasson & Hrefna Kristmannsdóttir 1971: Greining á borholusvarfi frá Reykjanesi, greining á leirminerölum í borholusvarfi frá Reykjanesi. Orkustofnun, Jarðhitadeild, 110 s.
- Kristján Sæmundsson, Stefán Arnórsson, Karl Ragnars, Hrefna Kristmannsdóttir & Gestur Gíslason 1975: Krafla. Skýrsla um niðurstöður rannsóknarborana 1974. Orkustofnun, OSJHD-7506, 32 s.
- Kristmannsdóttir, H. & Tómasson J. 1974: Nesjavellir. Hydrothermal alteration in a high temperature area. Proc. Int. Symposium on Water-Rock Interaction, Prague: 170-177.
- Sigvaldason, G.E. 1963: Epidote and related minerals in two deep geothermal drillholes, Reykjavík and Hveragerði, Iceland. U.S. Geol. Surv. Profess. Papers. 450-E: 77-79.

- Stefánsson, V. & Steingrímsson, B. 1980a: Production characteristics of wells tapping two phase reservoirs at Krafla and Námafjall. Proc. 6th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Dec. 16-18 1980. Ed. Raney, H.J. & Kruger, P., Stanford: 49-59.
- Stefánsson C. & Steingrímsson B. 1980 b: Geothermal Logging. I. An introduction to techniques and interpretation. Orkustofnun, OS80017/JHD09, 117 s.
- Stefánsson, V. 1981: The Krafla geothermal field, Northeast Iceland. Í: Geothermal systems. Principles and case histories, ed. Ryback, L. & Muffler, L.J.P. John Wiley & Sons: 273-294.
- Valgarður Stefánsson, Hrefna Kristmannsdóttir & Gestur Gíslason 1977: Holubréf nr. 7. Orkustofnun JHD, 10 s.
- Valgarður Stefánsson 1980: Rannsóknir á háhitasvæðinu í Kröflu. Náttúrufræðingurinn, 50: 333-359.
- Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980 a: Sjá Stefánsson, V. & Steingrímsson, B. 1980 a.
- Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980 b: Sjá Stefánsson V. & Steingrímsson, B. 1982 b.
- Valgarður Stefánsson 1981: Sjá Stefánsson, V. 1981.
- Valgarður Stefánsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Gísli Karel Halldórsson, Halldór Ármannsson, Hjalti Franzson & Trausti Hauksson 1982: Krafla. Hóla KJ-13. Orkustofnun, OS82046/JHD06, 108 s.

V I Ð A U K I I

Aðferð Albrights til ákvörðunar
á jafnvægisstigi

VIÐAUKI I

KJ-14

Aðferð Albrights við ákvörðun á jafnvægishita

Ýmsar aðferðir hafa verið þróaðar til að reikna jafnvægishita (berghita) borhola út frá mældu hitastigi í holu á meðan hún er að hitna upp eftir borun. Öllum þessum aðferðum er það sameiginlegt að gert er ráð fyrir því að mælingin í borun og síðan upphitunin eftir hana stjórnist af láréttum varmaskiptum (varmaleiðni) milli holu og bergs. Aðferðirnar gilda því ekki ef rennsli af einhverju tagi (vökva-, gufu- eða gasstreymi) er í holunni.

Sú aðferð sem hér verður lýst var þróuð við boranir í heitt, þurrt berg í New Mexico (Albright 1976; Stefánsson & Steingrímsson 1980). Hefur aðferðin verið reynd nokkuð hérlendis undanfarin ár og gefið trúverðugar niðurstöður.

Einföld nálgun á upphitun borholu er að gera ráð fyrir því að upphitunarhraðinn á hverjum tíma sé í réttu hlutfalli við mismuninn á ótrufluðum berghita (jafnvægishiti) og hitastigi í holu eða

$$\frac{d\theta}{dt} = c \cdot (\theta_{\alpha} - \theta(t)) \quad (1)$$

Upphitunin fylgir þá jöfnunni

$$\frac{\theta_{\alpha} - \theta(t)}{\theta_{\alpha} - \theta_0} = e^{-c \cdot t} \quad (2)$$

þar sem

θ_{α} = jafnvægishiti (berghiti)

θ_0 = byrjunarhitastig í upphitun

$\theta(t)$ = hitastig við tímann t eftir að upphitun hófst

c = fasti

Ef ferill af þessu tagi er borinn saman við melda upphitunarferla kemur í ljós að nálgunin vikur nokkuð frá mældum ferlum og gefur t.d. of lágan jafnvægishita. Aðferð Albright er fólgin í endurbótum á ofangreindri nálgun. Gert er ráð fyrir að nálgunin gildi einungis fyrir tímaskeið sem eru stutt samanborin við upphitunartíma holunnar.

Fyrir tímaskeiðið i fæst þá jafnan

$$\frac{\theta_{\alpha}^i - \theta^i(t)}{\theta_{\alpha}^i - \theta_C^i} = e^{-c^i \cdot t} \quad (3)$$

þar sem tíminn t er mældur frá upphafi tímaskeiðsins i en ekki frá upphafi upphitunar holunnar.

Ef jafna (3) er leyst fyrir nokkur tímaskeið fást þör af (θ_{α}^i, C^i) -gildum, þar sem C^i -gildin stefna á núll, þegar holan nálgast hitajafnvægi, $(\theta_{\alpha}^{\infty})$. Ennfremur kemur fram línulegt samband milli θ_{α}^i og C^i . Það er því ekki nauðsynlegt að þekkja alla upphitunarsögu holunnar til að fá fram jafnvægishitann, heldur nægir að þekkja nokkur $\theta_{\alpha}^i - C^i$ gildi. Línuleg framlengin á $\theta - C$ grafi til $C = 0$ gefur þá jafnvægishitann.

Aðferð Albrights var upphaflega þróuð til að ákveða botnhita í holu sem var í borun. Tekið var borhlé og fylgst með upphitun í botni og reyndist unnt á innan við sólarhring að fá stöðuga lausn fyrir jafnvægishitann. Aðferðin gildir hins vegar ekki einungis í botni, hana má nota í upphitunarferla á hvaða dýpi sem er, ef ekki er streymi í holunni á viðkomandi dýpi. Mælitími lengist hins vegar til muna ef ákvarða á jafnvægishita ofarlega í holu vegna hægari upphitunar.

V I Ð A U K I II

Yfirlit yfir mælingar
í KJ-14

Krafla - KJ-14. Mælingar í borun og upphitun eftir borun.

Dags.	Hvað mælt	Dýptarbil	Ástand holu	Tilgangur mælinga	Ath.
80.07.22	Hiti, ΔT, CCL	0-220 m	Fóðrunard. Tap 0 l/s	Athugun á upphitun	Borgstangir niðri
80.07.22	" " "	0-222 m	Uppteikt lokið	" " "	
80.07.22	Vidd	0-222 m	" "	Almenn ákvörðun jarðl.	
80.07.22	Viðnám	0-222 m	" "	" " "	
80.07.22	n - n + nat. γ	0-222 m	" "	" " "	
80.07.22	γ - γ	0-222 m	" "	" " "	
80.07.22	Hiti, ΔT, CCL	0-190 m	Fóðrun lokið	Athugun á upphitun	
80.07.24	Hiti, VT, CCL	0-200 m	Steyptingu 13 3/8" lokið	" " "	Mælt 27 tímum eftir steypingar
80.07.26	Vidd	0-334 m	Tap > 19 l/s	Skápaathuganir	Óverulegir skápar
80.07.29	Hiti, ΔT, CCL	0-407 m	Bullandi tap	Athuganir á upph.& gastreymi.	
80.08.03	" " "	0-352 m	Steypt í 325 m	Athugun á upphitun	
80.08.03	Vidd	0-350 m	340 m og borað út	Skápaathuganir	Miklir skápar 270-335 m dýpi
80.08.04	"	200-338 m	Steypt í 290-350 m	"	Holan nokkuð útþvegin
80.08.07	Hiti, ΔT, CCL	0-450 m	Tap > 10 l/s	Staðsetning á leka	Leki á bilinu 395- m
80.08.07	Vidd	200-450 m		Skápaathuganir	Holan lítið útþvegin neðan 300 m dýpis
80.08.09	Hiti, ΔT, CCL	0-640 m	Tap > 25 l/s	Staðsetning leka	Leki ofan 425 m dýpis
80.08.09	" " "	0-690 m	Fóðringardýpi náð	Ath. á upphitun	Borstangir í holu
80.08.10	" " "	0-712 m	Uppteikt lokið	" " "	
80.08.10	Vidd	0-700 m	" "	Ákvörðun jarðlaga	
80.08.10	Viðnám	0-710 m	" "	" "	
80.08.10	Hiti, ΔT, CCL	0-712 m	" "	Ath. upphitun	
80.08.10	n - n + nat. γ	0-650 m	" "	Ákvörðun jarðlaga	
80.08.10	γ - γ	0-450 m	" "	" "	
80.08.10	Hiti, ΔT, CCL	0-712 m	" "	Ath. upphitun	
80.08.11	" " "	0-400 m	Þrepasteyptingu	" "	
80.08.11	γ - γ	0-400 m	9 5/8" fóðringar	Steypuborð	
80.08.11	CBL	0-400 m	lokið	"	Steypuborð í 298,4 m
80.08.11	Skotið 4 skotum	297,3-298,2 m		Að gata fóðurrörið	Tregt gegnumrennsli
80.08.11	" " "	295,3-296,2 m		" " F	
80.08.12	Hiti, ΔT, CCL	0-250 m	Steypt um göt	Upphitun	
80.08.12	γ - γ	0-250 m		Steypuborð	
80.08.12	CBL	0-250 m		Steypuborð	Steypuborð í 128 m
80.08.12	Skotið 10 skotum	126,5-128,5		Að gata fóðurrörið	
80.08.14	Hiti, ΔT, CCL	0-700 m	Fóðurrör steyp	Upphitun	
80.08.14	CBL	0-690 m	upp í topp	Steypugæði	Léleg steypa 405-445 m
80.08.14	"	0-690 m	" " "	"	
80.08.23	Hiti, ΔT, CCL	0-2085 m	Stangir niðri, dælt 4 l/s	Upphitun	
80.08.24	" " "	0-2083 m	" " dælt 30 l/s	"	
80.08.25	" " "	0-2082 m	" " " " "	"	
80.08.25	" " "	0-2080 m	12 tíma upphitun	"	Rennsli milli æða
80.08.25	" " "	0-2080 m	" Dælt 35 l/s	"	
80.08.26	" " "	0-2100 m	Uppteikt lokið	"	
80.08.26	Vidd	700-2100 m	" "	Ákvörðun jarðlaga	
80.08.26	Viðnám	700-2103 m	" "	" "	
80.08.26	n - n + nat. γ	710-2103 m	" "	" "	
80.08.26	γ - γ	700-1096 m	" "	" "	
80.09.08	Hiti (Amerada)	0-20808 m	Upphitun hófst 80.08.29	Eftirlit með upphitun	
80.09.09	" " "	0-500 m	" " "	Hiti við æð í 400 m	
80.09.10	" " "	0-1300 m	" " "	Upphitun	Mælir bilaði
80.09.10	Þrýstingur	0-2080 m	" " "	Vendipunktur þrýstings	
80.09.11	Hiti (Amerada)	0-2080 m	" " "	Upphitun	
80.09.17	" " "	0-2080 m	" " "	"	Holan komin undir þrýsting
80.09.17	Þrýstingur	0-2080 m	" " "	Vendipunktur þrýstings	
80.09.19	Hiti (Amerada)	0-2080 m	" " "	Upphitun	Mælt eftir blæðingu
80.09.20	" " "	0-2080 m	Blástur hófst 80.09.19	Marqslunginn	Hola lokið í mælingu
80.09.24	" " "	0-2080 m	" " "	" " "	" " " "

