



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**Valgarður Stefánsson  
Ásgrímur Guðmundsson  
Benedikt Steingrímsson  
Halldór Ármannsson  
Hjalti Franzson  
Ómar Sigurðsson  
Trausti Hauksson**

# **KRAFLA - HOLA KJ-13**

## **Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar**

**OS82046/JHD07  
Reykjavík, maí 1982**

**Unnið fyrir  
Rafmagnsveitur ríkisins -  
Kröfluvirkjun**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Valgarður Stefánsson  
Ásgrímur Guðmundsson  
Benedikt Steingrímsson  
Halldór Ármannsson  
Hjalti Franzson  
Ómar Sigurðsson  
Trausti Hauksson**

# **KRAFLA - HOLA KJ-13**

## **Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar**

**OS82046/JHD07  
Reykjavík, maí 1982**

**Unnið fyrir  
Rafmagnsveitir ríkisins -  
Kröfluvirkjun**



## ÁGRIP

---

Hola KJ-13 var boruð á tímabilinu 29. maí til 12. júlí 1980. Holan var fyrst og fremst boruð til að afla Kröfluvirkjun viðbótargufu fyrir veturninn 1980-81. Hún var því staðsett á þeim hluta Kröflusvæðisins sem þekktur var fyrir borunina. Fjallað er um þær rannsóknir og athuganir sem jarðhitadeild Orkustofnunar gerði á borholunni meðan á borun stóð og þar til holan var tengd við virkjunina.

Borun gekk yfirleitt vel, og þrátt fyrir 1064 m fóðringu tókst að steypa hana vel að lokum. Er það einkum að þakka því að nýrri mælitækni (cement bond log) var beitt við fóðrunina og að nýjum aðferðum (skjóta göt á fóðurrör) var beitt við steypingar. Holan var boruð í 2050 m dýpt og er hún nokkuð bein, mesta frávik botns er um 100 m frá lóðlinu.

Meginhluti jarðlaga er basalt og móberg, en neðan við 1000 m eru innskot mjög t. Þ. Flest þessara innskota eru basalt, en nokkur eru ísúr eða súr.

Neðan við steypa fóðringu voru ákvarðaðir 10 lekastaðir í holunni. Í blæstri virðist aðalæð holunnar vera á 1700 m dýpi.

Berghiti við holu KJ-13 fylgir mynstri um efra og neðra jarðhitakerfi. Ofan við 1000 m er hitastig um  $210^{\circ}\text{C}$ , en neðan 1100 m dýpi er hitastig hærra en  $300^{\circ}\text{C}$  og fylgir suðumarksferli. Þróustingur í neðra kerfinu fylgir mettunarferli, og er sá hluti kerfisins talinn í suðu.

Vatnsleiðni kringum holuna reyndist vera um  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Einnig er gerður samanburður á tveimur þrepamælingaraðferðum, annars vegar aðferð Jacobs og hins vegar aðferð þar sem tímaverlar eru notaðir. Niðurstaðan varð sú að aðferðirnar væru mjög sambærilegar. Einnig er gerð athugun á svörun milli afls borhola og vatnsleiðni sem fundin er með þrepamælingum. Er þar fundið að þessi samsvörun er góð, ef þess er gætt að miða aflið alltaf við sama varmainnihald rennslis. Einnig er fundið að einrætt samband er milli breytinga á rennsli og varmainnihaldi borholuvökva með tíma í borholum sem vinna úr sjóðandi jarðhitageymi. Er talið að hlutfallsleg leiðni vatns og gufu stjórni þessu sambandi.

Styrkur uppleystra efna í borholurennslí fór minnkandi með tíma, enda þróaðist rennsli fljótlega í það að vera þurr gufa. Hins vegar eykst styrkur klórs samhliða því að gufuhluti eykst. Er talið að klórinn stafi af flutningi klórvetnis með gufufasa. Einnig er í rennsli holunnar óeðlilega mikið af járni. Veruleg tæringarhætta er því samfara rekstri holunnar. Í gufunni er um 1,3% af gasi.

Verulegur samgangur er fundinn milli hola KJ-7 og KJ-13. Báðar holurnar eru nokkuð erfiðar í rekstri, og koma þar til bæði járnútfellingar og tæringarhætta. Kemur því mjög til álita að nota aðra holuna sem niðurdælingarholu. Helsti ávinnungur af því er talinn vera sá að gas kemur til með að minnka í hinni holunni. Þannig dregur úr rekstrarerfiðleikum við þá holu.

## EFNISYFIRLIT

|   | Bls. |
|---|------|
| ÁGRIP .....   | 3    |
| EFNISYFIRLIT .....  | 5    |
| TÖFLU- OG MYNDASKRÁ .....                                 | 6    |
| 1 INNGANGUR .....   | 9    |
| 2 FRAMVINDA BORUNAR .....                                 | 12   |
| 2.1 Borun fyrir 13 3/8" fóðringu .....                    | 12   |
| 2.2 Fóðrun og steyping 13 3/8" fóðringar .....            | 13   |
| 2.3 Borun fyrir 9 5/8" fóðringu .....                     | 15   |
| 2.4 Fóðrun og steyping 9 5/8" fóðringar .....             | 17   |
| 2.5 Borun vinnsluhluta holunnar .....                     | 22   |
| 2.6 Borlok .....  | 22   |
| 2.7 Mælingar á bortíma .....                              | 23   |
| 3 JARÐLAGASKIPAN OG UMMYNDUN .....                        | 26   |
| 3.1 Aðferðir við gerð jarðlagasniðs .....                 | 26   |
| 3.1.1 Greining á jarðögum .....                           | 26   |
| 3.1.2 Mælingar á eðliseiginleikum jarðлага .....          | 36   |
| 3.2 Jarðlagaskipan .....                                  | 39   |
| 3.2.1 Lýsing jarðлага .....                               | 40   |
| 3.2.2 Jarðlagamyndanir .....                              | 50   |
| 3.3 Ummyndun .....  | 54   |
| 3.3.1 Greiningaraðferðir og uppbygging ummyndunarsniðs .. | 54   |
| 3.3.2 Dreifing ummyndunarsteinda og beltaskipting .....   | 55   |
| 4 EBLISÁSTAND JARDHITAKERFIS .....                        | 58   |
| 4.1 Vatnsæðar .....                                       | 58   |
| 4.2 Hitastig .....  | 61   |
| 4.3 Þrýstingur .....                                      | 62   |
| 4.4 Vatnsleiðni .....                                     | 66   |
| 5 BLÁSTUR .....   | 81   |
| 5.1 Varmainnihald og rennsli .....                        | 81   |
| 5.2 Efnasamsetning vatns og gufu .....                    | 85   |
| 6 VINNSLUEIGINLEIKAR HOLU KJ-13 .....                     | 92   |
| HEIMILDASKRÁ .....  | 94   |
| VIÐAUKI: Yfirlit um mælingar í KJ-13 .....                | 97   |

## TÖFLUSKRÁ

---

|   | Bls. |
|---|------|
| 1 Krafla KJ-13, fóðringar og holudýpt .....   | 12   |
| 2 Hallamælingar í borun KJ-13 .....   | 24   |
| 3 Vatnsæðar í holu KJ-13 .....  | 59   |
| 4 Þrepadæling í holu KJ-13 .....  | 70   |
| 5 Framreiknað rennsli með 2700 kJ/kg varmainnihaldi úr borholum<br>í Kröflu og Námafjalli ..... | 78   |
| 6 Aflmælingar á holu KJ-13 .....  | 82   |
| 7 Efnainnihald í renni holu KJ-13 .....   | 86   |
| 8 Efnainnihald - Vatn og gufa við 325°C í KJ-13 .....   | 86   |
| 9 Krafla KJ-13. Hlutföll efna í heildarrennsli .....  | 88   |
| 10 Efnahlutföll í vökva holu KJ-13 fyrir og eftir viðbót,<br>og í hugsanlegu blandi .....       | 90   |

## MYNDASKRÁ

---

|  |    |
|--|----|
| 1 Afstöðumynd er sýnir staðsetningu holu KJ-13 .....   | 10 |
| 2 Magn af háþrystigufu og gas í gufu frá borholum á Kröflusvæði.   | 11 |
| 3 Mælingar á steypu í KJ-13. 13 3/8" fóðurrör .....  | 14 |
| 4 Mælingar á hita og vidd KJ-13 þegar holudýpt var 470 m .....   | 16 |
| 5 Mælingar á steypu í KJ-13 við 9 5/8" fóðringu. Dýptarbil<br>100-330 m .....                                    | 19 |
| 6 CBL-mælingar eftir steypingu á 9 5/8" fóðurröri í KJ-13.<br>Dýptarbil 350-600 m .....                          | 20 |
| 7 Gamma-gamma og neutron-neutron mælingar eftir steypingu<br>9 5/8" fóðurrörs í KJ-13. Dýptarbil 350-600 m ..... | 21 |
| 8 KJ-13. Hámarksfrávik frá lóðlinu .....   | 24 |
| 9 KJ-13. Skoltap í borun neðan við fóðringu .....  | 25 |
| 10 KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 0-250 m ..  | 27 |
| 11 " " " Dýptarbil 250-500 m. ..   | 28 |
| 12 " " " Dýptarbil 500-750 m. ..   | 29 |
| 13 " " " Dýptarbil 750-1000 m ..   | 30 |

|   | Bls. |
|---|------|
| 14 KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 1000-1250 m  | 31   |
| 15 " " " Dýptarbil 1250-1500 m  | 32   |
| 16 " " " Dýptarbil 1500-1750 m  | 33   |
| 17 " " " Dýptarbil 1750-2000 m  | 34   |
| 18 " " " Dýptarbil 2000-2050 m  | 35   |
| 19 Uppsetning mælitækja við viðnámsmælingar í borholum .....  | 37   |
| 20 Einfaldað jarðlagasnið, jarðlagamyndanir og dreifing ummyndunarsteinda í KJ-13 .....   | 41   |
| 21 Hiti og þrýstingur í KJ-13 meðan á upphitun stóð .....   | 63   |
| 22 Hitamæling í KJ-13 .....   | 63   |
| 23 Liklegur berghiti í KJ-13 .....  | 64   |
| 24 Liklegur þrýstingur á vatnsæðum í KJ-13 .....  | 64   |
| 25 Þrýstingsmælingar í KJ-13 .....  | 65   |
| 26 Ádæling í þrepum á KJ-13 þann 10.07.80 .....   | 68   |
| 27 Niðurdráttur í KJ-13 eftir ádælingar þann 10.07.80 .....   | 68   |
| 28 Ádæling í þrepum á KJ-13 þann 11.07.80 .....   | 69   |
| 29 Niðurdráttur í KJ-13 eftir ádælingar þann 11.07.80 .....   | 69   |
| 30 Vatnsborð í KJ-12 og KJ-13 við-þrepidælingar .....   | 70   |
| 31 Samband vatnsleiðni T og línulegs niðurdráttarstuðuls B .....  | 72   |
| 32 Rennsli og varmainnihald KJ-13 sem fall af tíma .....  | 73   |
| 33 Samband varmainnihalds og heildarrennslis úr KJ-13 .....   | 74   |
| 34 Kennilínur borhola í Kröflu og Námafjalli í Q-h plani .....  | 77   |
| 35 Krafla-Námafjall. Samband milli vatnsleiðni T, mældrar með þrepidælingum, og framreiknaðs rennslis með 2700 kJ/kg varmainnihaldi ..... | 79   |
| 36 Krafla-Námafjall. Samband milli línulegs niðurdráttarstuðuls B og framreiknaðs rennslis með 2700 kJ/kg varmainnihaldi .....            | 79   |
| 37 Rennsli úr KJ-13 .....   | 83   |
| 38 Krafla KJ-13. Styrkur í renni .....  | 83   |
| 39 Krafla KJ-13. Styrkur í renni .....  | 87   |
| a) Kísill og uppleyst efni  |      |
| b) Natrium, kalium, súlfat, klór  |      |
| c) Kalsium, flúor   |      |

|   | Bls. |
|---|------|
| 40 Krafla KJ-13. Styrkur i renni .....  | 87   |
| a) Koldíxið   |      |
| b) Brennisteinsvetni  |      |
| c) Vetni  |      |
| 41 Krafla KJ-13. Hlutföllin Na/Cl, Na/K, H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> /SO <sub>4</sub> | 89   |
| 42 Krafla KJ-13. Hlutföllin Na/Ca, Na/SO <sub>4</sub> , Ca/SO <sub>4</sub> , Ca/FXX2,<br>Uppl.e/SiO <sub>2</sub> .....                        | 89   |

1 INNGANGUR

---

Hola KJ-13 í Kröflu var boruð á tímabilinu 29. maí til 12. júlí 1980. Staðsetning holunnar er sýnd á mynd 1. Kjallarabréður er í um 505 m hæð yfir sjó, en holan var boruð í 2050 m dýpt. Meðan á borun stendur er dýpt miðuð við drifborð á Jötni, en eftir borun við aðalflangs. Drifborð Jötuns var 7,5 m ofan við aðalflangs.

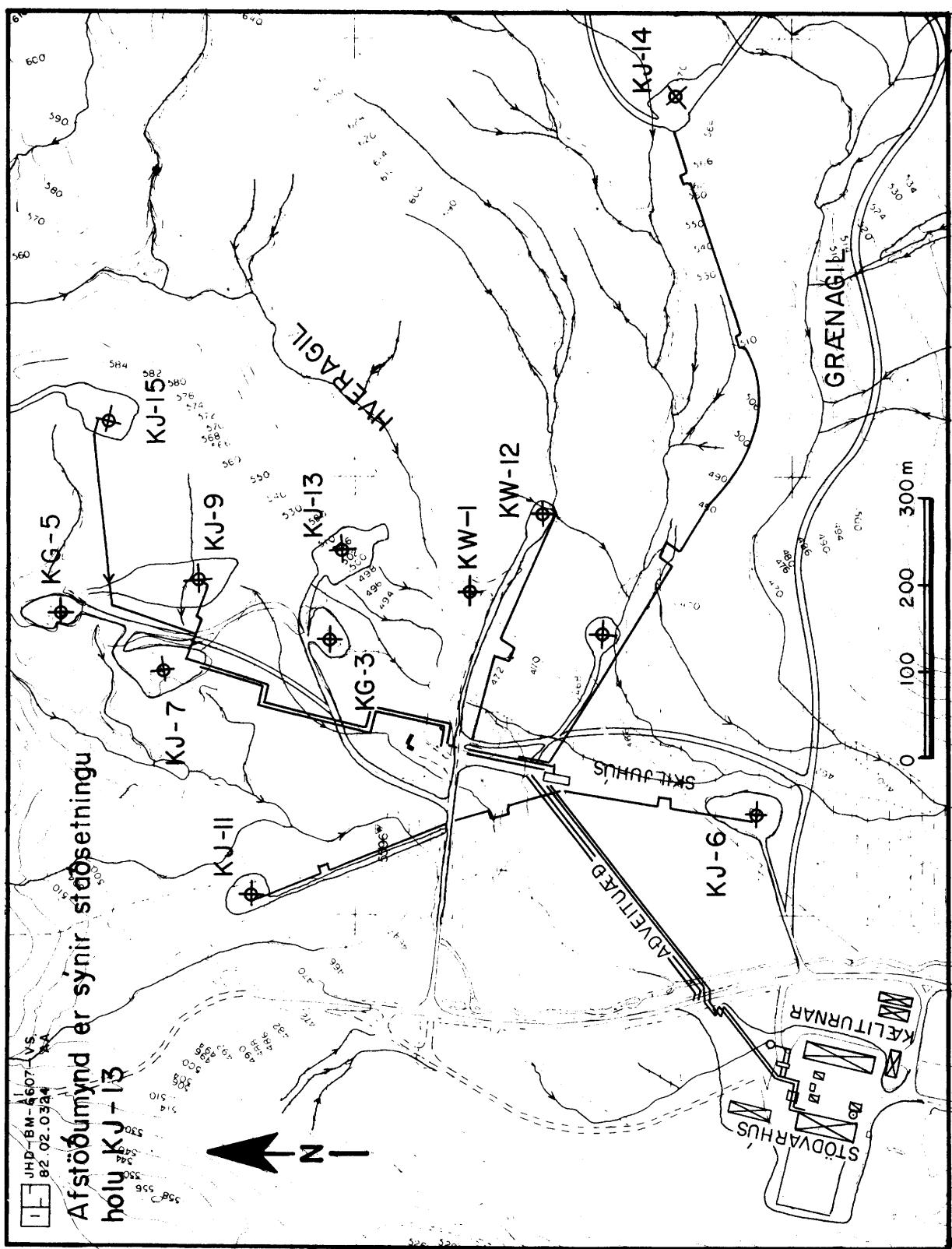
Tilgangur borunar var fyrst og fremst að afla Kröfluvirkjun viðbótargufu fyrir veturinn 1980-81. Holan var því staðsett á þeim hluta svæðisins sem þekktur var fyrir borun (Valgarður Stefánsson 1980 a). Við staðsetningu holunnar var einkum tekið mið af tvennu:

- a) Magni háþrystigufu úr fyrri borholum
- b) Styrk gass í gufu úr fyrri borholum

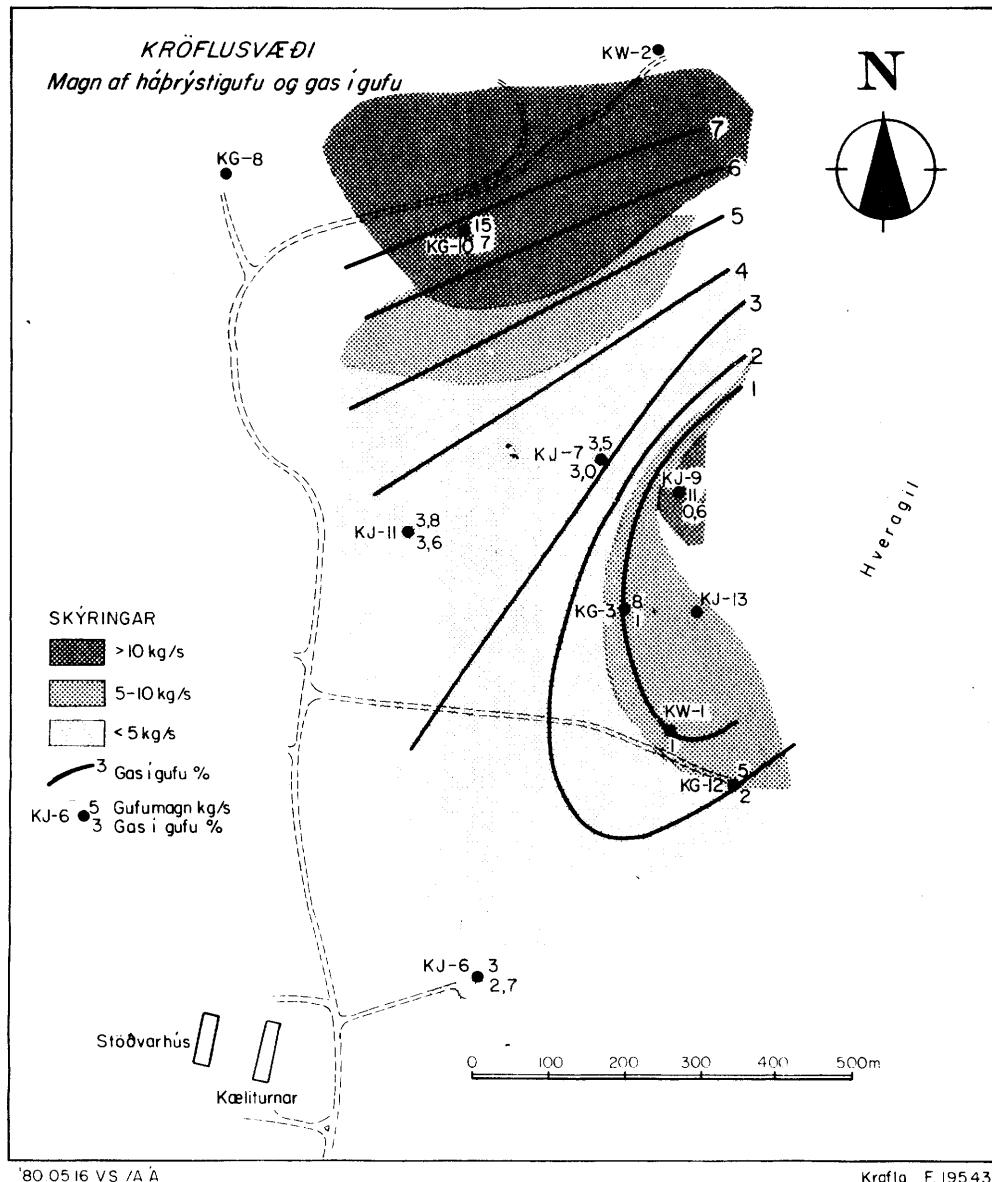
Mynd 2 sýnir hvernig málum er háttar á gamla borsvæðinu um þessi atriði, og skýrir staðsetningu KJ-13.

Í þessari skýrslu er fjallað um þær rannsóknir og athuganir sem jarðhitadeild Orkustofnunar gerði á borholunni meðan á borun stóð og þar til holan var tengd. Í kafla 2 er lýst framvindu borunar. Kafli 3 fjallar um jarðlög, sem holan sker, og ummyndun þeirra. Greint er all ítarlega frá þeim aðferðum sem notaðar eru við gerð jarðlagasniðs. Í kafla 4 er eðlisástandi jarðhitakerfisins lýst. Um efnasamsetningu vatns og gufu úr KJ-13 er fjallað í 5. kafla, og í 6. kafla er að lokum gerð grein fyrir vinnslu-eiginleikum holunnar.

Skýrslan var samin fyrri hluta árs 1981. Í henni er því ekki tekið tillit til þeirra upplýsinga sem boranir í Kröflu sumarið 1981 gáfu. Rannsóknirnar voru gerðar fyrir Rafmagnsveitunum ríkisins, Kröfluvirkjun.



MYND 1 Afstöðumynd er sýnir staðsettningu hólu KJ-13.



MYND 2 Magn af háprýstigufu og gas í gufu frá borholum á Kröflusvæði

2 FRAMVINDA BORUNAR

Í þessum kafla er lýst framkvæmd borunar og þeim hliðaraðgerðum sem tengjast borun. Einstökum verkþáttum er lýst í undirköflum.

Tafla 1 sýnir stærð og dýpi fóðringa í holunni svo og holudýpt.

TAFLA 1 KJ-13. Fóðringar og holudýpt

| Bortæki<br>Teg. fóðringar       | Þvermál<br>mm | Tommur | Áætlað<br>dýpi í m | Dýpi miðað við<br>drifborð Jötuns, m | Dýpi miðað við<br>holuflangs, m |
|---------------------------------|---------------|--------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Höggbor<br>höggborsfóðring      | 559           | 22     | Allt að 60         |                                      |                                 |
|                                 | 473           | 18 5/8 | - " -              |                                      |                                 |
| Jötunn, króna<br>öryggisfóðring | 444           | 17 1/2 | Allt að 300        | 285                                  | 277,5                           |
|                                 | 340           | 13 3/8 | - " -              | 284                                  | 276,5                           |
| Jötunn, króna<br>vinnslufóðring | 311           | 12 1/4 | Allt að 1100       | 1068,5                               | 1061                            |
|                                 | 244           | 9 5/8  | - " -              | 1064,5                               | 1057                            |
| Jötunn, króna<br>leiðari        | 216           | 8 1/2  | Allt að 2000       | 2050                                 | 2042,5                          |
|                                 | 194           | 7 5/8  | - " -              |                                      |                                 |

### 2.1 Borun fyrir 13 3/8" fóðringu

Að morgni fimmtdagsins 29. maí hófst borun holu KJ-13 með jarðbornum Jötni. Notuð var 444 mm (17 1/2") króna. Áður hafði verið borað niður á 70 m með 559 mm (22") meitli, og Höggbor IV notaður. Fóðrað var með 473 mm (18 5/8") fóðurrörum og síðan steypt.

Jötunn kom niður á steypu í 68 m, en í 71,4 m tapaðist allt skolvatn. Steypt var samdægurs úr 80 skjóðum (1 skjóða = 50 kg sementspoki) og þétti það lekann. Eftir að steypa hafði verið boruð út var gel blandað og borun haldið áfram. Litlu neðar eða í 82 m dýpi kom annar leki, 15 l/s, og tapaðist þar allt gelið. Þá var steypt úr 80 skjóðum, en ekki þéttist lekinn við það og var því steypt á ný með sama magni og áður. Holan var nú aftur orðin þétt og borun með geli haldið áfram.

Rétt fyrir hádegi þann 4. júní var dýpið orðið 285 m en þar var stoppað og tekin ákvörðun um að fóðra. Að lokinni skolun og upptekt voru gerðar mælingar á hitastigi, holuviðd og jarðlagaskipan.

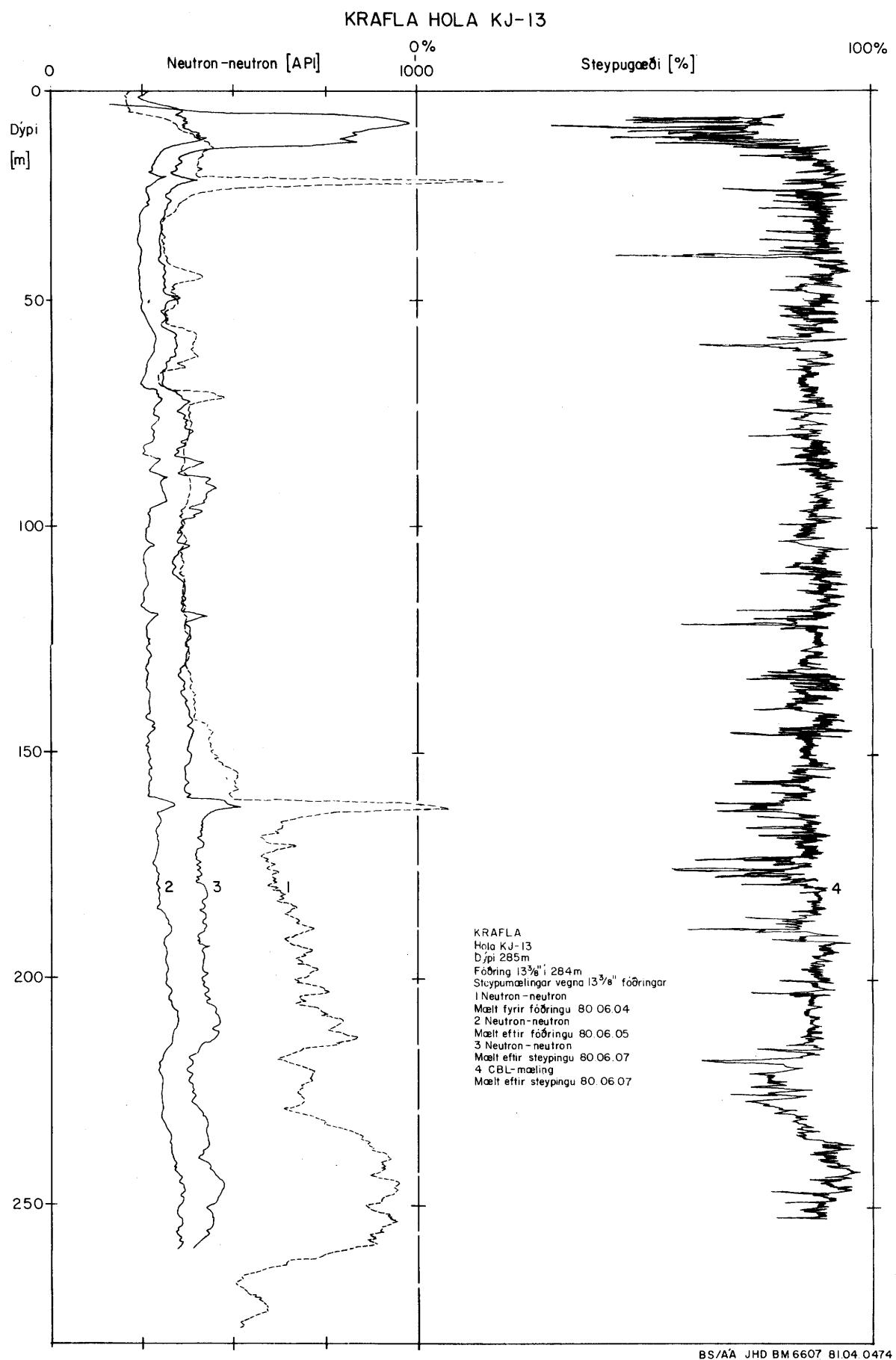
## 2.2 Fóðrun og steyping 13 3/8" fóðringarinnar

Undir miðnætti 4. júní var allt tilbúið til að fóðra. Sett voru niður 340 mm (13 3/8") fóðurrör, skrúfuð. Fóðurkörsendi náði niður í 284 m. Fóðringu lauk undir morgun þann 5. júní. Að henni lokinni var mælt í holunni hitastig, "cement bond log" (CBL-mæling) og poruhluti (neutron-neutron). Tilgangur mælinganna var að kvarða tækin á ósteyptu röri til að geta ákveðið steypugæðin betur að steypingu lokinni. Er þetta algengasti framgangsmáttinn við notkun CBL-mælinga. Poruhlutamæling var hins vegar gerð í tilraunaskyni til að fá úr því skorið hvort hún væri nýtileg til ákvörðunar á steypu.

Að mælingum loknum voru borsköft sett niður í holuna. Eftir nokkra erfið-leika við að tengja þau við flotskó niðri í holu var holan kæld og var hún tilbúin til steypingar seinni hluta sama dags. Sementsbilar frá Sementsverksmiðju ríkisins voru fengnir til að blása sementinu í sílóið. Þegar steypingin hafði staðið yfir í 10 mín. var ljóst að sementið var of kekkjótt til þess að hægt væri að nota það. Var því öllu dælt upp úr holunni, en það voru um 10 tonn af sérpöntuðu hollensku gæðasementi, sem fóru til spillis. Um kvöldið og næstu nótt unnu bormenn og starfsmenn Kröfluvirkjunar saman við að sigta sementið.

Seinni hluta nætur þann 6. júní var send steypudæla úr Svartsengi frá Gufubor og kom hún á staðinn um kvöldmatarleytið. Rétt fyrir miðnætti var tilbúið til steypingar á nýjan leik. Steypingin stóð yfir í 35 mín. og tókst vel. Eðlisþungi blöndunnar var  $1,72 \text{ g/cm}^3$ . Steypa seig 9 m niður fyrir kjallarabotn, en sá kafli var steyptur upp kvöldið eftir.

Alls voru notuð 30 tonn af hollensku "G" sementi (sement blandað kísilgúr, betoníti og perlusteini) og til viðbótar fóru 750 kg í frágangssteypingu ofanfrá.



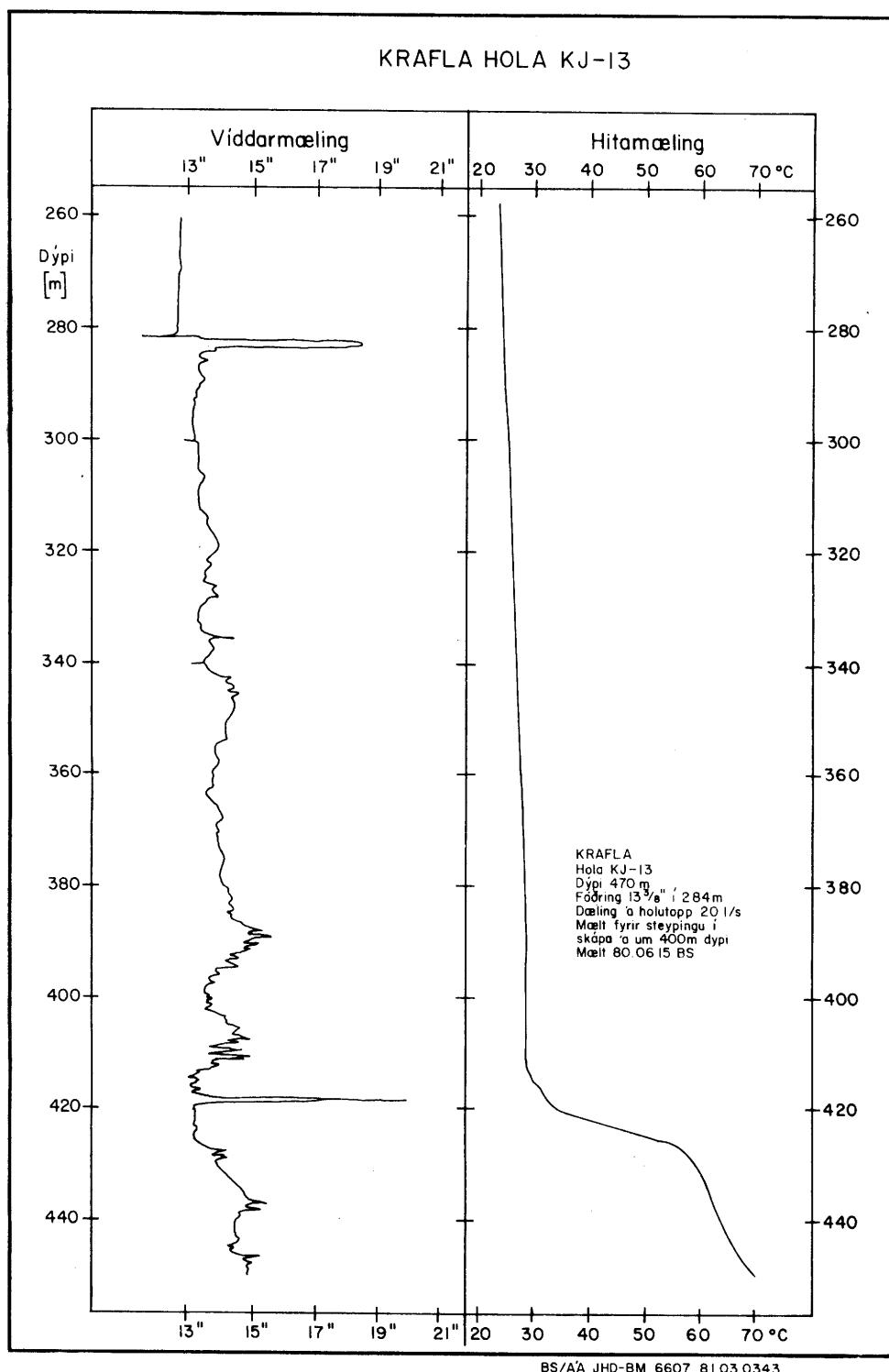
MYND 3 Mælingar á steypu í KJ-13. 13 3/8" fóðurrör

Litlu fyrir kvöldmat þann 7. júní var lokið við að ganga frá flangsi á holutoppi. Siðan var steypan mæld með cement bond log og poruhlutamælingu. Eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 3. Sýnir CBL-mælingin að steypan er góð á bak við fóðringuna. Samanburður á poruhlutamælingunum fyrir og eftir steypingu sýnir að mæliniðurstöður eru háðar því hvort fóðringin er steypt eða ekki. Næmni þeirra er hins vegar mun lakari en CBL-mælingu og getur poruhlutamæling því seint komið í stað CBL-mælingu.

### 2.3 Borun fyrir 9 5/8" fóðringu

Sunnudaginn 8. júní kl. 18:30 hófst borun fyrir vinnslufóðringu, en frá því að steypumælingu lauk hafði tíminn farið í uppsetningu öryggisloka. Borað var með geli, sem áður, og gekk borun vel niður í 384 m dýpi en þá tapaðist allt skol. Fram að 14. júní voru gerðar margar þétttingatilraunir, sem voru í því fólgnar að dæla niður sementi blönduðu ýmis konar þéttiefnum svo sem sagi, spónum, kókoshnetubrotum, plaströrum o.fl. Alls voru notaðar 520 sementsskjóður og milli steypinga voru boraðir fáeinir metrar. Aðfaranótt 14. júní var holan víddarmæld. Fyrir mælinguna hafði verið steypt í holuna og mældist botn því aðeins í 385 m. Mælingin sýndi skáp undir fóðurröri að venju en að öðru leyti var holan án útvíkkunar.

Vegna þunga leðjunnar var fallið frá að nota hana og var borað með vatni. Næst var borað niður í 470 m og töpuðust stöðugt 13 l/s á þeim kafla. Þá var borun stöðvuð, tekið upp, og holan hita- og víddarmæld, en dælt á hana 20 l/s á meðan. Mælingarnar eru sýndar á mynd 4. Af hitamælingunni sést að lekinn var í u.b.b. 420 m, en þar fyrir neðan var holan þétt. Í víddarmælingunni kom fram að við lekastaðinn var holan um 20" í þvermál, og allur kaflinn frá 385 m í 450 m var meira og minna útbæginn. Var því tekin ákvörðun um að steypa í holuna. Steypt var úr 200 skjóðum, en tæpar tvær skjóður fylla hvern dýptarmeter í 311 mm (12,25") viðri holu. Eftir það var borað sleitulaust niður í 1046 m og skolað með vatni. Skolatap var breytilegt frá 1,8 l/s í 4 l/s. Þegar komið var niður í 1046 m þótti sýnt að borkrónan væri orðin það slitin að ástæða væri til að taka upp og skipta um (krónu), sem og var gert. Við það tvöfaltaðist borhraðinn. Þegar komið var niður í 1060 m var farið að leita eftir góðu bergi til að fóðra í. Í 1068 m var verið að bora í hraunlag er virtist vera gott fyrir fóðurrörsenda, en þá missti holan vatnið, 30 l/s. Mjög þótti ótrúlegt



MYND 4 Mælingar á hita og viðd KJ-13 þegar holudýpt var 470 m

að þessi leki kæmi inn í botni, og þótti líklegra að sá gamli í 420 m hefði opnast á ný. Úr því mátti skera með hitamælingu. Látið var renna í holuna utan með stöngum 23 l/s á meðan mælt var. Niðurstöður mælingarinnar og annarra hitamælinga, sem gerðar voru eftir að ráðist var í fóðringu, voru þær, að lítið væri um leka í holunni neðan 450 m dýpis og að neðan 1010 m dýpis væri holan alveg þétt. Í fyrstu var gengið út frá því að aðallekinn i holunni væri í 400-420 m. Séu mælingarnar hins vegar skoðaðar nákvæmlega, kemur í ljós að auk þess var verulegur leki í u.p.b. 300 m dýpi, sem skv. mælingum gæti jafnvel verið enn stærri en lekinn í 400-420 m. Tekið skal fram að enginn leki kom fram í borun á 300 m dýpi. Að hitamælingu lokinni var tekin ákvörðun um að fóðra holuna með 9 5/8" fóðringu. Tekið var upp úr holunni og hún síðan mæld samkvæmt áætlun.

#### 2.4 Fóðrun og steyping 9 5/8" fóðringar

Mælingum lauk upp úr hádegi 22. júní og var þá tekið til höndum við fóðringuna. Sett voru niður 244 mm (9 5/8") rör skrúfuð saman og fór fóðurrörsendi niður á 1064,5 m dýpi. Prepasteypingarstykki var komið fyrir á 368 m. Að þessu loknu var holan mæld með cement bond log, því næst haldið áfram kælingu og reynt að þétta lekann. Margvisleg þéttiefni voru notuð og hefur áður verið minnst á þau. Þrátt fyrir langvinna baráttu frá kvöldmat mánuðaginn 23. júní fram yfir hádegi daginn eftir tókst ekki að minnka lekann nema niður í 24 l/s.

Klukkan 17:00 byrjaði prepasteypingin og var lokið tveimur og hálfbum tíma síðar. Fyrst var steupt frá botni úr 43 tonnum af hollensku G sementi og síðan dælt 29 tonnum af sams konar sementi í gegnum prepasteypingarstykki. Hvorki steypa né vatn komu upp í steypingunum, þrátt fyrir að "körfum" væri komið fyrir til að hindra að steypa sigi niður (körfudýpi voru 266,5 m, 375 m og 510,5 m).

Pann 25. júní eftir að steypa hafði fengið að harðna var mælt hitastig og cement bond log. Var steypa innan í rörum á 347 m dýpi og því ekki mælt dýpra. Utan röra reyndist vera þokkaleg steypa á því dýpi og upp í um 285 m en þar versnar steypan allverulega. Steypuborð mældist á 252 m dýpi. Mælingin er sýnd á mynd 5 (mæling A). Eftir að steypuborð hafði verið ákvarðað voru skotin göt á fóðringuna þar. Skotið var 12 skotum (6 göt) í dýptarbilið 250,0 m - 252,4 m.

Síðan var fóðringin steypt upp frá götunum og upp í topp og voru notuð í það 12 tonn af portland sementi. Eðlisþyngd steypunnar var um  $1,80 \text{ g/cm}^3$  og kom hún álika þykk upp.

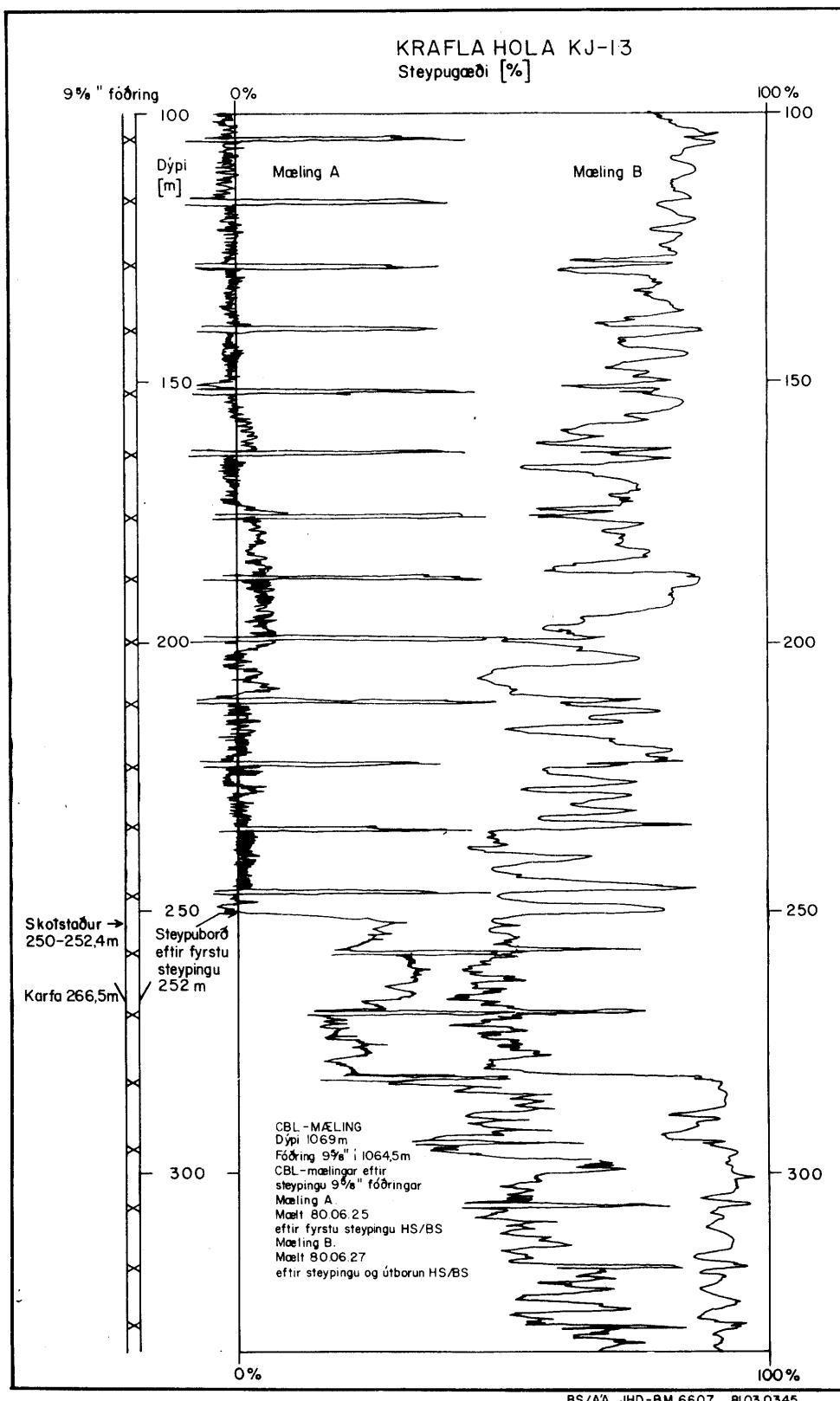
Þegar skrúfa átti í stundur efsta rörið, fór næsta rör fyrir neðan punktsuðu á gengjum í sundur, á um það bil 70 m dýpi. Ekki var öruggt hvort skrúfaðist saman á ný og voru því mælingamenn kvaddir á staðinn til að þreifa fóðurrör að innan og CBL-mæla. Ekkert óeðlilegt kom fram í mælingunum og seinna kom í ljós að allt var eins og það átti að vera. Efsta rörið var svo skrúfað af eins og til stóð, gengið frá holutoppsútbúnaði og gert klárt til borunar.

Um kvöldið fimmtdaginn 26. júní var byrjað að bora út steypu og þá tappa, sem í fóðurrörinu voru. Farið var niður á 1045 m, en þá tekið upp og undirbúið fyrir steypumælingar.

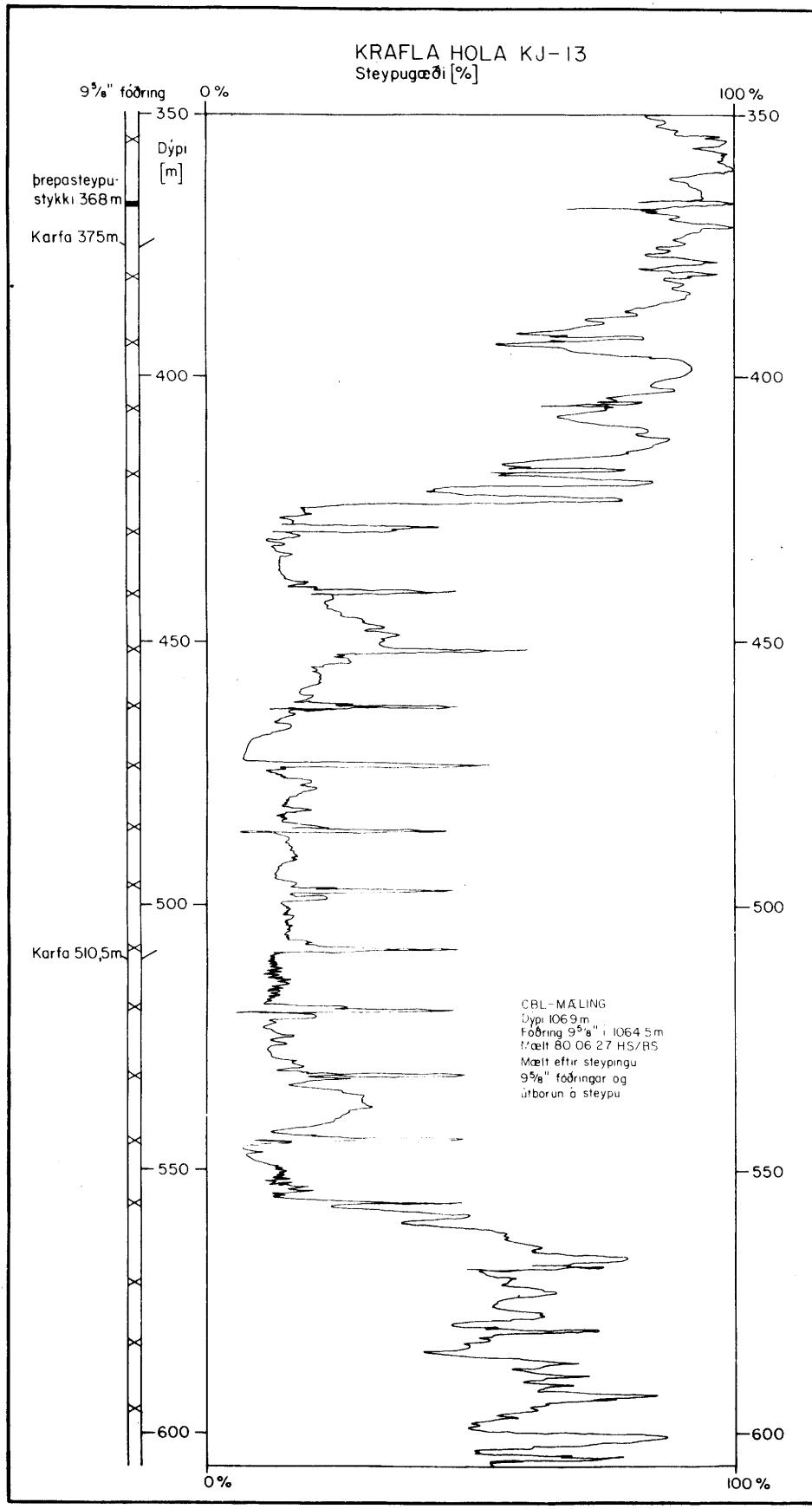
Fyrst var hitamælt og síðan CBL-mælt (cement bond log). Farið var niður í 650 m með CBL-mælinguna. Þar fyrir neðan var hiti of hár fyrir CBL-tækið. Meginniðurstöður CBL-mælingarinnar eru sýndar á mynd 5 (mæling B) og mynd 6. Á mynd 5 er dýptarbilið 100-340 m. Neðan 252 m dýpis er gott samræmi við mælinguna, sem gerð var til að ákvarða steypuborð eftir fyrstu steypingu, en greinilegt er að steypan hafði ekki náð fullum styrkleika, þegar eldri mælingin var gerð. Enginn vatnstappi er sýnilugur á móts við skotstaðinn og er steypan góð frá 252 m upp í topp, þótt gæðin séu nokkuð breytileg. Efstu hundrað metrarnir eru ekki sýndir á myndinni.

Mynd 6 sýnir dýptarbilið 350-610 m. Kemur þar fram mjög illa steyptur kafli, sem nær frá 425 m allt niður í 560 m dýpi en góð steypa er annars staðar. Samkvæmt mælingum er einhver steypa á bak við rörið á þessum kafla og áberandi steypukekkir koma fram t.d. á 440-460 og 535-545 m dýpi.

Við borlok voru gerðar poruhluta- (neutron-neutron) og eðlisþungamælingar (gamma-gamma) í fóðurrörinu til að kanna betur steypuna á 425-560 m dýpi. Mælingarnar eru sýndar á mynd 7. Niðurstöður poruhlutamælingarinnar eru mjög óljósar og verður ekki fjallað um þær frekar hér. Niðurstöður eðlisþungamælingarinnar (gamma-gamma) eru hins vegar áberandi líkar niðurstöðum

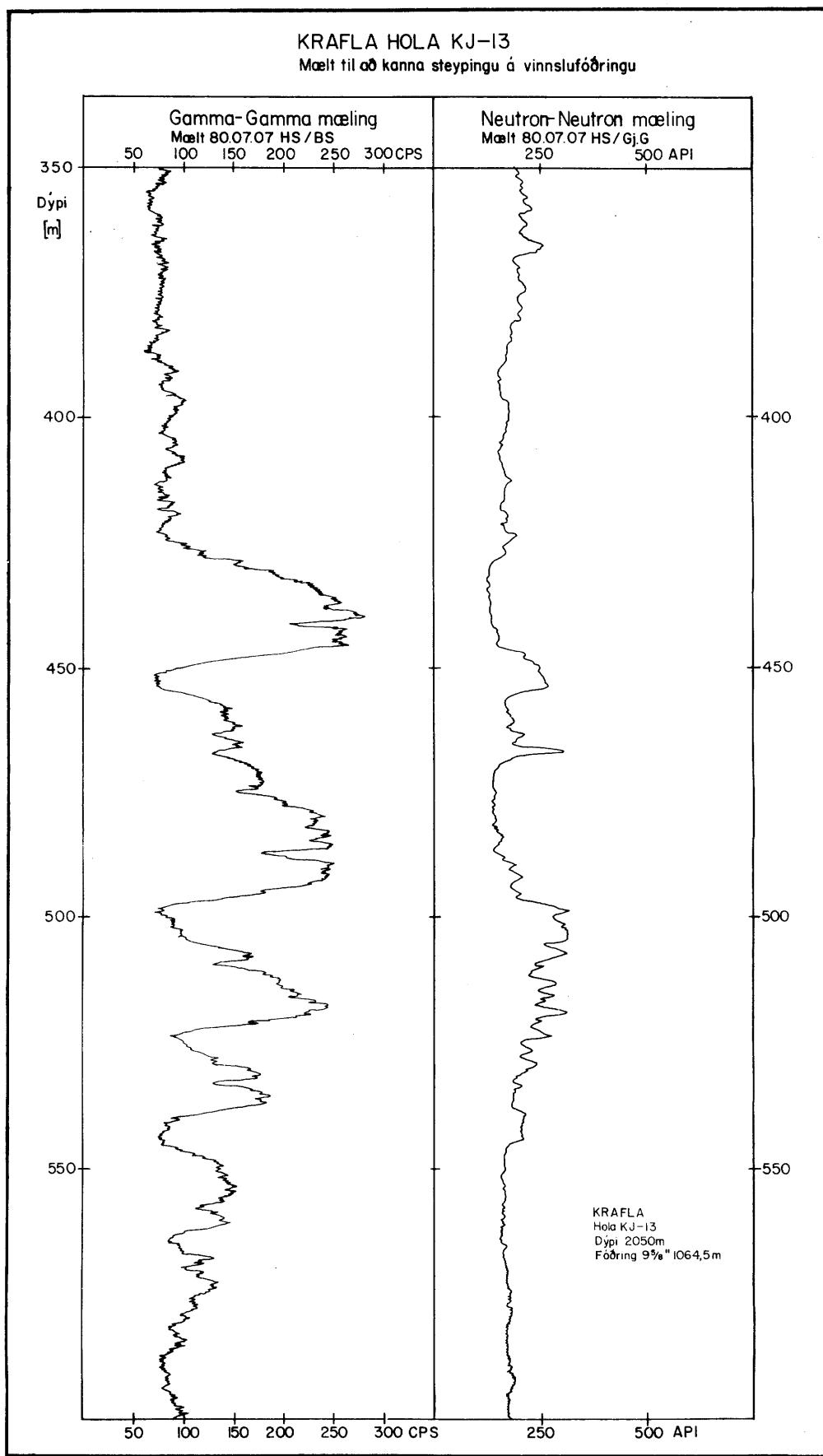


MYND 5 Mælingar á steypu í KJ-13 við 9 5/8" föðringu. Dýptarbil 100-330 m



BS/AA JHD-BM 6607 BI 03 0344

MYND 6 CBL-mæling eftir steypingu á 9 5/8" fóðurröri í KJ-13.  
Dýptarbil 350-600 m



MYND 7 Gamma-gamma og neutron-neutron mælingar eftir steypingu 9 5/8"  
fóðurrörs í KJ-13. Dýptarbil 350-600 m

CBL-mælingarinnar. Ofan 425 m fæst beinn ferill (60-80 cps) og eins neðan 560 m dýpis allt niður að fóðurrörsenda. Á bilinu 425-560 m eru mæligildin hins vegar frá 60-80 cps (góð steypa) allt upp í 250-300 cps (léleg steypa).

Ef teknar eru saman niðurstöður CBL-mælinganna og gamma-gamma mælingarinnar verður steypingin á fóðurrörinu eftirfarandi: Góð steypa er á bak við fóðurrörið frá fóðurrörsenda upp í 560 m og frá 425 m upp í topp. Á kaflanum 560-425 m er trúlega alls staðar einhver steypa á bak við fóðurrörið, en gæði hennar eru mjög mismunandi. Á grundvelli þessa er líklegast að neðra þrepið í fyrstu steypingu hafi náð allt upp í æðina á 400-420 m dýpi en steypan hafi síðan sigið til baka. Efra þrepið hafi síðan náð frá æðinni og upp í 252 m.

## 2.5 Borun vinnsluhluta holunnar

Um miðnætti föstudagsins 27. júní var tappinn í fóðurrörsendanum boraður út og borun vinnsluhluta holunnar hafinn. Þegar komið var niður í 1786 m dýpi varð vart við þrýstifall á dælum. Þótti líklegast að gat væri komið á stöng og því var tekið upp. Á 22. standi, þ.e. þegar liðlega 600 m af stöngum voru komnar upp, kom í ljós rifa á stöng, sem náði yfir 1/3 af ummáli hennar. Stöngin var tekin úr, stangarlengjan sett niður á ný og borun haldið áfram. Laugardagskvöldið 5. júlí um klukkan 21 var komið niður í 2050 m og varð það endanlegt dýpi holunnar.

## 2.6 Borlok

Lokafrágangur holunnar hófst með 3,5 tíma skolun til að hreinsa borsvarf upp úr holunni. Fylgst var með skoltapi á meðan skolað var og reyndist það vera um 10 l/s. Siðan var sett á utanádæling og hálftíma síðar hófst hitamæling, sem stóð í 4 tíma. Þegar utanádæling hófst tók holan við 8,5 l/s, og fór tapið minnkandi og var orðið um 7 l/s þegar hitamælingum lauk. Hitamælingarnar sýndu mjög öra upphitun í holunni, og að mun meira skoltap þyrfti til þess að halda henni kaldri. Var því tekin ákvörðun um að halda áfram að skola holuna uns skoltap væri orðið nægjanlegt. Stóð sú skolun yfir í 9 tíma, og var skoltap þá orðið 25 l/s, sem er nálægt því sem búast mátti við út frá tapmælingum á meðan á borun stóð. Var þá sett

á utanádæling (tap 22 l/s), hitamælt, og ákvörðun tekin um upptekt. Upp í mastur var tekið það sem þurfti til að slaka niður leiðara en annað var lagt út á rekka. Upptekt lauk klukkan 3 aðfaranótt 7. júlí og tók holan þá við 37 l/s. Hófust þá borlokamælingar og stóðu þær yfir í 20 tíma. Var holan síðan fóðruð með 7 5/8" leiðara frá 2036,7 m upp í upp-hengju í 1028,4 m. Þegar stengur voru teknar upp að fóðringu lokinni kom í ljós að hengistykkið hafði skrúfast í sundur og hluti þess orðið eftir ofan á fóðringunni. Þurfti því að smiða fiskitæki til að ná því upp. Þrepidælt var á holuna á meðan tækið var í smiðum (5,5 tímar), en síðan fiskað. Náðist að fiska það sem lá ofan á leiðaranum, en einhverjir smá-hlutir féllu til botns og voru látnir eiga sig.

Borverkinu lauk 12. júlí og tók það alls 55 verkdaga.

## 2.7 Mælingar á bortíma

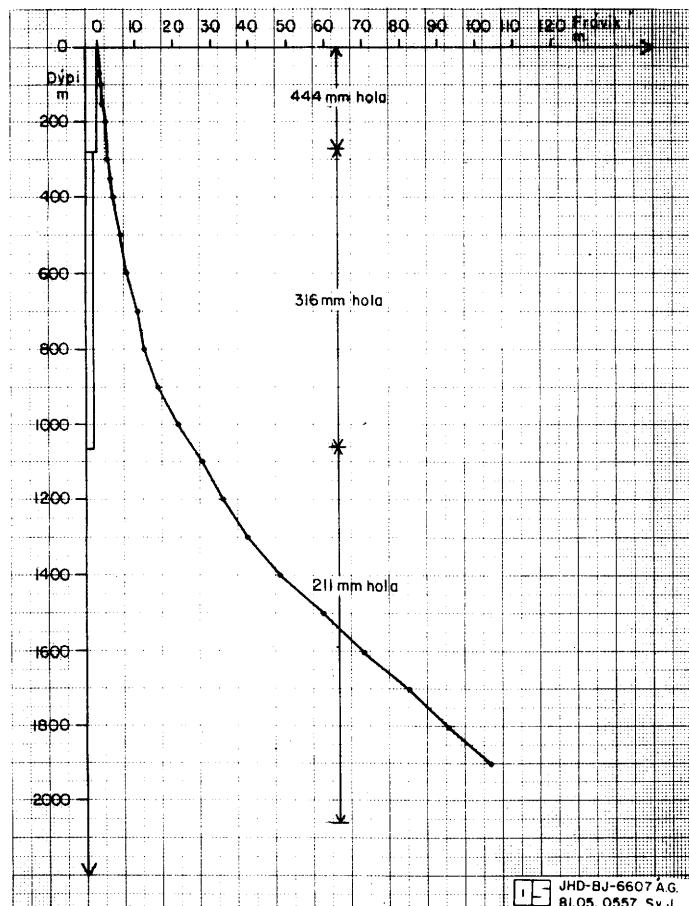
Yfirlit yfir allar mælingar framkvæmdar af JHD á bortíma er að finna í töflu V-1 í viðauka. Auk þessara mælinga hallamældu bormenn holuna regluglega með um 100 m millibili, þó aðeins oftar fyrstu 400 m. Eins og fram kemur í töflu 2 eru breytingar óverulegar frá einum mælipunkti til annars. Þegar hallabreytingar milli mælipunkta voru 1° eða meira frá lóðlinu, var því mætt með að minnka álag, þ.e. þunga á krónu. Þannig leitaðist borinn við að rétta holuna af á ný. Samkvæmt töflu 2 gæti hámarksfjarlægð holubotns frá ímyndaðri lóðrétttri holu verið 93-110 m (sjá mynd 8) en ekki er vitað hver stefnan er.

Í borun var svarftaka með hefðbundnum hætti. Tekin voru sýni á tveggja metra fresti og þau greind á staðnum (sjá kafla 3).

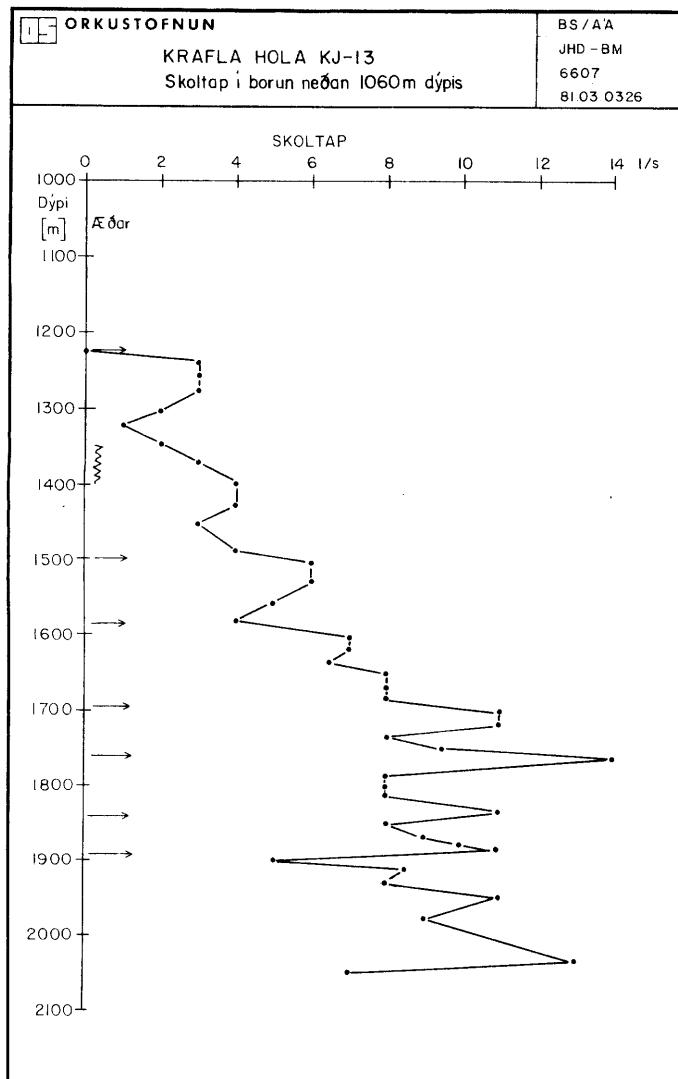
Bormenn skráðu á fjögurra tíma fresti dæluþrýsting, dæluslög, skolmagn, skoltap og breytingar á skolvatnshita. Á mynd 9 sjást skoltapsbreytingar með dýpi í vinnsluholunni. Ef gengið er út frá því að hver mæld breyting svari til nýs leka í holunni þá hefði heildarskoltap í borlok átt að vera 27,5 l/s. Skoltap mældist hins vegar 10 l/s við borlok eins og kemur fram hér að framan.

TAFLA 2 Hallamælingar í KJ-13

| Dýpi<br>m | Halli<br>í gráðum | Mestu frávik<br>í m milli mælipunkta |
|-----------|-------------------|--------------------------------------|
| 70        | 0,8               | 0,98                                 |
| 100       | 0,3               | 0,16                                 |
| 150       | 0,5               | 0,44                                 |
| 200       | 0,7               | 0,61                                 |
| 300       | 0,5               | 0,87                                 |
| 350       | 0,8               | 0,70                                 |
| 400       | 0,9               | 0,78                                 |
| 500       | 1,1               | 1,92                                 |
| 600       | 1,3               | 2,27                                 |
| 700       | 1,4               | 2,44                                 |
| 800       | 1,0               | 1,75                                 |
| 900       | 2,0               | 3,49                                 |
| 1000      | 3,0               | 5,24                                 |
| 1100      | 3,8               | 6,64                                 |
| 1200      | 3,2               | 5,59                                 |
| 1300      | 3,6               | 6,29                                 |
| 1400      | 5,0               | 8,75                                 |
| 1500      | 6,1               | 10,69                                |
| 1600      | 6,5               | 11,39                                |
| 1700      | 6,9               | 12,10                                |
| 1800      | 6,7               | 11,74                                |
| 1900      | 6,2               | 10,86                                |



MYND 8 KJ-13. Hámarksfrávik frá lóðlinu



MYND 9 KJ-13. Skoltap í borun neðan við fóðringu

### 3 JARÐLAGASKIPAN OG UMMYNDUN

---

Jarðlagasnið af holu KJ-13 er sýnt á myndum 10 - 18. Á þessum myndum koma einnig fram borhraði og mælingar á holuvídd, eðlisviðnámi, neftrónudreifingu, gamma geislun og gamma-gamma dreifingu. Skýringar við allar myndirnar eru á mynd 18.

Í kafla 3.1 er stutt lýsing á þeim aðferðum sem beitt er við gerð jarðlagasniðsins, en í kafla 3.2 er jarðögum lýst og greint frá jarðlagamynnum í holunni. Kafli 3.3 fjallar um ummyndun sérstaklega, en lýsing ummyndunar er tekin með lýsingu jarðlaga í kafla 3.2.1.

#### 3.1 Aðferðir við gerð jarðlagasniðs

##### 3.1.1 Greining á jarðögum

Greining jarðlaga, sem borholur á Kröflusvæðinu skera, byggist á greiningum á borsvarfi. Meðan á borun stendur eru tekin svarfsýni reglulega á tveggja metra fresti og þau síðan greind á staðnum og jarðlagasnið teiknað. Til þess að sniðið verði nákvæmt þarf að þekkja eftirtalda þætti:

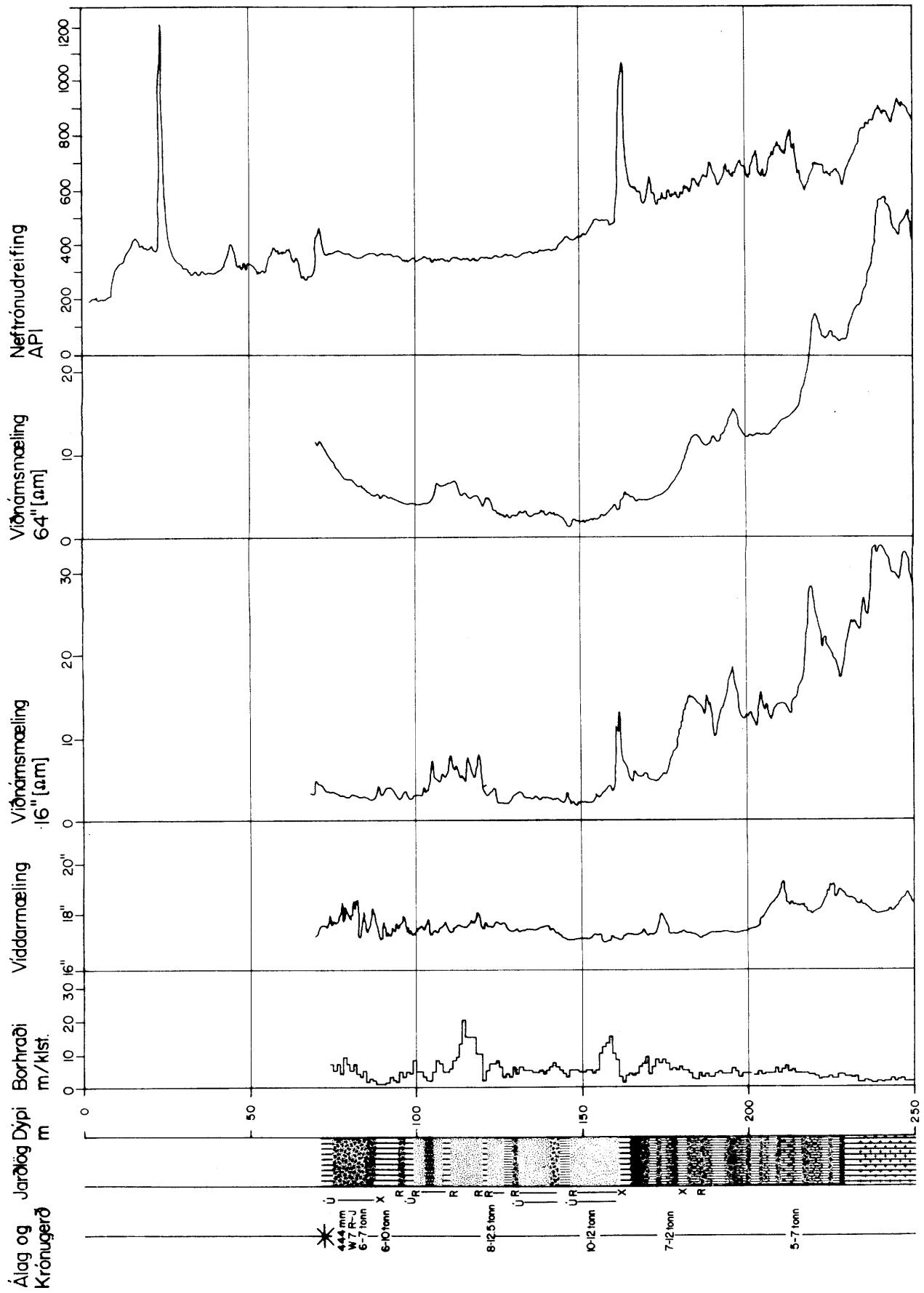
1. Borhraða
2. Skolhraða kælivatns
3. Álag, krónugerð og -stærð
4. Snúningshraða krónu
5. Fallhraða svarfsins í vatni.

Borhraði, álag og þrýstingur á vatninu eru skráð af sírita. Borhraði er fenginn á þann hátt að penni gefur útslag á 25 cm fresti, en við gerð jarðlagasniðs er venjulega tekið meðaltal fjögra slikra bila og skráð í m/klst. Tölur um þrýsting eru ekki lesnar beint út af sírita, en innbyrðis breytingar hafðar til hliðsjónar. Snúningshraða er venjulega ekki breytt nema sérstakar ástæður séu til þess og er þá getið um það eins og annað í dagbók bormanna.

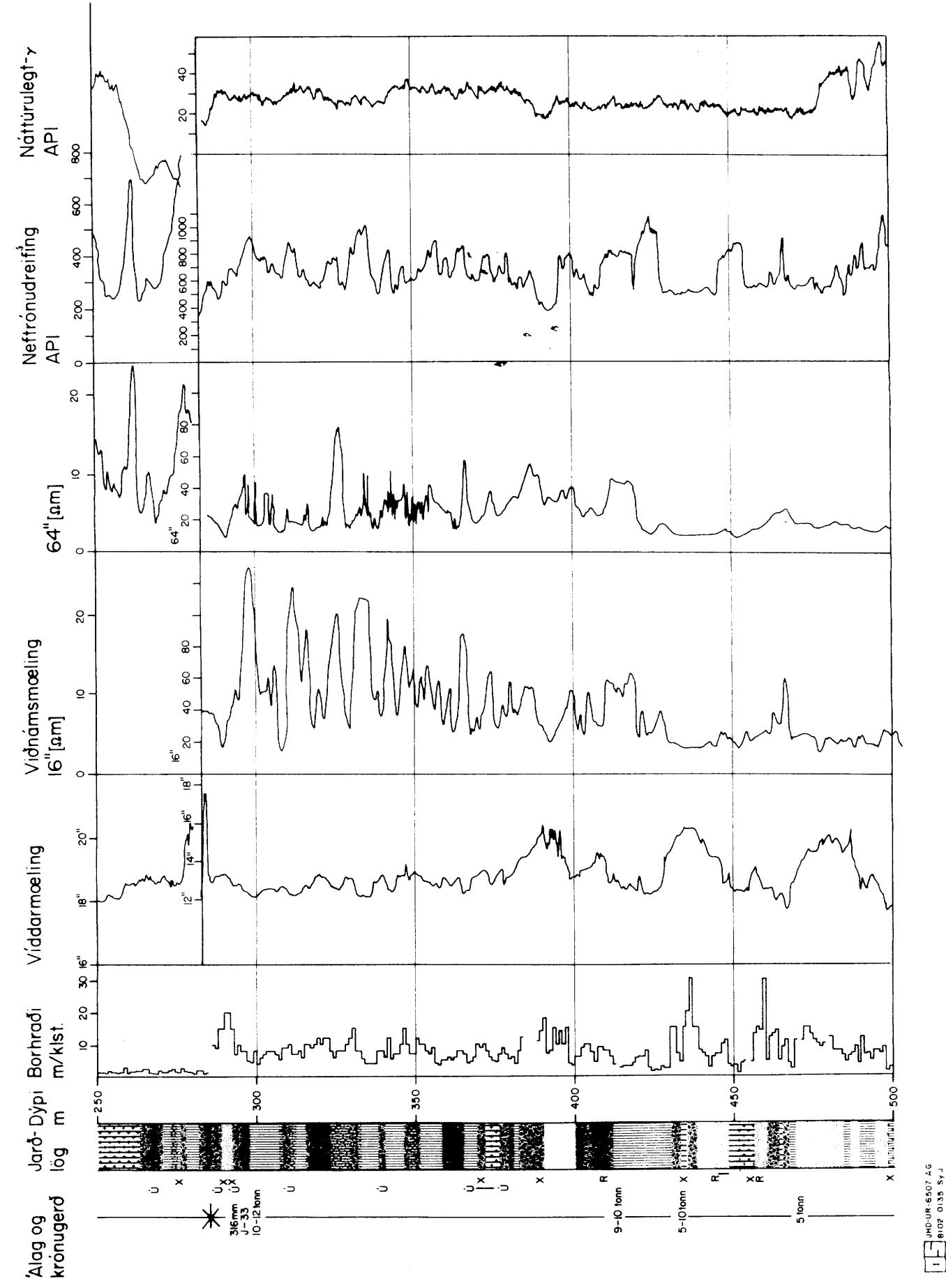
Frá og með holu KG-12 hefur verið haldið uppi reglubundinni skráningu á eftirtöldum þáttum á 4 klst. fresti í borun:

1. Þrýstingi á dælum
2. Dæluslögum (dælingu niður holuna)
3. Skoltapi
4. Breytingum á hitastigi kælivökva niður og upp holuna.

## KRAFLA KJ-13

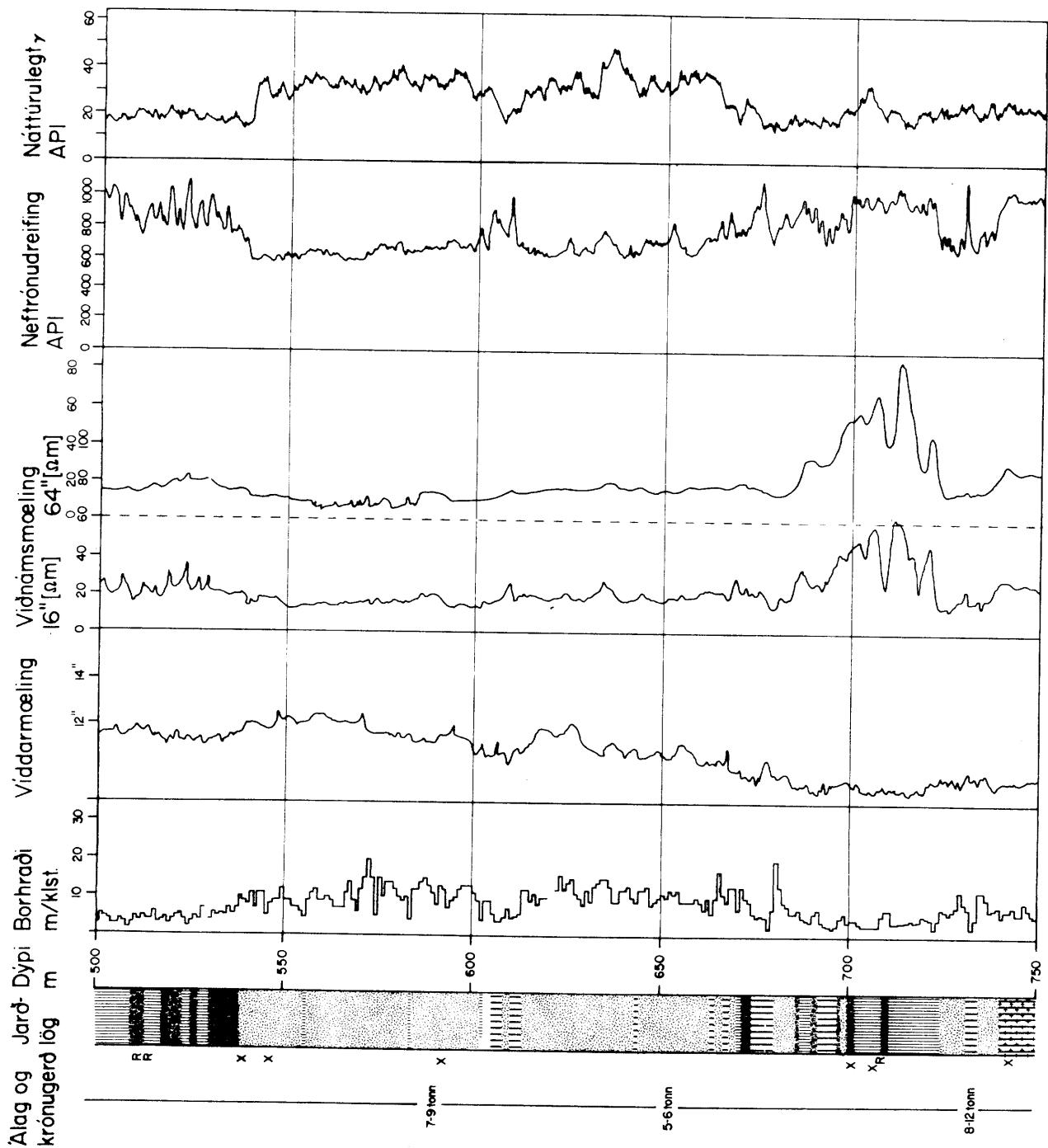


MYND 10 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 0-250 m



MYND 11 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 250-500 m

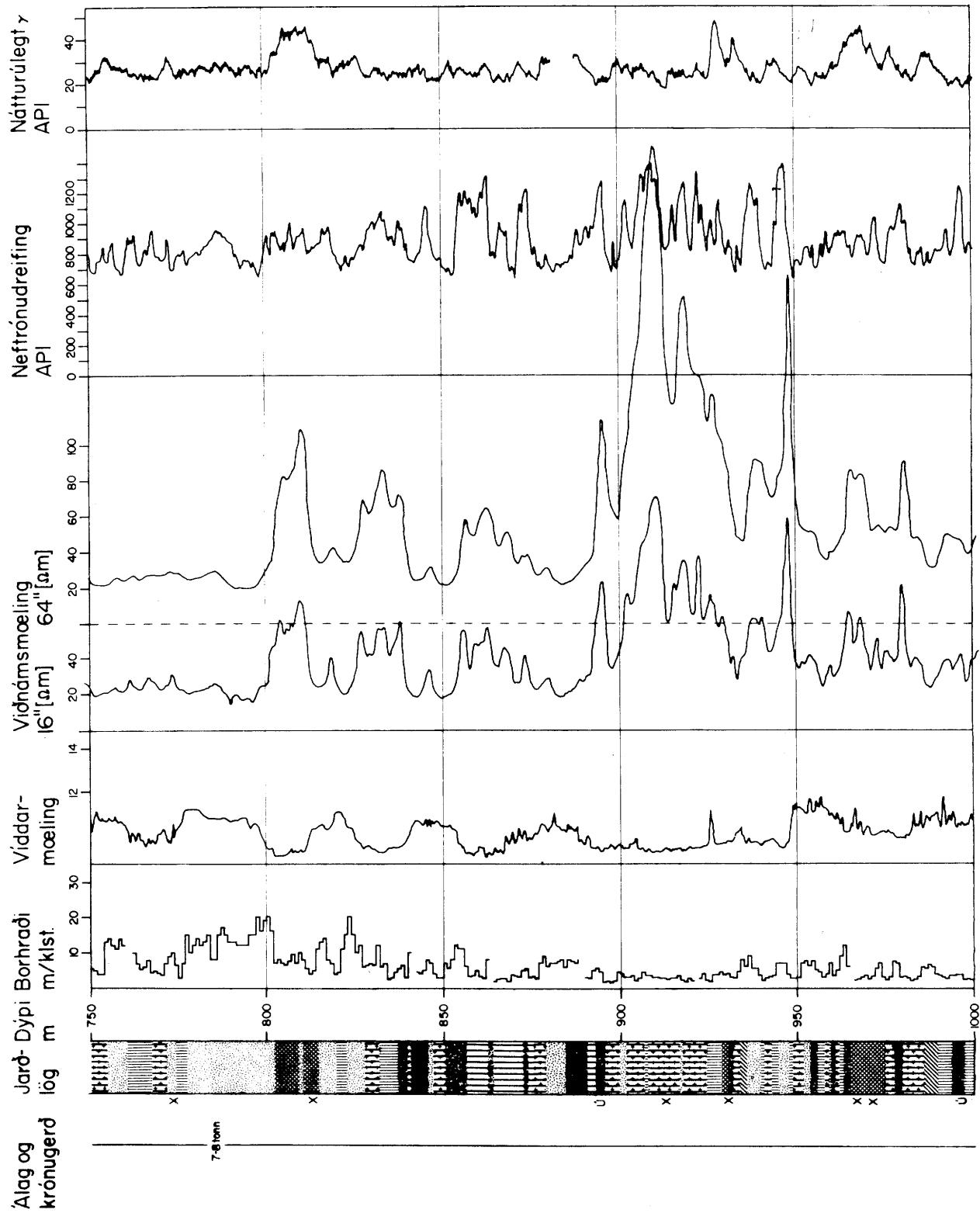
KRAFLA KJ-13



MYND 12 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 500-750 m

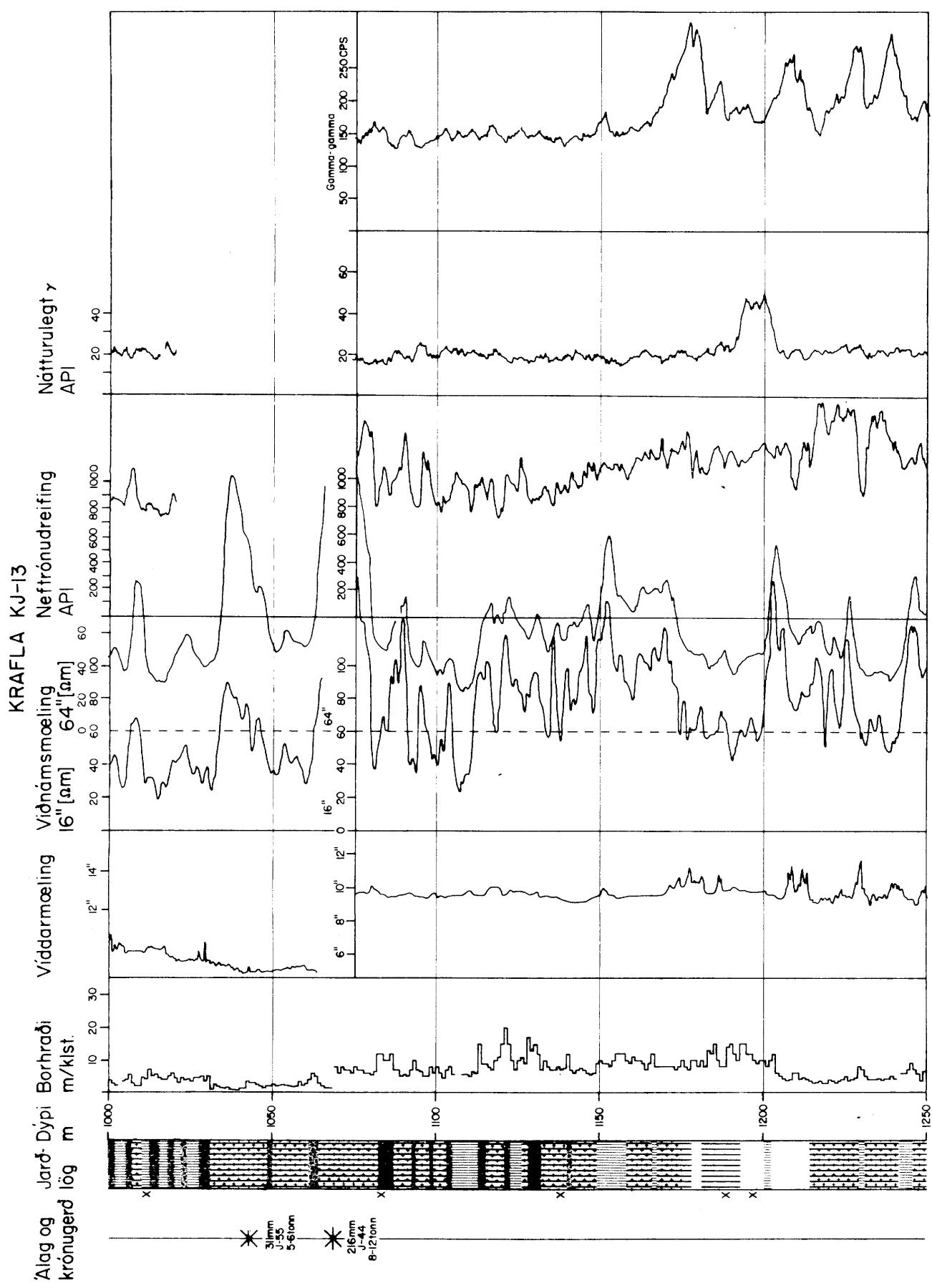
JHD-UR-6507 AG  
8102 0135 Sy.J.

KRAFLA KJ-13

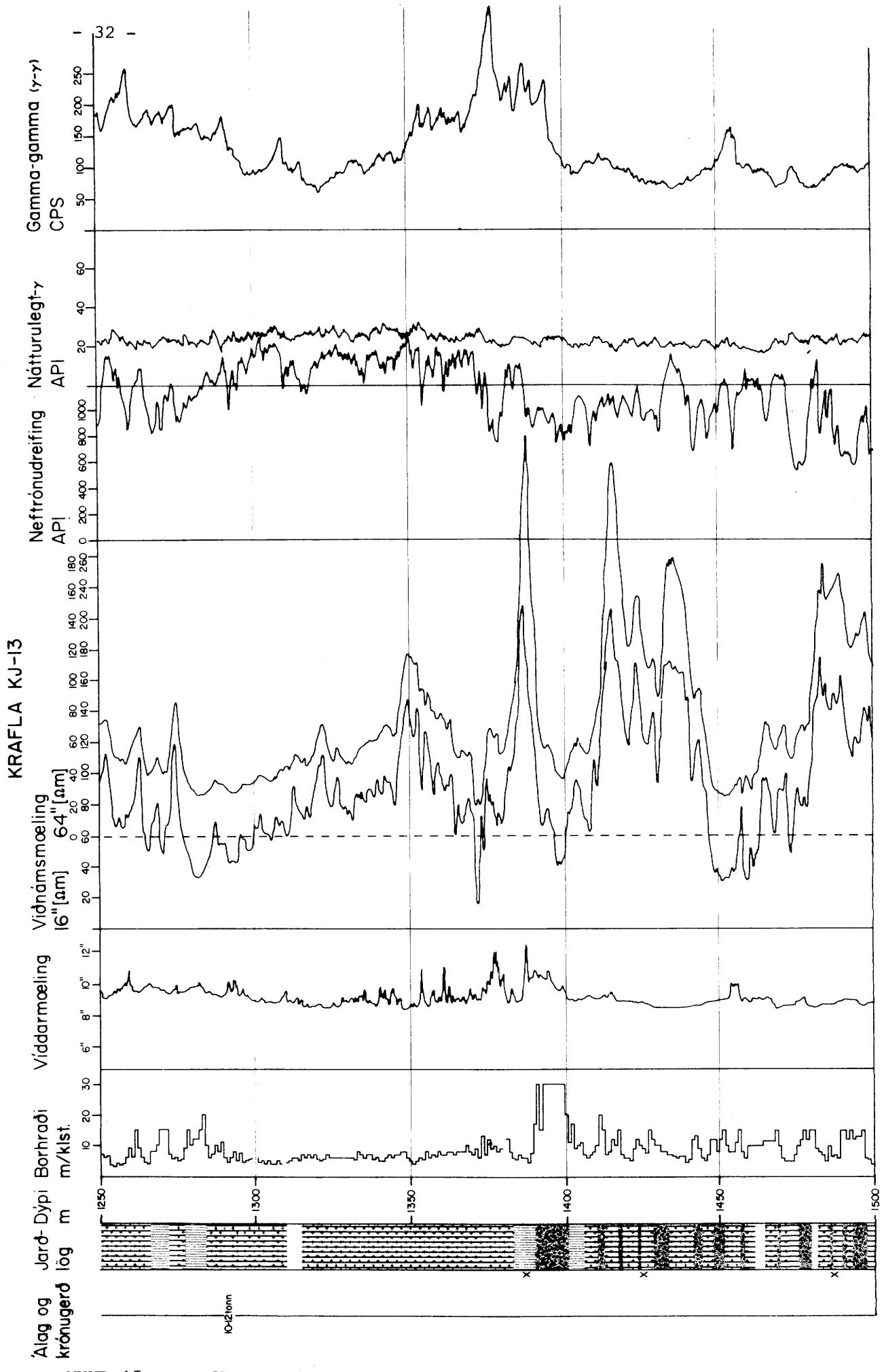


MYND 13 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 750-1000 m

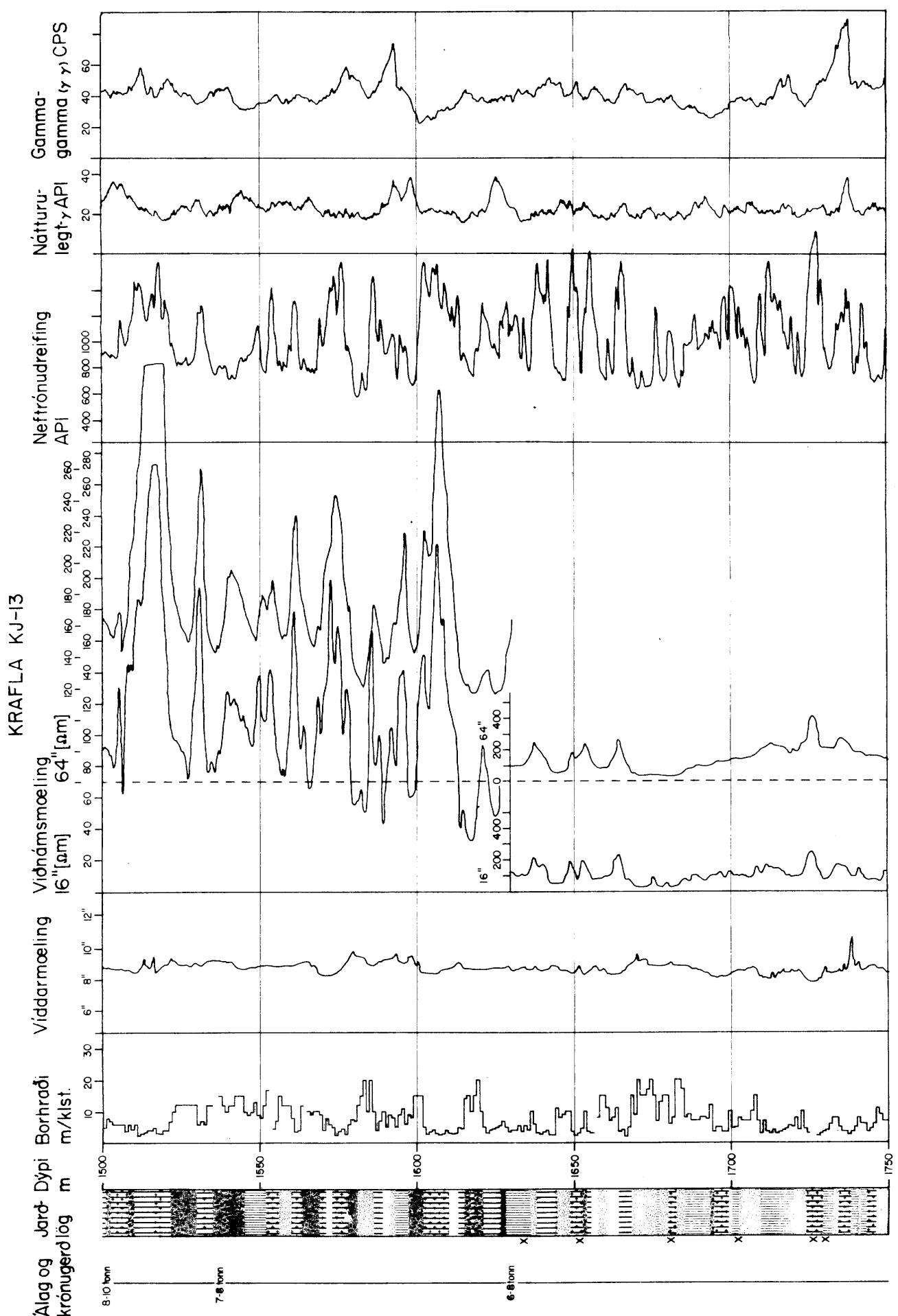
UHD UR 6507 AG  
6102 0115 SJ



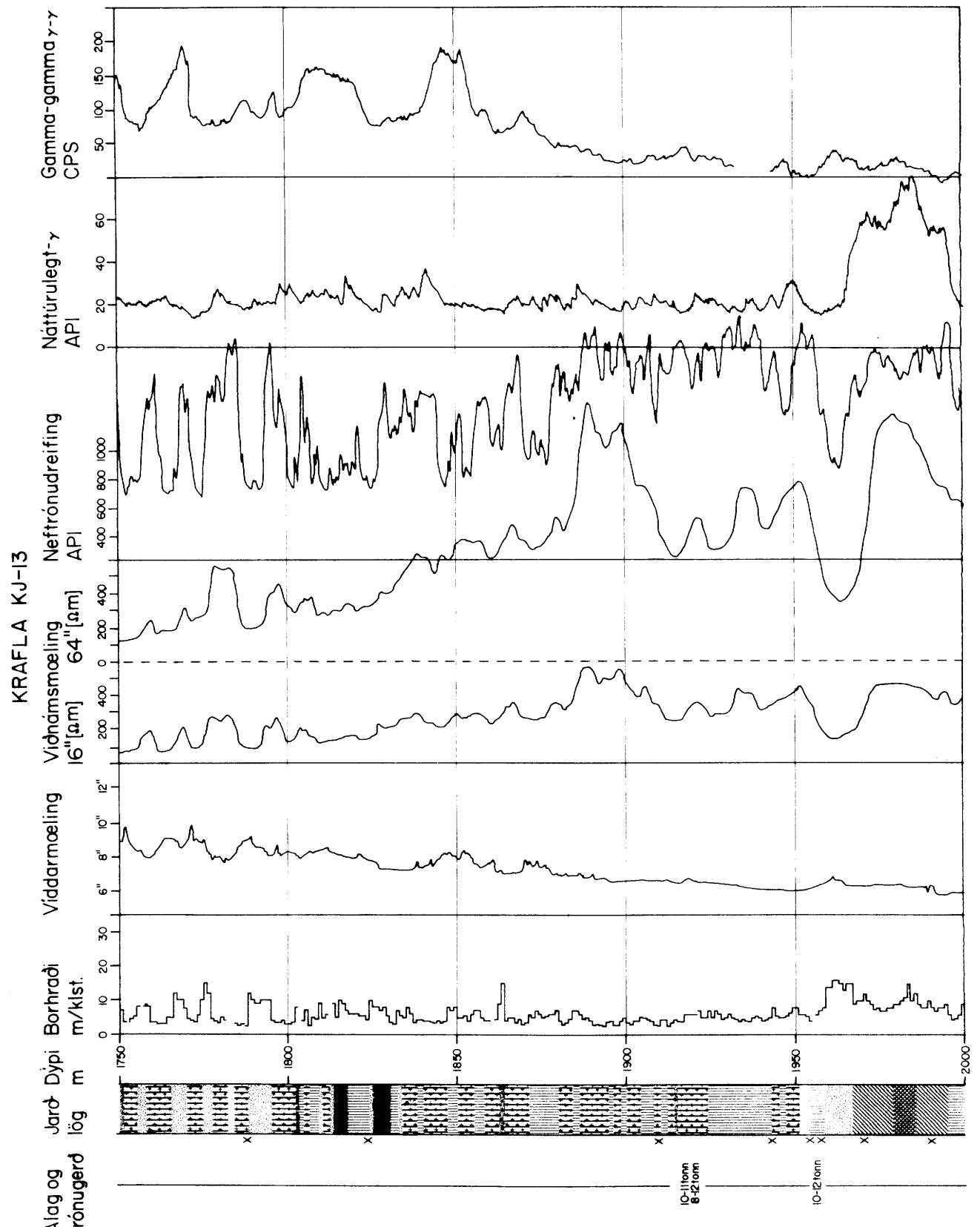
MYND 14 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 1000-1250 m



MYND 15 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 1250-1500 m

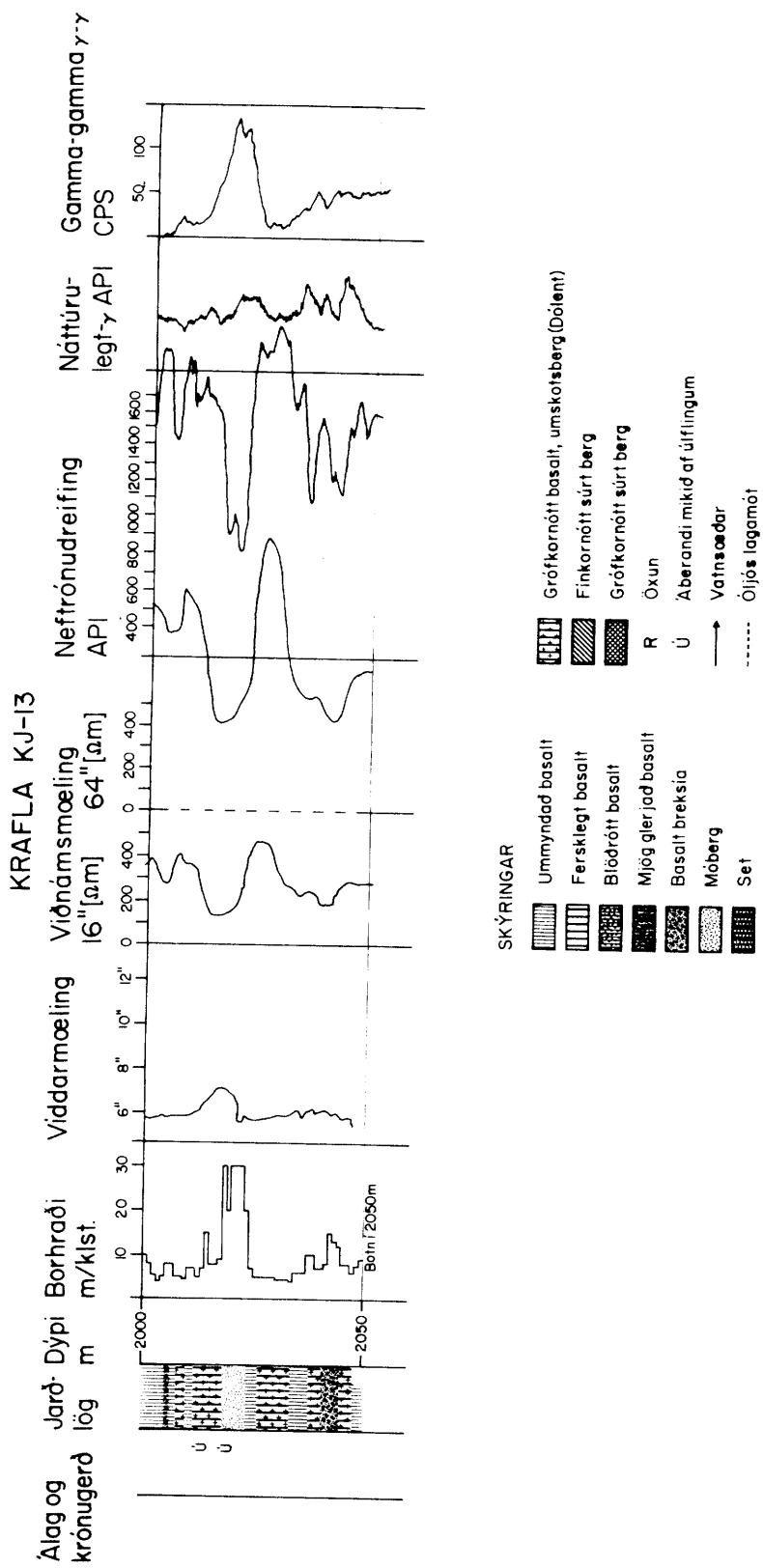


MYND 16 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 1500-1750 m



MYND 17 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 1750-2000 m

JHD-UR 6507 AG  
8102 0135 Sy J



MYND 18 Krafla KJ-13. Jarðlagasnið og borholumælingar. Dýptarbil 2000-2050 m

Utan reglubundins skráningartíma er getið um allar þær breytingar, sem verða á áðurnefndum þáttum.

Þegar sýni er tekið er skráð á viðkomandi sýnadósir: staður, holunúmer, dýpi og tímasetning. Jafnframt er merkt við á síritablaði nákvæmlega hvað klukkan var þegar viðkomandi sýni var tekið. Það dýpi sem skráð er á sýnið er ekki það dýpi, sem sýnið er frá, heldur það dýpi er krónan er á í það skipti. Þarf því að gera leiðréttingu þar á og finna út hve langan tíma það tók svarfið að berast upp holuna. Til þess að það sé hægt þarf að þekkja skolhraðann í holunni og fallhraða kornanna. Á þann hátt má fá tímamismuninn frá því er borað var í jarðlagið þar til svarfið er komið upp til yfirborðs. Með þessar upplýsingar í höndum má fullgera jarðlagasnið að því marki er svarfgreining á staðnum leyfir.

Til þess að fullvinna jarðlagasnið er nauðsynlegt að útbúa þunnsneiðar fyrir nánari smásjárathuganir. Þær eiga að skera úr um þau vafaatriði sem fyrir eru eða upplýsa um það sem ekki var áður vitað.

Jafnframt jarðlagasniði er unnið að ummyndunarsniði. Þar er ummyndunarsteindum raðað niður á þau dýptarbil, sem þær finnast á. Með því má meta þá myndbreytingu, sem jarðlögin hafa orðið fyrir. Samhliða því eru ummyndunarsteindir vísbending um það berghitastig, sem fyrir er eða hefur verið á fundarstað þeirra. Röntgengreiningar (XRD) eru mikið notaðar við slikein steindaákvvarðanir ásamt smásjárathugunum.

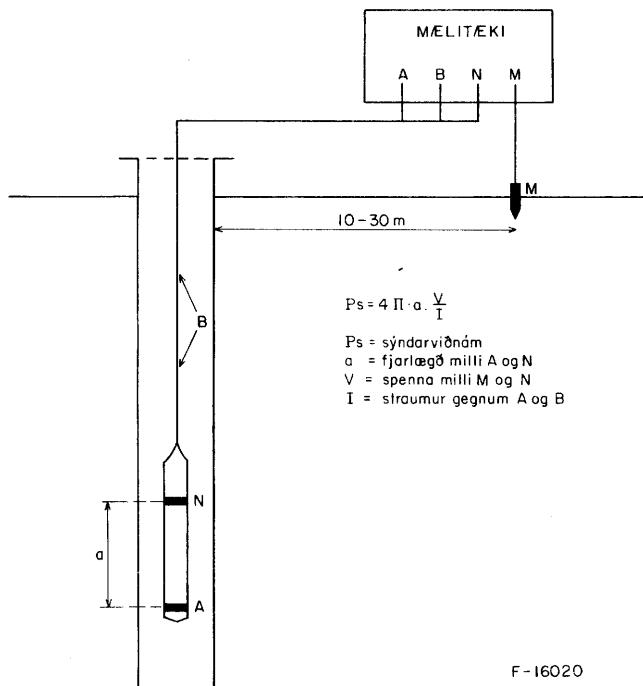
Að lokum má geta efnagreininga og er þá um að ræða greiningu á aðalefnum og ákveðnum snefilefnum. Þetta er tímafrekasti þáttur úrvinnslunar og því oftast látinn sitja á hakanum.

### 3.1.2 Mælingar á eðliseiginleikum jarðлага

Ýmsa eðliseiginleika bergsins, sem borað er í gegnum, má ákvarða með borholumælingum. Eru þá mældar stærðir eins og poruhluti, eðlisþyngd, hljóðhraði, viðnám og geislun berglaganna. Í þessari holu var mælt eðlisviðnám, poruhluti, eðlisþyngd og náttúruleg gamma geislun jarðlaganna. Mæld gildi í borholumælingum eru mjög mikilvæg við gerð jarðlagasniðs því að innbyrðis breytingar á niðurstöðum mælinga sýna hvar lagamót eru í holu, og hágildi og lággildi gefa vísbendingu um bergfræðilega eiginleika sem stuðst er við þegar jarðlagasnið holunnar er gert.

Vidd borholu hefur áhrif á allar jarðeðlisfræðilegar mælingar í henni. Þessi áhrif eru þó mismikil fyrir mismunandi mæliaðferðir. Mælitæki til að mæla vidd borholu er með þremur færnanlegum örmum, sem spennast út í holuveggina. Armarnir eru tengdir við breytilegt viðnám inni í tækinu, og fæst þannig mæling af vidd holunnar á hverju dýpi. Mæld gildi í borholumælingum þarf að leiðréttta fyrir holuvidd á hverjum stað í holu til þess að fá fram raungildi þess sem mælt er. Þegar hola er mjög misvið (skápar) verða slikar leiðréttningar varla framkvæmdar nema með aðstoð tölву. Við úrvinnslu gagna úr KJ-13 var ekki aðstaða til að vinna úr borholumælingum á þennan hátt.

Viðnámsmælingum í borholum svipar mjög til viðnámsmælinga sem gerðar eru á yfirborði. Notuð eru fjögur rafskaut, tvö til að mæla spennumun og tvö til að mæla rafstraum. Viðnám berglaga ræðst af hlutfalli milli spennu og straums og innbyrðis afstöðu rafskautanna. Mynd 19 sýnir vanalega gerð tækja og uppsetningu sem ætluð eru til viðnámsmælinga í borholum.



MYND 19 Uppsetning mælitækja við viðnámsmælingar í borholum

Ef lítið er af vatni í bergi er viðnám hátt, en lágt ef poruhlut er hárr. Þannig mælist lágt viðnám í móbergi og á móturnum hraunlaga, en hátt viðnám í inniskotum og miðju hraunlaga.

Sú mæliaðferð, sem kennd er við poruhluta (neutron-neutron log) byggir á því hvaða áhrif mismunandi frumefni hafa á neftrónu dreifingu. Í borholumælitækinu er komið fyrir geislavirku efni sem sendir út neftrónur, og í ákveðinni fjarlægð er nemi sem telur þann fjölda sem nær fram til nemans. Upphafleg orka neftrónanna er 4,5 MeV. Á ferð sinni um bergið missa þær hreyfiorku við það að rekast á atómkjarna. Mesta orku missa þær við árekstur við vetriskjarna (prótónu) enda eru neftrónur jafn þungar og prótónur. Eftir nokkra slika árekstra hafa neftrónurnar misst svo til alla hreyfiorku sina og eru þá í hitajafnvægi við umhverfið. Það fer eftir vatnsmagni í bergeninu hversu langt neftrónurnar komast áfram í bergeninu, og hversu margar neftrónur koma fram í nemanum. Fjarlægðin milli nema og geislavirkja efnisins er valin þannig að ef lítið vatn er í bergi ná margar neftrónur fram til nemans, en ef mikil vatn er í bergi missa neftrónurnar hreyfiorku sina áður en þær ná fram til nemans. Innbyrðis breytingar á niðurstöðum poruhlutamælinga eru yfirleitt mjög áþekkar niðurstöðum við-námsmælinga, enda er það í báðum tilvikum vatnið í bergeninu sem þessar mælingar eru næmar fyrir.

Mælingum á eðlisþyngd borholuveggja (gamma-gamma log) svipar til poruhlutamælinga að því leyti, að í báðum tilvikum eru notuð geislavirk efni sem senda út geislun sem er skoðuð eftir ákveðna vegalengd í bergi. Í eðlisþyngdarmælingum er notuð gamma geislun, en svo kölluð Compton-dreifing þeirrar geislunar er háð eðlisþyngd efnisins. Eðlisþyngd efnisins hefur einnig áhrif á það hversu langt gamma geislunin kemst í efninu. Þessi áhrif eru missterk eftir því hversu langt geislunin hefur ferðast. Með því að velja fjarlægð milli geislavirkja efnisins og gammanemans má fá fram mismunandi áhrif eðlisþyngdar á þann fjölda gamma geisla sem talinn er í nemanum. Í því taki, sem notað var í þessari holu, eykst styrkur geislunar með minnkandi eðlisþyngd.

Vidd borholu hefur tiltölulega meiri áhrif á þessar mæliniðurstöður en t.d. á niðurstöðu viðnáms- og poruhlutamælinga. Er því þörf meiri nákvæmni við túlkun á eðlisþyngdarmælingum en í mörgum öðrum borholumælingum. Þar sem eðlisþyngd bergsins er háð poruhluta og gerð bergsins, má ljóst vera að allar þrjár mælistærðirnar, viðnám, poruhluti og eðlisþyngd eru háðar vatnsinnihaldi bergsins, en það samband er mismunandi fyrir hinum ýmsu mæliaðferðir. Samtúlkun allra mæliaðferða gefur því möguleika á ítarlegrí túlkun en með því að skoða hverja aðferð út af fyrir sig. Sarmiento (1980) hefur sýnt dæmi um slika úrvinnslu á stuttu dýptarbili í holu KJ-13.

Náttúruleg gamma geislun bergsins stafar af geislavirkum eftirnum í bergen. Þau eru kalíum, úraníum og þórium. Í íslensku storkubergi er fylgni milli þessara geislavirku efna og kísilsýru bergsins. Með því að mæla geislavirkni bergsins með gamma-nema fæst vitneskja um hvernig styrkur þessara efna breytist niður holuna. Í jarðlagastaflanum í Kröflu er meginhlutinn (yfir 90%) basalt og sambærilegar djúpbergstegundir svo og móberg. Kísilsýra er 45-52% í þessum bergtegundum. Geislavirkni er nokkuð jöfn frá basalti og öðrum bergtegundum með kísilsýru á bilinu 45-50%. Marktækur munur í náttúrulegri gamma geislun er fyrst og fremst heppilegur til að kortleggja súr og ísúr berglög.

Reynt hefur verið að kvarða geislavirkni mælingar á þann hátt að hægt sé að meta styrk kísilsýru í bergi út frá mælingum á náttúrulegri gamma geislun (Stefánsson & Emmerman 1980). Reynslan af þeirri ákvörðun er fremur góð fram að þessu, en frekari athugana er þörf til þess að fá fram áreiðanleika kvörðunarinnar, og einnig þarf að athuga hvort fyrir hendi séu svæðisbundnar breytingar á sambandi geislavirkni og kísilsýru. Komið hefur í ljós að stundum er meiri geislun frá móbergslögum en til-svarandi hraunlögum. Talið er að það stafi af aðfluttum geislavirkum eftirnum, fyrst og fremst K (kalíum) og U (úraníum). Allir efnisflutningar eru auðveldari í ókristölluðu efni heldur en í kristölluðu. Þessi áhrif eru yfirleitt ekki mikil, en taka þarf tillit til þeirra við túlkun mælinga. Allar jarðeðlisfræðilegar mælingar í borholum þarf að kvarða. Í sumum tilvikum er kvörðun tiltölulega einföld aðgerð, eins og t.d. fyrir hitastig og þrýsting. Í slikum tilvikum er hægt að fá fram mæligildin með tiltölulega lítilli (0,1-1,0%) skekkju. Í öðrum tilvikum eins og til dæmis fyrir poruhluta bergs eru ekki fyrir hendi þægilegar kvörðunarað-ferðir. Afleiðing þessa er að skekkjumörk eru mun hærri í slikum til-fellum. Við núverandi aðstæður er gert ráð fyrir að skekkjumörk í poru-hluta séu um 5% og um  $200 \text{ kg/m}^3$  í eðlisþyngdarmælingu.

### 3.2 Jarðlagaskipan

Jarðlagasnið á myndum 10 - 18 sýnir einstök jarðlög í holu KJ-13. Í lýsingu jarðлага í kafla 3.2.1 er dregin saman lýsing á samleitum lögum á vissum dýptarbilum í holunni. Þessi lýsing byggir á nákvæmri jarðaga-

lýsingu sem varðveitt er á Orkustofnun. Kafli 3.2.2 fjallar um jarðlagamyndanir í holunni og er þeim lýst í kafla 3.2.3. Á mynd 20 er sýnt einfaldað jarðlagasnið holunnar og jarðlagamyndanir.

### 3.2.1 Lýsing jarðlaga

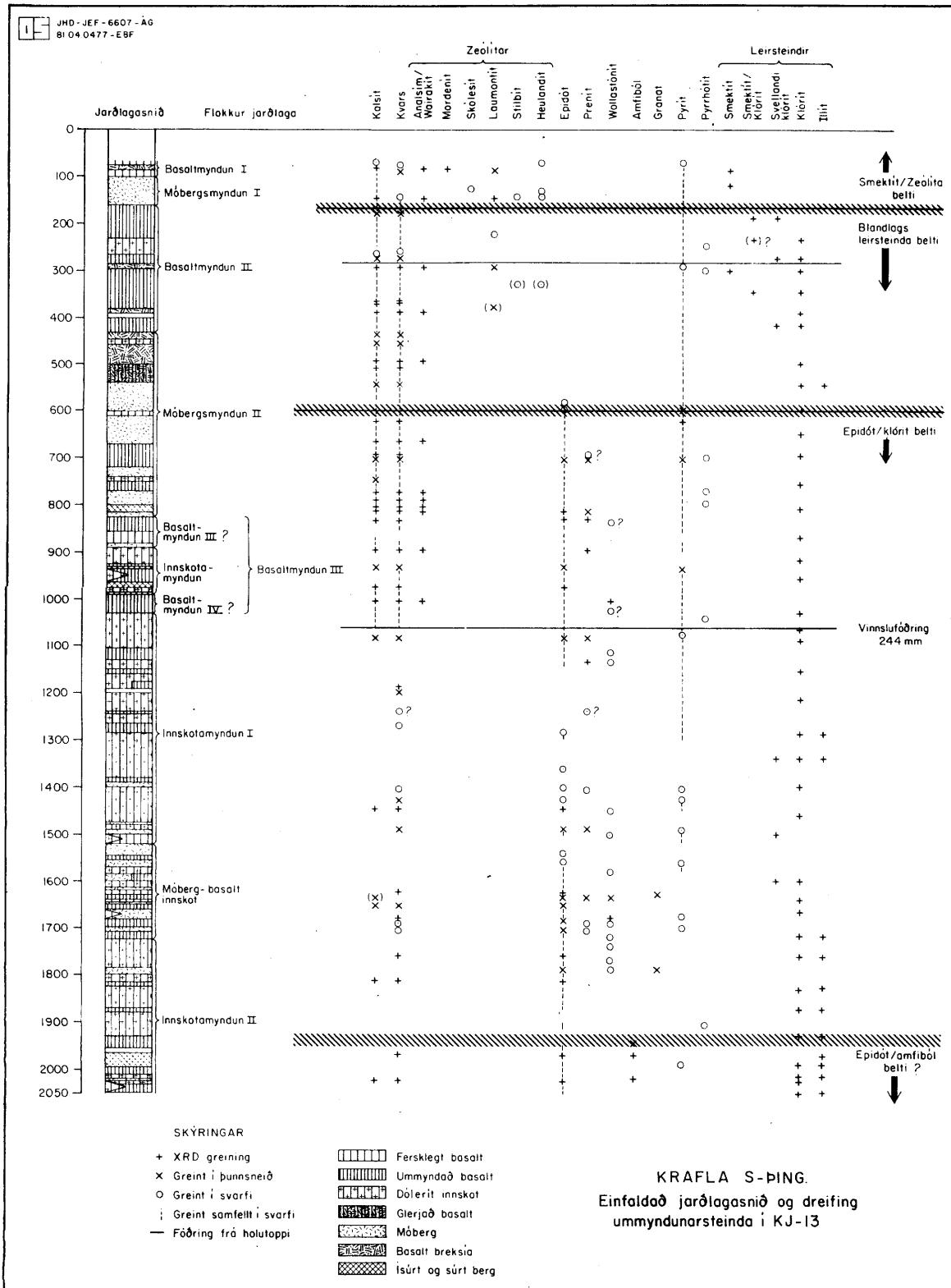
Í eftirfarandi lýsingu eru jarðlög flokkuð eftir útliti og berggerð. Einstökum jarðögum er ekki lýst sérstaklega heldur eru einsleit (homogen) lög tekin saman í flokk og meginneinkennum þeirra gerð skil. Samhliða jarðagalýsingunni er viðnámi, neftrónudreifingu og nátturúlegri útgeislun lýst.

0 - Vegna erfiðleika við greiningu á sýnum úr höggborsholum, voru engin 73 m sýni tekin á þessu bili. Samt sem áður gefur neftrónudreifingin ákveðnar hugmyndir um þéttleika þeirra laga, sem farið er í gegnum og samkvæmt því skiptast á lin móbergs- eða leirlög og harðari hraunlög.

73 - Basaltmyndun. Samfellið basaltlög, fínkornótt og blöðrótt, en mis- 102 m jafnlega vel kristölluð. Plagioklas dílar virðast vera nokkuð áberandi. Litlar sem engar breytingar eru á viðnámsferli sem sýnir mjög lágt viðnám. Breytingar á ferli neftrónudreifingar eru engar.

102 - Móbergsmyndun. Móbergið er mjög litskrúðugt og er rauður oxunar- 160 m litur og grænn litur leirsteindanna mjög afgerandi. Ferskt gler sést ekki. Fáein þunn basaltlög sjást. Frá 105 m í 120 m er viðnám lítið eitt hærra en fyrir ofan og neðan. Það er í nokkurri mótsögn við svarfgreinginu, neftrónudreifingu og borhraða. Annars er viðnám mjög lágt í þessari myndun. Nánast engin breyting sést á ferli neftrónudreifingar.

160 - Basaltmyndun. Fínkornótt - meðalgrófkornótt basaltlög. Stór hluti 230 m er blöðróttur, en ýmist vel eða illa kristallaður. Meðalþykkt laga er 4-5 m. Frá 160 m í 229 m sést greinilega í viðnámi að borað var í gegnum lagskipt berg. Viðnám hækkar eftir því sem neðar



MYND 20 Einfaldað jarðlagasnið, jarðlagamýndanir og dreifing ummyndunarsteinda í KJ-13

dregur. Eins og í viðnámi verða mjög skörp skil í ferli neftrónudreifingar í 160 m og sýnir ferillinn greinilega lagskiptinu niður í 229 m.

230 - "Innskot". Grófkristallað basalt eða dólerít, sem erfitt er að sjá nokkur lagamót í. Eðlilegast er því að álíta, að um innskot sé að ræða. Viðnámið er tiltölulega hátt í þessum kafla miðað við efri hluta holunnar. Þó kemur fram lækkun milli 250 og 260 m, og hár viðnámstoppur neðst í innskotinu. Ef neftrónudreifingin er skoðuð, þá virðist hér vera um að ræða einsleita (homogena) þétta myndun.

265 - Basaltmyndun. Fínkornótt - meðalgrófkornótt, ummyndað basalt, 430 m misvel kristallað. Örfáar undantekningar sjást. Á einum stað verður vart við grófkristallað berg, þ.e. frá 372 m í 377 m, en þar litlu neðar kemur mjög breksiulegur kafli og nær líklega niður í 398 m. Vegna skoltaps og þettingatilrauna fengust ekki svarfsýni frá öllum þessum kafla. Annar breksiukafli sést frá 288 m í 295 m. Annars skiptast á misþykk basaltlög í öllum þessum kafla með meðalþykkt um 4-5 m. Eitt þeirra er þykkast frá 411 m í 430 m eða 29 m á þykkt. Það er fínkornótt og ummyndað. Hugsanlega getur verið um að ræða þunnt innskot með miklum halla (miðað við láréttan flöt). Viðnámsferlarnir sýna greinilega lagskiptingu niður í 410 m. Ekki er samræmi milli mæligilda í  $17\frac{1}{2}$ " og  $12\frac{1}{2}$ " holu enda þarf að leiðréttta viðnámsmæligildin fyrir holuviðd. Neftrónudreifingin gefur áþekka heildarmynd. Í 410 m verður breyting eins og lýst er í bergerðalýsingunni, en brot eða sprunga gæti verið orsök breytinga í mælingum á 410 m dýpi og nær þessi kafli niður í 430 m.

430 - Móbergsmyndun (eða basaltbreksía). Móbergið er litskrúðugt eins 498 m og ofar. Ummyndun ræður þar mestu um, þ.e. leirinn gefur græna litinn, oxandi aðstæður rauða litinn og svo aragrúi ummyndunarsteinda eins og kalsíts, kvars og zeólíta gefur nánast hvítan lit. Allt gler er ummyndað og til viðbótar ofannefndum ummyndunarsteindum er pyrit (glópagull) sem gyllir meira og minna öll svarfsýni. Þunn basaltlög hríslast um móbergið, í flestum tilfellum aðeins hálfkristölluð. Eitt þeirra, frá 448 m - 456 m, er grófkornótt.

Samræmi er gott í viðnámsmælingum og neftrónudreifingunni, og í þeirri síðarnefndu koma allir strúktúrar greinilega fram. Náttúrulegt gamma sýnir mikið frávik, allt að 40 API GU (American Petroleum Institute Gamma-ray Unit) á 478-490 m dýptarbili, gæti það þýtt að  $\text{SiO}_2$  í laginu væri  $(59 \pm 7)\%$ . (Náttúrulegt gamma =  $a (\text{SiO}_2) + b$ ,  $a = 3,67 \pm 0,23$  og  $b = -149 \pm 11$ . Óbirt gögn, Valgarður Stefánsson). Þessi liking byggir á því að berg sé kristallað og því vafasamt að nota hana fyrir móberg.

498 - Basaltmyndun. Fínkornótt misvel kristölluð basaltlög. Allt berg 540 m er talsvert ummyndað. Meðalþykkt basaltlaganna er um 7 m. Neðstu 10 m eru mjög breksíulegir. Viðnámið er lítið eitt hærra en fyrir ofan og neðan, en neftrónudreifingin sýnir mjög greinilega lagskiptingu og jafnframt skýr mörk milli myndananna.

540 - Móbergsmyndun. Að mestu ljósgrænt túff og er allt gler ummyndað. 670 m Mest ber á leirsteindum ásamt kalsíti, kvarsi og pyriti, en vottur er af zeólítum. Fáein basaltlög sjást og eru þar mest áberandi frá 602 m í 613 m fínkornótt og ferskleg. Það má segja að þessi basaltlög skipti móbergsmynduninni í tvennt. Litlar breytingar sjást á viðnámsferlunum í þessari myndun og er viðnámið mjög lágt. Á ferli neftrónudreifingarinnar sjást öll inniskotin eða basaltlögin sem getið er um í þessum kafla og jafnframt koma greinilega í ljós efri og neðri mörk myndunarinnar. Náttúruleg útgeislun er öllu meiri í móbergsmynduninni en í aðliggjandi basaltmyndunum. Ef kísilsýra er reiknuð út á sambærilegan hátt og gert var hér á undan og gengið út frá því að bergið sé kristallað þá ætti  $(54 \pm 7)\%$  að vera meðalgildi, en hæstu toppar eins og t.d. frá 630 m í 640 m ættu að sýna  $(60 \pm 7)\%$ . Basaltlögin frá 602 m í 613 m skera sig mjög úr og ættu skv. ofangreindu að innihalda  $(47 \pm 6)\% \text{SiO}_2$ , sem er sambærilegt við basaltið fyrir ofan og neðan móbergið.

670 - Basaltmyndun. Fínkornótt misvel kristallað ummyndað basalt. 725 m Lögin eru misþykk að venju, en meðalþykktin er um 12 m. Eitt þeirra er þykast og er frá 700 m í 725 m, en hugsanlega gætu verið lagmót í 710 m. Allt lagið er fínkornótt og ekki óliklegt að um inniskot sé að ræða. Viðnámið er verulega hærra en fyrir

ofan og neðan. Ekki er hægt að ráða beint af því, hvort um inn-skot eða basaltlög er að ræða. Aftur á móti gefur ferill neftrónu-dreifingar til kynna að innskot sé frá 699 m í 722 m og þar fyrir ofan sé lagskipting.

725 - Móbergsmýndun. Að mestu útfellingaríkt túff svipað sambærilegum  
740 m myndunum ofar í holunni. Priggja metra þykkt finkornótt fersklegt  
basaltlag skiptir mynduninni í tvennt. Lágt viðnám mælist í öllum  
kaflanum. Á ferli neftrónudreifingar kemur basaltlagið mjög skýrt  
fram sem toppur. Náttúruleg útgeislun er sú sama hér og í  
basaltinu fyrir ofan og neðan.

740 - Innskot. Grófkornótt gráleitt dólerít. Litilsháttar hækkan verður  
754 m í viðnámi í 737 m og helst niður í 751 m. Snögg breyting verður  
í neftrónudreifingunni og sýnir hún stöðugt gildi yfir þetta sama  
dýptarbil.

754- Móberg. Mjög útfellingaríkt túff, ljósgrænt til hvitt á litinn.  
760 m

760 - Basaltmyndun. Finkornótt til grófkornótt ummyndað basalt. Viðnám  
777 m er lágt og örlar fyrir þremur toppum. Greinileg lagskipting er  
samkvæmt neftrónudreifingu.

777 - Móbergsmýndun. Ljósgrænt útfellingaríkt túff. Leir, kalsit, kvars  
802 m og pyrit eru mest áberandi ummyndunarsteindirnar. Epidót sést vel  
í flestum sýnum. Viðnám er lágt.

802 - Ísúrt innskot. Ljósgrænt meðalgróft til grófkornótt diórit. Epidót  
814 m og pyrit eru áberandi í því. Viðnámið snögghækkar í innskotinu  
og nær hærra gildi, en mælist ofar í holunni. Ólíkt því sem venju-  
legt er þá virðist neftrónudreifingin ekki afmarka skýrt jaðrana  
á innskotinu. Ferillinn er nokkuð óreglulegur, svipað því og  
þegar farið er í gegnum lagskiptinu og mætti því álykta að inn-  
skotið sé nokkuð sprungið. Eins og búast mátti við sýnir þetta  
berg hærri náttúrulega útgeislun en bergið fyrir ofan og neðan.  
Geislunin er 46 API GU sem samsvarar  $(58 \pm 7)\% \text{SiO}_2$ .

- 814 - Móbergsmyndun. Ljóst útfellingaríkt túff sambærilegt við það sem fyrir ofan er. Þó er mikið um illa kristallað basalt í þessu og frá 819 m í 822 m er greinilega fínkornótt ummyndað basalt. Segja má að um eina móbergsmyndun sé að ræða frá 725 m niður í þetta dýpi. Viðnám er lágt, en skýr toppur kemur fram í basaltlaginu. Neftrónudreifingin gefur sömu mynd.
- 827 - Basaltmyndun. Efstu fjórir metrarnir gætu verið dóleritinnskot enda algengt að þau troðist inn við súlikar aðstæður. Þá tekur við frá 831 m í 847 m illa til sémilega kristallað ummyndað basalt. Það er blöðrótt og neðri hluti þess nokkuð breksiulegur. Næstu þrír metrar gætu verið dóleritinnskot. Frá 850 m í 856 m er að mestu leyti basaltrík breksía. Nokkuð fersklegt fínkornótt til grófkornótt basalt tekur síðan við niður í 874 m og greinileg lagamót eru í því á 863 m. Grófkristallað berg tekur við frá 874 m niður í 878 m og er líklega dólerít. Þá tekur við 5 m þykkt móbergslag, en síðan hálfkristallað basalt, breksiulegt að sjá og nær niður í 895 m. Frá 892 m niður í 895 m virðist þó vera fínkornótt fersklegt basaltlag. Viðnámsferillinn og ferill neftrónudreifingar sýna greinilega lagskiptingu. Í báðum ofangreindum ferlum er lægð í neðri hluta myndunarinnar, þar sem fyrir eru móbergs- og basaltbreksiur. Á sama dýptarbili er náttúruleg útgeislun ívið hærrri en fyrir ofan og neðan.
- 895 - Innskotskafli. Fjögur grófkornótt dóleritinnskot sjást í þessum kafla aðskilin af glerjuðu bergi, sem virðist vera nánast ókristallað. Í 892 m verður meiriháttar hækjun í viðnámi og í raun má segja að þetta sé efsti háviðnámskafliinn í holunni. Neftrónudreifingin sýnir lagskiptinguna og samkvæmt henni virðast innskotin vera vatnsefnissnauð og þar af leiðandi þétt.
- 924 - Blandaður innskotakafli. Fjölbreytileiki bergtegunda er mikill í þessum kafla. Þarna ægir saman ísúrum (frekar en súrum) og basiskum innskotum ásamt basaltlöögum og móbergi. Mest ber á innskotunum, sér í lagi þeim ísúru, frá 964 m niður í 989 m. Innskotin eru grófkristölluð og er talið að þau ísúru séu diórít en hin dólerít. Háa viðnámið sem getið er um hér að ofan lækkar verulega milli 930 og 935 m. Viðnámið er tiltölulega lágt og sýnir greini-

lega lagskiptingu. Einn háviðnámstoppur sker sig þó úr og er hann í 5 m þykku dólerítagi á tæpum 950 m. Ferill neftrónudreifingar sýnir greinilega lagskiptingu, sem eins og á undan fellur vel saman við jarðlagasniðið. Nokkur ísúr lög koma fram í þessum kafla og hér á eftir er áætlað  $\text{SiO}_2$  innihald þeirra útfrá náttúrulegri útgeislun.

|                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| Díórít í ca 930 m gefur um | (60 ± 7)% $\text{SiO}_2$ |
| Andesít í ca 935 m - " -   | (56 ± 7)% -"-            |
| Díórít 964-974 m - " -     | (58 ± 7)% -"-            |
| Andesít 985-989 m - " -    | (54 ± 7)% -"-            |

989 - Basaltmyndun. Fínkornótt sæmilega og vel kristallað ummyndað  
1030 m basalt. Blöðrur sjást viða og eru þær hafðar til hliðsjónar við  
staðsetningu á lagamótum ásamt borhraða. Basaltlögin eru að  
jafnaði 3-5 m á þykkt og ofan á það leggst karginn. Frá 1007 m  
í 1010 m er grófkornótt dólerítinnskot. Viðnámsferill og  
ferill neftrónudreifingar sýna greinilega lagskiptingu.

1030 - Innskotamyndun eða grófkornótt basaltmyndun. Eins og áður er  
1175 m erfitt að gera greinarmun á grófkornóttu basalti og dóleriti.  
Jaðrarnir á þessu eru oftast breksíulegir og algengasta laga-  
þykktin er frá 7 í 10 m. Fáein fínkornótt basaltlög sjást og  
eru mest áberandi frá 1105 m í 1132 m. Ennfremur er eitt 9 m  
þykkt lag frá 1149 m í 1158 m. Ef borholumælingarnar eru hafðar  
til hliðsjónar, þá bendir hækjun viðnámsins til þess að um  
innskot sé að ræða. Frá 1030 m og áfram niður er viðnám að  
jafnaði hærra en ofar í holunni. Ennfremur sýnir það lagskipt-  
inguna nokkuð vel. Ferill neftrónudreifingar sýnir greinilega  
lagskiptingu niður í 1130 m, en þó er viss stígandi í útslaginu, og  
gefur það til kynna þéttara berg. Náttúruleg útgeislun er til-  
tölulega stöðug í öllum þessum kafla. Þess ber að geta að frá  
1020 m niður í tæpa 1070 m vantar mælingu á neftrónudreifingunni  
og mælingu á náttúrulegri útgeislun.

1175 - Basaltmyndun. Hérna skiptast á fersk og ummynduð basaltlög,  
1193 m fínkornótt og meðalgróf. Snögg lækkun er í viðnámi, en samt sem  
áður sýna ferlarnir lagskipt berg. Minniháttar breytingar sjást á  
ferli neftrónudreifingar. Náttúruleg útgeislun er eins og fyrir ofan.

- 1193 - fsúrt innskot. Bergið er nánast hvítt og kristallað svipað og  
1200 m granófýr en með annan strúktúr. Svarf vantar neðstu þrjá metrana,  
en samkvæmt gammamælingu virðast þeir einnig vera ísúrir. Viðnámið  
er tiltölulega lágt, þ.e. vel innan við 100 Ωm. Samkvæmt neftrónu-  
dreifingunni virðist bæði innskotið og jaðrar þess vera þéttir.  
Náttúruleg útgeislun er allt að helmingi meiri en fyrir ofan og  
neðan. Skv. mælingu er hún um 50 API GU sem gæti þýtt ( $58 \pm 7\%$ )  
 $\text{SiO}_2$ .
- 1200 - Innskotamyndun (eða grófkornótt basaltmyndun). Berglöggin eru að  
1263 m jafnaði um eða yfir 10 m á þykkt. Á jarðlagasniði (myndir 14 og  
15) eru sýnd þunn basaltlög í þessari myndun, en það má telja  
líklegra að um fínkornóttja ðólerítinnskota sé að ræða. Í  
1200 m hækkar viðnám snögglega og er greinileg lagskipting þar  
fyrir neðan. Eins og oft áður er samræmi öllu betra milli jarð-  
lagasniðs og neftrónudreifingar, en milli viðnáms og jarðlagasniðs.  
Jöfn náttúruleg útgeislun er á þessum kafla.
- 1263 - Basalt. Tvö fínkornótt ummynduð basaltlög 6 og 7 m þykk, aðskilin  
1284 m af 3-5 m þykku dólerítlagi. Hár viðnámstoppur er í dólerítlaginu  
milli basaltlaganna. Neðra basaltlagið sýnir viðnámslægð.  
Neftrónudreifingin gefur þar einnig til kynna að berg sé ekki  
eins þétt og fyrir ofan og neðan. Náttúruleg útgeislun er óbreytt.
- 1284 - Innskotamyndun. Þessi myndun virðist nokkuð samfelld og er vafa-  
1390 m laust dólerítinnskot. Niður í 1305 m vottar fyrir þremur laga-  
mórum, en síðan ekki fyrr en í 1348 m og svo í 1373 m. Neðstu 7 m  
eru nánast fínkornóttir og gætu verið jaðarinn á innskoti eða þá  
þétt fínkornótt ummyndað basalt. Viðnámið fer hægt vaxandi og í  
rúnum 1345 m snöggħækkar það yfir 100 Ωm. Síðan lækkar það smám  
saman á ný og við lagamótin í 1373 m fer það niður í 20 Ωm. Þá  
kemur mjög skarpur toppur í fínkornótt hlutanum, sem er neðstur,  
allt að 300 Ωm og fellur viðnámið síðan niður fyrir 50 Ωm í rúmlega  
1390 m. Ferill neftrónudreifingar sýnir nokkuð samfelldan þéttan  
kafla niður í 1375-1380 m, sem væri hægt að túnka sem samfellt  
innskot. Fínkornótti hlutinn sem sýnir hæst viðnám reynist jafn-  
framt mjög þéttur samkvæmt neftrónudreifingunni, en samt falla  
þessar mælingar ekki alveg saman. Náttúruleg útgeislun er til-  
tölulega jöfn.

- 1390 - Móberg eða basaltrík breksía. Ekki er hægt að tala um myndun hér, 1401 m þar sem eingöngu er um eitt þykkt móbergslag að ræða. Snögg breyting á borhraða varð þess valdandi að lítið af þessu lagi kom í sýni. Það sem sást er ljóst epidótríkt túff eða breksía. Skörp viðnámslægð kom fram. Berg er ekki eins þétt og áður samkvæmt neftrónudreifingu. Náttúruleg útgeislun er óbreytt.
- 1401 - Dólerítinnskot ásamt basalti og móbergi. Erfitt er að einfalda 1522 m lýsingu á þessum kafla. Það skiptast á dólerítinnskot, basaltlög og móbergsbreksiur. Til aðgreiningar frá því sem er fyrir ofan og neðan má segja að tæp 50 prósent kaflans séu dólerítinnskot með meðalþykkt um 3-4 m. Engin ísúr né súr lög sjást. Miðað við þykkt innskotanna er eðlilegt að álíta, að þeim halli lítið (miðað við láréttan flöt). Frá 1400 m niður í tæplega 1450 m er háviðnámssvæði og hæst viðnám á móts við innskotin. Þá tekur við viðnámslægð niður í tæpa 1465 m, en sá kafli er þó lítið frábrugðinn þeim efri að gerð. Síðan tekur aftur við háviðnámskafli niður í 1522 m. Er hann svipaður að gerð. Ferill neftrónudreifingarinnar sýnir greinilega þétt innskotslög aðskilin með breksíum. Ekki er hægt að sjá vatnsrikt berg þar sem viðnámslægðin er. Náttúruleg útgeislun er nánast óbreytt frá 1200 m en í 1500 m er berg sem er greint sem dólerít og gæti innihaldið allt að  $(53 \pm 6)\%$   $\text{SiO}_2$ .
- 1522 - Móberg, basalt og dólerítinnskot. Basalt og móbergsbreksiur eru 1723 m yfir 50 prósent af þessum kafla. Erfitt er að draga upp einfalda mynd af þessu, en eftirtektarvert er hve mikið flokkast undir móberg. Eitt innskot sker sig úr hvað þykkt varðar en það er 10-13 m þykkt. Í 1620-1630 m er lag greint sem ferskt basalt, en gæti verið ísúrt berg, andesít til dæmis, samkvæmt náttúrulegu útgeisluninni. Mjög áberandi lagskipting kemur fram í viðnámi og neftrónudreifingunni, en ekki er hægt að aðgreina innskot út frá mælingunum einum saman. Náttúruleg útgeislun er nokkuð mismunandi í þessum kafla enda eðlilegt að búast við því, ef mið er tekið af þeim móbergs- og breksíuköflum sem voru skornir ofar í holunni. Eitt ísúrt lag gæti verið frá 1625-1630 m og þá með  $(54 \pm 7)\%$   $\text{SiO}_2$ .

- 1723 - Dóleritinnskot, basalt og móberg. Dóleritinnskotin ná yfir  
1959 m 50 prósent af þessum hluta, basaltlög eru 35 prósent og svo  
móberg um 13 prósent. Hluti af því sem greint er sem ummyndað  
basalt gæti hæglega verið fínkornóttir jaðrar innskota eða fin-  
kornótt innskot. Móbergið eða basaltríkar breksíur eins og það  
er oft greint, gæti einfaldlega verið uppbrotið grammberg inn-  
skotanna. Allur þessi kafli hefur viðnám hærra en 100 ðm og eru  
hæstu gildin yfir 1500 ðm, en ósamræmi er á milli 16" og 64"  
viðnámsferlanna hvað snertir viðnámsgildin. Allur strúktúr jarð-  
laganna sést betur í neftrónudreifingunni. Að jafnaði eru 5-10 m  
þykk innskot með móbergs- eða basaltbreksíum á milli. Berg er  
greinilega ekki eins þétt frá 1813 m í 1833 m samkvæmt neftrónu-  
dreifingunni, en þar eru basaltlög með karga ofan á. Frá tæpum  
1880 m niður í tæpa 1960 m er mjög þéttur innskotakafli, með  
smá brotum í. Náttúruleg útgeislun er óregluleg en samt sem  
áður lítil. Mestu sveiflurnar eru í efri hlutanum þar sem mest  
er af breksíum. Þá er nokkur órói í útgeislunarferlinum í þetta  
innskotakflanum, og gefur það til kynna að hann sé ekki eins-  
leitur (homogen).
- 1959 - Súr innskot. Áður en komið er í súra bergið er farið í gegnum  
1995 m 5-8 m þykkt móbergslag. Miðhluti þess súra er grófkristallaður  
og frá 1979 m í 1986 m er hugsanlega granódiórít. Fyrir ofan og  
neðan er bergið finkornóttara eða nánast dulkornótt og gæti  
verið dasít. Lækkun viðnáms og aukning vatnsefnis kemur greini-  
lega fram í móbergskaflanum. Þar fyrir neðan í súra kaflanum er  
viðnámið mjög hátt auk þess sem neftrónudreifing sýnir mjög þétt  
berg. Mjög áberandi náttúruleg útgeislun er í súra kaflanum og  
mælist ekki hæri annars staðar í holunni. Greinilegt er að um  
tvenns konar súrt berg er að ræða eins og ferill útgeislunar gefur  
til kynna. Efri og neðri hlutinn virðast hafa svipaða samsetningu  
eða ( $62 \pm 7$ )%  $\text{SiO}_2$ . Miðhlutinn er grófkristallaður og hefur  
öllu hæri útgeislun og inniheldur ( $68 \pm 7$ )%  $\text{SiO}_2$ .
- 1995 - Dóleritinnskot og basaltlög. Hér skiptast á dóleritinnskot og  
2050 m basaltlög svipað því sem er fyrir ofan súra bergið. Frá 2018-  
2024 m virðist vera móbergslag. Litið kom af svarfi frá þeim  
stað, en það litla sem sást ásamt borhraða benti til þess að það

væri móberg. Viðnámsferlarnir eru svipaðir í lögum en misræmi er í viðnámsgildum. Lagskiptingin kemur vel fram bæði í viðnámsferlinum og neftrónudreifingunni. Náttúruleg útgeislun er nokkuð breytileg, en engin ísúr né súr lög eru til staðar.

### 3.2.2 Jarðlagamyndanir

Eins og fram kemur á einfölduðu jarðlagasniði (mynd 20) og í jarðlagalysingum þá eru jarðlög flokkuð niður í myndanir. Sú flokkun byggist að mestu á bergerð svo og flokkun á yfirborðs- og inniskotsbergi. Móbergsmyndanir gefa þannig til kynna að upphleðslan hafi átt sér stað undir vatnsborði, annaðhvort meðan jökull lá yfir eða eftir að askjan myndaðist og fylltist af vatni. Basaltmyndanir hafa orðið til á hlýskeiðum eða á svæðum, sem voru í úrkomuskugga á jökultíma. Innskotin eru tvenns konar. Annars vegar aðfærsluæðar að hraunlögum eða móbergshrúgöldum á yfirborði. Hins vegar djúpberg, sem ekki hefur náð til yfirborðs. Ekki er hægt að greina sérstaklega þarna á milli. Innskotin eru ávallt yngri en grannbergið, en erfitt getur verið að tímasetja þau.

Til þess að gera heildarmyndina af jarðlagastaflanum einfalda, er myndunum skipt upp á sambærilegan hátt og áður hefur verið gert í svarfúrvinnslu, en í texta er farið út í smærri atriði.

Ummundun verður lýst jafnhliða hverri jarðlagamyndun, en í kafla 3.3 er henni gerð nánari skil. Helstu jarðlagamyndanir í KJ-13 eru:

Basaltmyndun I er aðeins fáeinir tugir metra á þykkt og nær niður í 100 m. Hún er hulin lausum jarðlögum, svo sem Vítisgjósku, hugsanlegum aurskriðum og e.t.v. gjósku frá fjölda sprengigiga, sem sjást utan í Kröfluhlíðum og upp eftir Hveragili. Hraunlögın eru nokkuð fersk en ummyndun mjög áberandi á milli þeirra. Þar sjást m.a. kalsít, pyrit og zeólítarnir mordenít og analssím. Af leirsteindum virðist smektít vera einrátt. Liklega er ópall þarna en kvars sést ekki. Telja má nokkuð víst að basaltlögin hafi runnið á nútíma eftir að jöklar tók upp.

Móbergsmyndun I er um 60 m þykk og nær niður í 160 m. Um hana hríslast þunn basaltlög. Allt gler er ummyndað yfir í leirsteindir, kalsit, kvars, járnsúlfíð og zeólita. Erfitt er að tímasetja þessa myndun, en líklegast er að hún hafi hlaðist upp á síðasta jökluskeiði. Það gekk í garð fyrir um 70 þúsund árum og rann sitt skeið á enda fyrir um það bil 10 þúsund árum.

Basaltmyndun II er í allt 270 m þykk og nær niður í 430 m, þar af er heildarþykkt innskota ekki undir 55 m. Flest hraunlögin eru þunn fin-kornótt, blöðrótt og glerjuð, ekki ósvipuð þeim, sem nú renna í Kröfuledum. Kargi er víða áberandi og er hann oft þykkari en sjálft bergstálið. Ummynndun er mikil eins og búast má við í glerjuðu bergi og þá sér í lagi í karganum og blöðróttari hluta hraunlaganna. Breytingar verða í dreifingu ummyndunarsteinda er neðar dregur eins og sést á mynd 20. Blandlags-, svellandi klórít- og klórítsteindir eru greindar, en eitt sýni í 300 m inniheldur einnig smektít. Zeólítum fækkar er neðar dregur, og aðeins þeir hitapollnustu þola þar við, svo sem analssín/wairakít og laumontít. Kalsít, kvars og pyrít haldast óbreytt og pyrrhotít er greint um miðbik myndunarinnar. Um aldur jarðlaganna er eðlilegast að álykta, að upphleðslan hafi átt sér stað á síðasta hlýskeiði, sem spannar 130 þús. ár og lauk fyrir 70 þúsundum árum.

Móbergsmyndun II er tæpir 400 m á þykkt og nær niður í 827 m. Ekki er móbergið samfellt og mætti flokka myndunina niður í undirflokkar eitthvað á þessa leið:

|                                |               |       |       |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|
| a) Móberg                      | 430 m - 498 m | Þykkt | 68 m  |
| b) Basalt                      | 498 m - 540 m | "     | 42 m  |
| c) Móberg                      | 540 m - 670 m | "     | 130 m |
| d) Basalt                      | 670 m - 725 m | "     | 55 m  |
| e) Móberg                      | 725 m - 760 m | "     | 35 m  |
| þar af dólerítinnskot frá      |               |       |       |
|                                | 740 m - 754 m |       |       |
| f) Basalt                      | 760 m - 777 m | "     | 17 m  |
| g) Móberg                      | 777 m - 827 m | "     | 50 m  |
| þar af ísúrt diórítinnskot frá |               |       |       |
|                                | 802 m - 814 m |       |       |

Alls eru þetta 7 undirflokkar og þar af er móbergið um 65% af heildarþykktinni. Erfitt er að raða þessum undirflokkum í tíma enda eru þarna bæði á ferðinni öskjusig (kalderumyndun) og ísaldarmyndanir. Hugsanlega má flokka hluta af basaltundirflokkunum til innskota eins og getið er í jarðlagalýsingunni. Basaltundirflokkur "b" kemur ljóslega fram í KG-3 og KJ-9, en þær holur liggja næst holu KJ-13. Tvær móbergsmyndanir eru þar af leiðandi vel afmarkaðar af þessu basalti. Basaltlög sem sjást á 600 m dýpi eru einnig til staðar í KJ-9 og KG-3. Heildarþykktin er aðeins um 10 m í KJ-13 og KG-3, en öllu þykkari í KJ-9, og bendir það til að basaltmyndunin þykki til norðurs frá KJ-13. Hraunlögin eru ferskleg að sjá og hafa þess vegna verið flokkuð sem innskot, en með samanburði við nágrannaholurnar má eins segja að þarna sé basaltstafli sem skilur að móbergsmyndanir. Ekki eru aðrar beinar tengingar yfir í nágranna-holurnar og því líklegast að basaltundirflokkar "d" og "f" séu innskot sem hríslast um móbergið. Ummyndun er mjög mikil enda umbreytist meginhluti myndunarinnar mjög auðveldlega og ekkert ferskt gler sést. Rétt ofan við 600 m verður fyrst vart við epidót með vissu og litlu neðar greinist það samfellt niður. Um það bil 100 m neðar verður fyrst vart við prenit. Zeólitar eru alveg horfnir að analsim/wairakít undanskildu. Klórít er þar orðið nánast einrátt af leirsteindunum. Kalsít, kvars og pyrit haldast óbreytt frá því sem verið hefur fyrir ofan. Á 600 m dýpi eru dregin mörk í ummynduninni, þar sem epidót og klórít eru greind samfellit niður og er það ummyndunarbelti kallað epidót/klórít beltið.

Basaltmyndun III er tæpir 200 m á þykkt og nær niður í 1030 m. Auðvelt er að greina þessa myndun í undirflokk eins og sýnt er á mynd 20, og lítur það þannig út:

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| a) Basaltmyndun    | 827 m - 890 m  |
| b) Inniskotamyndun | 890 m - 990 m  |
| c) Basaltmyndun    | 990 m - 1030 m |

Tíðni innskota eykst verulega á þessu bili og eru þau flokkuð sem "sekúnder" þáttur í basaltmynduninni. Einkum er athyglisverður sá fjöldi ísúrra innskota sem í ljós kemur á þessu dýptarbili. Í holu KG-3 var greint eitt granófýrinnskot á milli 800 m og 900 m en ekkert slikt var greint í KJ-9. Þess ber að geta, að eftir að borholumælingar komu til sögunnar, og túlkun þeirra varð áreiðanlegri, er greining á t.d. ísúrum bergerðum auðveldari en áður. Mjög áberandi hitaþrep er mælt í neðri

hluta myndunarinnar. Aðskilur myndunin efra og neðra jarðhitakerfið (mynd 23). Öllu minna er af ummyndunarsteindum í þessari myndun en í móberginu ofan við. Epídót, kalsít, kvarts, pyrit og klórít eru greindar samfellt og hugsanlega má segja það sama um analssín/wairakít og prenít, en öllu minna er af þeim. Pyrrhotít sést. Háhitasteindin wollastónít er greind í þessari myndun. Um aldur myndunarinnar er lítið annað að segja, en að hún er til orðin á hlýskeiði eða hlýskeiðum, því ekki er ósennilegt að þessi þykka innskotamyndun, sem að sjálfsögðu er yngri en basaltið, hafi tekið sæti móbergsmýndunar sem þar kann að hafa verið fyrir.

Inniskotamyndun I er allt tæpir 500 m og nær niður á 1522 m dýpi. Inn-skotin eru um 90% af mynduninni. Það sem greint er sem breksiur má alveg eins flokka sem uppbrotna jaðra innskota eða misgengisbreksiur, sem myndast hafa samtíma innskotunum. Fínkornóttu basatlögin, sem eru aðgreind frá innskotunum geta að hluta til verið jaðrar þeirra. Aðeins eitt ísúrt lag er greint í þessu innskotafargi og er á tæpum 1200 m. Ekki er hægt að vænta neinna beinna tenginga við nágrannaholur þar sem halli innskota getur verið mjög breytilegur og útbreiðsla þeirra þar af leiðandi flókin.

Helstu breytingar í ummyndunarsteindum eru þær, að analssím/wairakít hverfur alveg, og aðeins vottar fyrir kalsíti. Þá koma fram athyglisverðar breytingar í leirnum. Illít og svellandi klórít sjást á bilinu 1220 í 1400 m og er það nákvæmlega það svæði þar sem fyrst verður vart við skoltöp í borun. Klórít, epidót, kvarts og pyrit halda áfram nokkurn veginn samfellt niður og prenít og wollastónít sjást öðru hverju. Aldur myndunarinnar má miða við ferskleika innskotanna og að þau eru yngri en "móðurbergið".

Móberg, Basalt og Inniskot eru um 200 m þykkur kafli, sem nær frá 1522 m niður í 1723 m. Eins og nafnið gefur til kynna, þá hefur verið erfitt að greina myndunina niður í ákveðnar einingar. "Prímerar" upphleðslueiningar eins og basalt og móberg eru afgerandi og minna er um inniskot en fyrir ofan og neðan. Ekkert þessu líkt virðist vera í KG-3, en þar munu inniskot vera ráðandi.

Ummynnarsteindir eru sambærilegar að gerð og fyrir ofan, en magn þeirra er hér mikið meira. Athyglisvert er að granat er fyrst greindur í þessari holu á 1636 m dýpi og sést þar ásamt wollastóniti og epídóti í þunnsneið. Mjög sennilegt má telja að það komi einnig fram ofar eins og í öðrum holum á svæðinu, en þar sem erfitt getur verið að sjá þessa steind verður ekki gert mikið úr því að hún komi fyrst fram á þessu dýptarbili.

Innskotamyndun II nær frá 1723 m og niður á botn, sem er í 2050 m.

Dólerítinnskot eru ráðandi. Eitt mjög áberandi þykkt ísúrt-súrt, samsett innskot var greint frá 1959 m niður í 1995 eða alls 36 m. Ekki er hægt að tengja það við neinar aðrar holur á svæðinu. Þetta berg er frábrugðið granófýrnnum, sem áður var greindur í botni á KG-4 og KG-10. Fyrir neðan súra innskotið koma aftur dólerítinnskot ásamt plagióklasdílóttum basaltlögum. Í 2018-2024 m er mjög ummyndað og lint berg. Ekki er hægt að segja til um hvort um er að ræða misgengisbreksíu eða móberg. Ummynnarsteindir voru þar mjög áberandi og bergið þar af leiðandi þétt.

Breyting virðist vera í ummyndun þegar komið er niður fyrir 1900 m. Amfiból greinist nokkuð ákveðið. Í röntengreiningum kom það skýrt fram og reyndist vera hornblendi. Sérstaklega var það áberandi frá 2018-2024 m. Má telja nokkuð öruggt að nýtt ummyndunarbelti taki við á 1920 til 1950 m dýpi, þ.e. epídót/amfiból belti.

### 3.3 Ummyndun

#### 3.3.1 Greiningaraðferðir og gerð ummyndunarsniðs

Greining er framkvæmd á þann hátt, að fyrst eru ummyndunarsteindir greindar í svarfi samhliða gerð jarðlagasniðs. Sú aðferð er mjög háð því hversu auðgreinanlegar ummyndunarsteindir eru. Dæmi:

Pyrit er auðþekkjanlegt vegna kristalforms og lits.

Epidót er auðþekkjanlegt vegna lits.

Kvars er vel þekkjanlegt vegna kristalforms.

Kalsít er vel þekkjanlegt vegna kristalforms, en þó má auðveldlega rugla því saman við aðrar steindir. Til að skera úr um allan vafa má nota þynnta saltsýru, því kalsít freyðir í henni og gefur frá sér  $\text{CO}_2$ .

Zeólitar hafa mjög mismunandi kristalform og sumir líkir hver öðrum.

Til að bæta greiningar á ummyndarsteindum eru valin sýni til röntgen-greininga (XRD-greining). Á þann hátt eru greindar steindir sem ekki þekktust beint úr svarfi, og jafnframt er skorið úr um vafaatriði. Einnig eru valin sýni til þunnsneiðagerðar. Í þeim er jafnhliða athuguð berggerð og ummyndunarstig og eru ummyndunarsteindir greindar "optiskt". Ummyndunarsteindir eru merktar inn á ummyndunarsniðið með mismunandi táknum, sem sýna á hvern hátt þær voru greindar (sjá mynd 20).

Ummyndunarsniðið er sett upp á hefðbundinn hátt, með einfölduðu jarðlagasniði. Á þann hátt er auðveldara að sjá hvort breytingar í ummyndun eru í beinu sambandi við breytingar í jarðögum eða hvort þær eru einkum háðar dýpi (aukinn hiti og þrýstingur).

Fóðringardýpi er sett inn með heildregnum línum og er það gert til að sýna, að engin blöndun geti átt sér stað milli fóðruðu og ófóðruðu kaflanna í holunni. Þannig eru eingöngu hugsanlegir möguleikar á innbyrðisblöndun á eftirtöldum dýptarbilum:

|     |        |         |        |
|-----|--------|---------|--------|
| Frá | 70 m   | niður í | 286 m  |
| "   | 286 m  | - "     | 1065 m |
| "   | 1065 m | - "     | 1050 m |

Helstu þættir sem valda blöndun eru: sláttur borstrengs út í holuveggi og útvöskun á linari jarðögum við of mikinn skolhraða í holunni.

### 3.3.2 Dreifing ummyndunarsteinda og beltaskipting

Í kafla 3.2.3 um jarðlagamyndanir er getið um dreifingu ummyndunarsteinda. Hér á eftir verður getið um einkennissteindir ummyndunarbelta ásamt öðrum þeim steindum sem ekki hafa bein áhrif á þá niðurröðun.

Smektit/Zeólítabeltið nær niður í u.p.b. 170 m. Nafnið gefur greinilega til kynna hvaða steindasamfélag hér um ræðir. Fyrst og fremst er það leirsteindahópurinn smektit, sem er samheiti nokkurra lághitaleirsteinda eins og t.d. montmórrilloníts, og einkennir þetta ummyndunarbelti. Flest allir zeólitar, sem greindir eru í holunni, falla innan þessara marka, að undanskildum tveimur, þ.e. analssím/wairakít og laumontit, en þeir eru

þeirra hitabolnastir. Ekki hefur verið greint milli analssíms og wairakíts enda er það mjög mikil vinna ef vel á að vera. Aðrar steindir greindar eru kalsit, kvars og pyrit. Þá er rétt að benda á, að neðri mörk smektíts/zeólita beltisins liggja um það bil samhliða mörkum móbergsmýndunar I og basaltmýndunar II. Efri hitamörk þessa ummyndunarbeltis munu vera um 200°C (Pálmason et al. 1979).

Blandlags leirsteindabelti nær frá liðlega 170 m í u.p.b. 600 m. Ummyndunarbeltið dregur nafn sitt af steindum, sem eru nokkurs konar blanda af klóríti og smektíti, þ.e. þær hafa ekki náð stöðugri uppbyggingu klóríts, en eru með hana að hluta til. Blandlagssteindir eru greindar niður í 420 m, en þar hverfa þær svo til alveg. Klórít er aftur á móti greint samfellt frá 240 m. Leirsteindin illít sést í 540 m, á mörkum basalts og móbergs. Algengast er að finna hana þar sem vatnsleiðni er góð eða þá í súru bergi. Analssim/wairakít er greint af og til með XRD-greiningum (röntgen), en erfitt getur verið að þekkja það í svarfi og í þunnsneið getur einnig verið óvissa um greiningu á því. Vel er því hægt að hugsa sér að þessi steind sé samfelld niður, en í litlu magni. Laumontít er greint örugglega niður í tæpa 300 m, en þar fyrir neðan gætir óvissu í greiningu. Kalsít, kvars og pyrit eru greind samfellt niður, en vottur er af pyrrhotiti í 250 m og 300 m. Neðri mörk beltisins eru við 600 m dýpi, en þar eru líklega skil milli móbergs og basaltmýndunar eins og getið er um hér á undan í kaflanum um jarðlagamyndanir. Hitabil ummyndunarbeltsins er tiltölulega þróngt og nær frá 200°C í 230°C (Pálmason et al. 1979). Munu þar eingöngu ráða breytingar í gerð leirsteinda og fjarvera epidóts.

Epidót/Klórít beltið nær frá 600 m niður í u.p.b. 1920 m, og spannar þar af leiðandi yfir meginhluta holunnar. Frá þeim stað þar sem bæði epidót og klórít eru greind samfellt eru mörkin sett milli epidóts/klóríts beltisins og blandlagsleirsteinda beltis. Svellandi klórít er greint á 1340 m, 1500 m og 1600 m, og alls staðar í breksíum eða í móbergi milli innskota. Illít er greint í 1290 m og 1340 m, sem er litlu neðar en fyrst varð vart við skoltöp í holunni. Einnig vottar fyrir illíti frá 1720 m og niður.

Analssim/wairakít er greint rétt niður fyrir 1000 m, en neðan vinnslufóðringar (1065 m) er það algjörlega horfið.

Kalsít greinist samfellt niður að vinnslufóðringardýpi, en þar fyrir neðan vottar aðeins fyrir því.

Kvars er greinilegt samfellt niður.

Pyrit er greint samfellt niður í 1300 m, en þar fyrir neðan verða greiningar slitróttari. Aðeins vottar fyrir pyrrhotiti í 1040 m dýpi.

Prenit er fyrst greint á um 700 m og af og til niður í 1700 m, en ekkert þar fyrir neðan.

Wollastónit er fyrst greint á 830 m dýpi, en frá því sést það af og til niður í 1580 m. Frá 1640 m er það greint samfellt niður í 1790 m, en ekkert þar fyrir neðan.

Granat sást í þunnsneið á 1636 m dýpi. Hitabil ummyndunarbeltisins er frá 230°C - 280°C (Pálsson et al. 1979) en ekki er samræmi gott milli mælds hita og hita samkvæmt ummyndunarsteindum. Mjög afgerandi hitastökk mælist á 1000-1100 m dýpi, og það sést ekki í ummyndun nema ef vera skyldi snögg breyting í kalsíti og analssím/wairakíti.

Epidót/Amfiból belti nær frá ~1920 m niður í botn. Einkennissteindir fyrir þetta belti eru eins og nafnið bendir til, amfibólið hornblendi og svo epidót. Hornblendi kemur skýrt fram í XRD-greiningum. Jafnframt sést það greinilega sem sprungufylling í svarfi á 2020 m dýpi.

Epidót og klórít eru greind samfellt eins og á undan. Í einu sýni í miðju súru innskoti hverfur klórít, en illít kemur mjög sterkt inn. Annars er vottur af illíti í öllum sýnum.

Kvars greinist áfram niður í botn.

Kalsit kemur fram í XRD-greiningu frá 2020 m dýpi.

Ekki liggja fyrir nein nákvæm gögn um það hitabil sem beltið spannar og ekki er reynt að geta sér til um efri mörk þess.

4 EBLISÁSTAND JARDHITAKERFIS - MÆLINGAR FYRIR BLÁSTUR

---

4.1 Vatnsæðar

Fyrstu upplýsingar um vatnsæðar í borholu fást í borun. Koma æðarnar þá ymst fram sem skolaukning eða skoltap. Í Kröfluholum koma æðar fram í öllum tilvikum sem skoltap. Eftir borun eru síðan gerðar ýmsar mælingar til að staðsetja æðar. Areiðanlegastar hafa reynst hitamælingar við borlok á meðan dælt er á holuna og eins hitamælingar sem gerðar eru á meðan holan er að hitna upp að lokinni borun. Beinar rennslismælingar hafa auk þess verið gerðar, en enn sem komið er hafa þær ekki gefið jafn trúverð-ugar niðurstöður og hitamælingar.

Við borun KJ-13 var fylgst reglulega með skolvatni og skoltöp skráð. Einungis litil skoltöp mældust í vinnsluhluta holunnar eins og sjá má á mynd 8. Fyrsta skoltap (3 l/s) kom fram í 1220-1240 m, og jókst síðan óreglulega með dýpi, náði hámarki í 1765 m (14 l/s) en sveiflast síðan á milli 5 og 13 l/s í síðustu mælingunum. Í botni reyndist heildartapið aðeins vera 8 l/s.

Ef nota á skoltapsmælingar til að staðsetja æðar verður að ganga út frá ákveðnum forsendum. Í fyrstu atrénnu er gert ráð fyrir að í hvert sinn sem skoltap eykst opnist ný að inn í holuna. Æðin þéttist síðan að nokkrum leyti af borsvarfi, skoltap minnkar og eykst ekki aftur fyrr en næstu að er náð. Veikleiki þessarar aðferðar er að sjálfsögðu sá, að æðar geta hæglega opnast og þéttst á víxl. Skoltöp sýna því gjarnan fleiri "æðar" en eru í raun í holunni.

Í töflu 3 eru sýndar æðar sem ákvarðaðar eru út frá mælingum á skoltapi í KJ-13 samkvæmt ofangreindri aðferð. Í töflunni eru sömuleiðis sýndar æðar, sem sjást í hitamælingum. Ef frá eru taldar efstu og neðstu æðar í skoltapslistanum er samræmi gott. Þegar dælt var á holuna við borlok sýndu hitamælingar, að aðeins óverulegt vatnsmagn tapaðist út neðan 1700 m dýpis, og að neðan 1900 m dýpis væri holan alveg þétt. Telja verður því víst að þær breytingar sem urðu á skoltapi við borun neðstu 150 m holunnar hafi verið vegna lektarbreytinga ofar í holunni. Hitamælingar við borlok benda ennfremur til að æðarnar á 1600-1700 m dýpi hafi tekið við stórum hluta þess vatns sem dælt var á holuna. Ekki er

því að vænta að minni háttar æðar ofan þess dýpis komi fram í hitamælingum við borlok. Tafla 3 var endurskoðuð með ofangreindar athugasemdir í huga og dýptarbil þar sem æðar koma fram undirstrikuð.

TAFLA 3 Vatnsæðar í holu KJ-13. Dýpi í m.

| Skoltap          | Hitam/borlok     | Hitam/upph. |
|------------------|------------------|-------------|
| <u>1220-1240</u> | 1290?            |             |
| <u>1350-1400</u> |                  |             |
| 1490-1510        | <u>1500</u>      |             |
| 1580-1605        | <u>1580-1590</u> |             |
| <u>1635-1650</u> |                  |             |
| 1685-1700        | <u>1690-1700</u> | ~1700       |
| 1750-1765        | <u>1760</u>      |             |
| 1815-1835?       | <u>1840</u>      |             |
| 1870-1885?       | <u>1890</u>      |             |
| 1930-1950?       |                  |             |
| 1980-2030?       |                  |             |

Mjög algengt er hér á landi að vatnsæðar séu tengdar innskotum og misgengjum. Því til staðfestingar má nefna, að staðsetningar borhola á tertíerum lághitasvæðum miðast nær eingöngu við þær forsendur. Þykir þar af leiðandi nauðsynlegt að þekkja halla þessara jarðfræðifyrirbæra, en hann getur verið mjög mismunandi. Ef t.d. vatnsæð er tengd berggangi (innskoti) er hún venjulega í sprungum í jöðrum hans eða í uppbrotnu grannbergi. Þegar borhola sker slika æð, verður vart við hana um leið og sprungan er snert. Ef ganginum hallar mikið (frá láréttu) getur neðsti hluti opnunar frá sprungunni inn í holuna legið nokkrum tugum metra neðar en fyrst var vart við hana. Þetta er nefnt hér til að skýra út þann mun sem getur verið á staðsetningum á vatnsæðum útfrá skolvatnsbreytingum annars vegar og hitamælingum hins vegar.

- 1220 - Mælist skoltap. Ekki kemur neitt fram í hitamælingu nema ef vera  
1240 m skyldi í 1290 m. Í 1230 m eru móttveggja dólerítinnskota og  
er þar einnig áberandi lágt neftrónugildi.
- 1350 - Mælist skoltap. Ekki kemur neitt fram í hitamælingu. Milli 1370  
1400 m og 1380 m eru neðri mörk þykka dólerítsinnskotsins, sem getið er  
um hér að ofan.
- 1490 - Mælist skoltap og í 1500 m kemur æðarvottur fram á hitamælingu.  
1510 m Líklegasti staðurinn er í 1505 - 1510 m við lagamót. Ofan við  
er 5 m dólerítinnskot, en neðan við fersklegt innskot með miklu  
hærra viðnámi.
- 1580 - Skoltap mælist og breyting verður á hitaferli. Á þessu bili  
1605 m skiptast á móbergs- og basaltlög en neðst eða í rúnum 1600 m var  
borað inn í dólerítinnskot. Jafnframt hækkar viðnám og neftrónu-  
dreifingin þar snögglega.
- 1635 - Samkvæmt skoltapsmælingum gæti verið æð á þessu bili, en hita-  
1650 m mælingar gefa slikt ekki til kynna. Jarðfræðilegar aðstæður eru  
sem hér segir: Undir þunnu móbergslagi tekur við 6 m þykkt  
fersklegt basalt á 1638 m dýpi. Þar neðan við er 5 m þykkt mó-  
bergslag, en í tæpum 1650 m kemur í ljós dólerítinnskot, sem  
nær niður í 1654 m.
- 1685 - Skoltap í borun, hitamælingar við borlok og við upphitun benda  
1700 m til þess að á þessu dýpi sé aðalædin í holunni. Engar ákveðnar  
vísbendingar um æðar á þessu dýpi koma fram í öðrum mælingum.  
Lega jarðлага er sem hér segir. Frá 1685 m niður í 1692 m er  
finkornótt basalt. Þar neðan við eru um 2 m af basaltríkri  
breksíu, en frá 1694 m niður í 1699 m er dólerítinnskot. Þunn  
móbergsbreksía liggur þar neðan við.
- 1750 - Skoltap mælist og breyting verður á hitaferli í 1760 m. Æð gæti  
1765 m verið í móbergsbreksíu milli dólerítinnskota í 1765 m.

- 1815 - Skoltap mælist, en breyting kemur fram á hitaferli í 1840 m.
- 1835 m Erfitt er að staðsetja þetta á jarðlagasniði, sem á þessu bili sýnir nokkur dólerítinnskot, en samkvæmt neftrónudreifingu væri líklegasta staðsetningin í 1827 m eða í 1847 m.
- 1870 - Skoltap mælist og breyting verður á hitaferli í 1890 m. Líkleg-
- 1885 m asti staðurinn er í 1878 m, en það er á mótum dólerítinnskots og líklega fínkornóttis inniskots. Ennfremur styðja viðnáms- og neftrónumælingar það.
- 1930 - Skoltap mælist. Líklegasti staðurinn í nágrenni við þennan stað
- 1950 m mun vera á bilinu 1960-1965 m dýpi. Það er í móbergsbreksíu ofan á þykku súru inniskoti.
- 1980 - Skoltap mælist. Tveir staðir koma hér helst til greina. Annars
- 2030 m vegar við neðri jaðar súra inniskotsins á 1990 m dýpi sem getið er um hér að ofan. Hins vegar í útfellingarríkri móbergsbreksíu á 2020 m dýpi.

#### 4.2 Hitastig

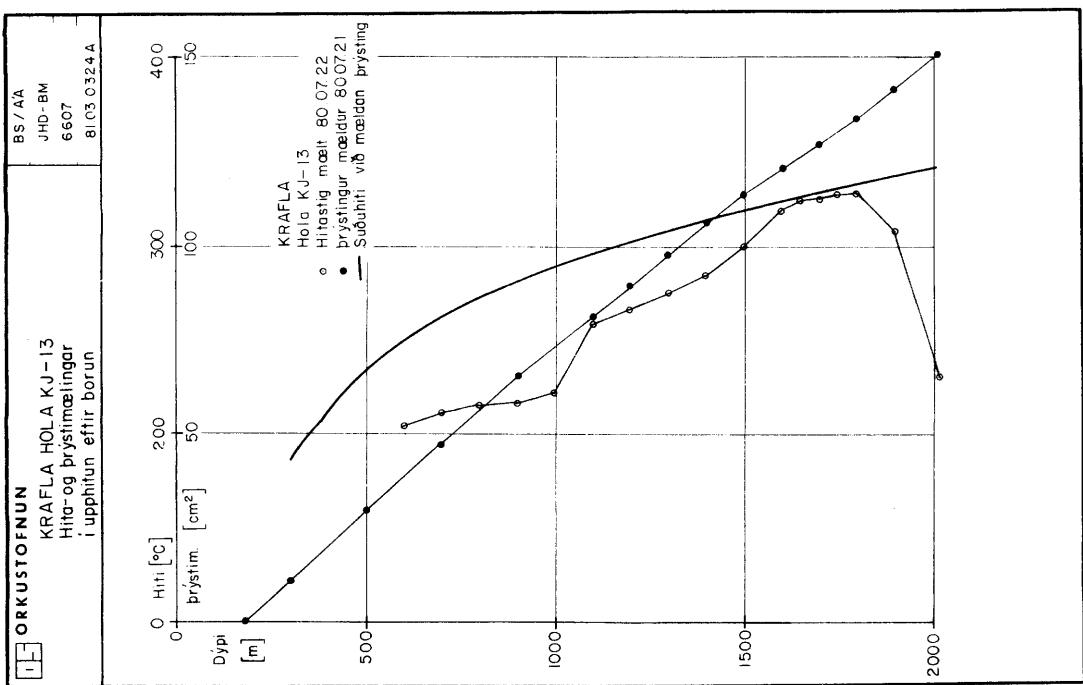
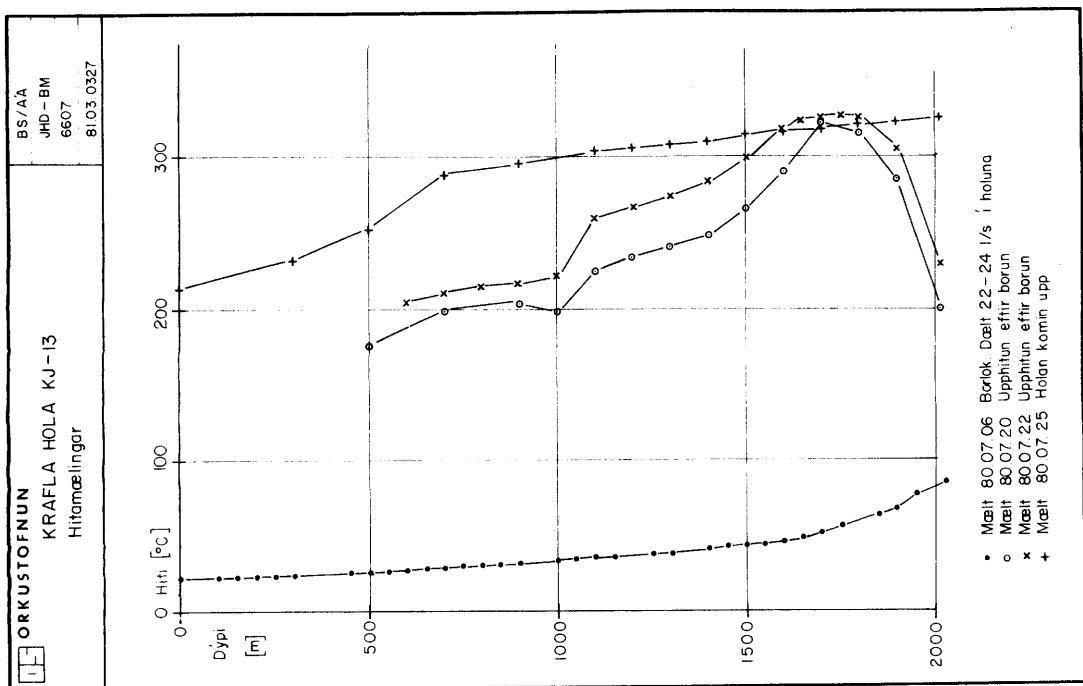
Hola KJ-13 er á þeim stað á Kröflusvæðinu sem mest hefur verið borað í. Hitamælingar í holunum umhverfis gáfu því nokkra hugmynd um hvaða berghita væri að vænta í KJ-13. Gert var ráð fyrir 210-220°C í efra kerfi allt niður á 950-1200 metra dýpi, en þar fyrir neðan sjóðandi kerfi u.p.b. 300°C heitu í toppinn, en í 2000 metrum væri hitastigið 340°C. Í þessum kafla verður reynt að sýna fram á að hitamælingar í KJ-13 styðji þennan berghitaferil.

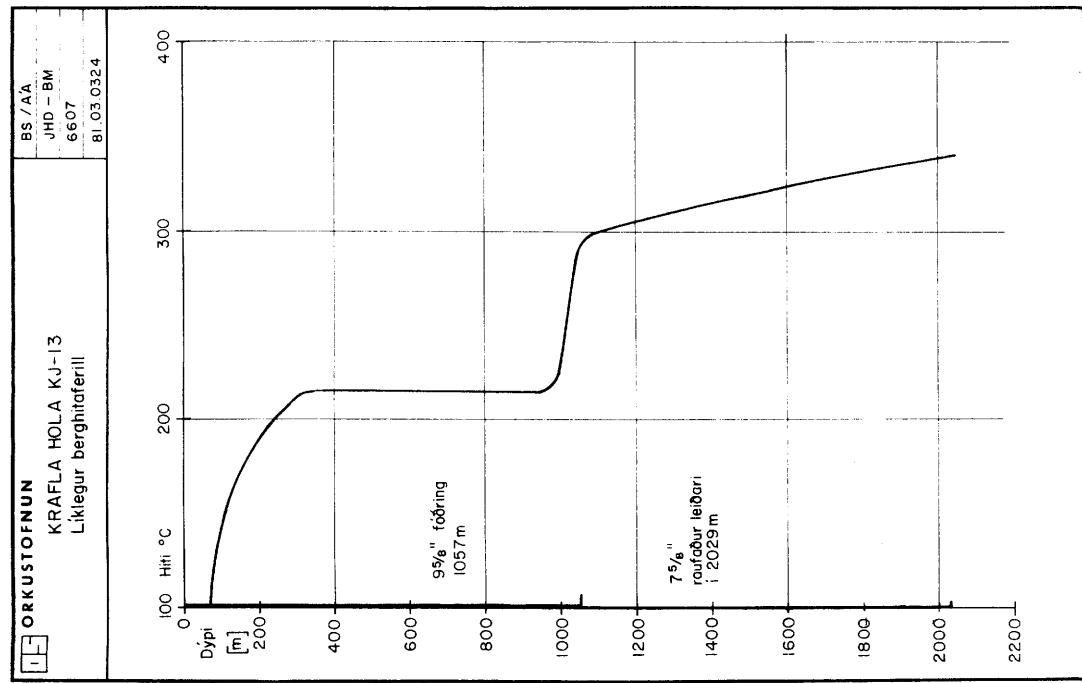
Áreiðanlegasta mat á berghita við Kröfluholur fæst út frá hitamælingum gerðum í holunum á upphitunartímabilinu eftir borun. Upphitun KJ-13 hófst við borlok þegar ádælingu lauk (11. júlí kl. 16:00). Fyrsta hitamæling var þó ekki gerð fyrr en 19. júlí. Í millitiðinni hafði borinn verið fluttur af holunni og holutoppur settur í staðinn. Upphitunin gekk hratt fyrir sig. Fljótlega fór að sjóða í holunni á u.p.b. 1700 m dýpi og "kom holan upp" 24. júlí. Upphitunin tók því tæplega tvær vikur, sem er í styttra lagi miðað við aðrar holur í Kröflu. Alls voru gerðar þrjár hitamælingar í holunni í upphitun og ein eftir að hún var komin undir þrýsting.

Á mynd 21 er sýnd hitamæling frá 22. júlí, sömuleiðis er þar sýnd þrýsting meðgerð degi fyrr, og suðumarksferill teiknaður í samræmi við mældan þrýsting. Samkvæmt mælingunni er kyrrstæð vatnssúla (ekkert millirennslí eða suða) í holunni, þegar mælt er. Mælt hitastig er því alls staðar lægra eða jafnt og berghiti. Ennfremur lætur nærri að suðumarksferillinn á myndinni skilgreini efri mörk mögulegs berghitastigs. Ef litið er á þessi mörk, sem berghitinn verður að liggja á milli, sést að hann er vel ákvarðaður á dýptarbilinu 1600-1800 m. Hitastig þar er 320-330°C og við suðumark. Í botni gæti berghiti verið langt undir suðumarki skv. þessari mynd, en hitamæling frá 25. júlí (sjá mynd 22) sýnir hins vegar að botnhiti er  $\geq 325^{\circ}\text{C}$ . Hins vegar verður sú mæling ekki notuð til að afmarka frekar berghitann ofan 1600 m dýpis. Holan var komin upp þegar mælingin var gerð og verulegt gufustreymi því upp hana eins og kemur fram á myndinni. Ef tveggja kerfa líkanið af Kröflusvæðinu er borið saman við þær skorður sem hér hafa verið settar á berghitastig fæst að efra kerfið gæti náð í allt að 1000-1100 m, og hitastig í því er ekki lægra en 210-215°C. Í 1100 m dýpi er berghiti hins vegar  $\geq 260^{\circ}\text{C}$  sem er mun hærra en mælst hefur nokkur staðar í efra kerfinu. Telja verður því víst að þar sé neðra kerfinu náð og berghiti við suðumark þaðan og allt niður í botn. Niðurstæða þessa mats verður því hitaferillinn sem sýndur er á mynd 23.

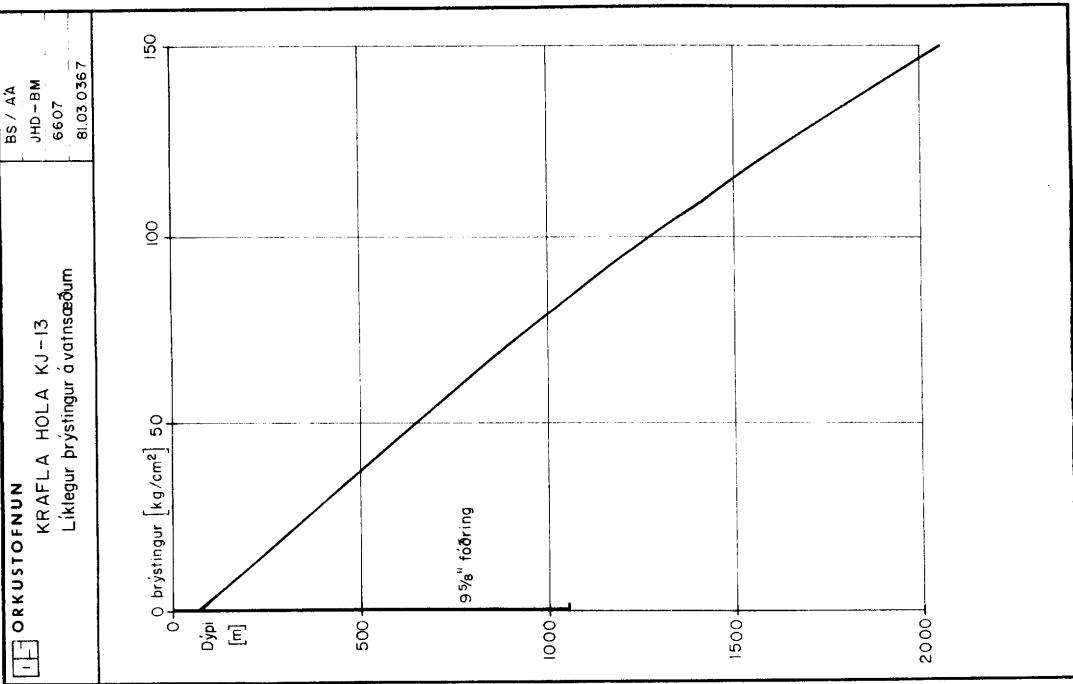
#### 4.3 Þrýstingur

Vegna suðu er einrætt samband milli hita og þrýstings í æðum í neðra kerfinu á Kröflusvæðinu. Berghitaferillinn fyrir KJ-13 (mynd 23) ákvarðar því þrýsting á öllum æðum neðan 1100 m dýpis. Ofan þessa dýpis eru allar æðar bak við steypta fóðringu. Þrýstingur þeirra skiptir því ekki máli fyrir vinnslueiginleika holunnar. Á mynd 24 er sýndur liklegur þrýstiferill allra æða holunnar. Við gerð ferilsins er ofan 1100 m stuðst við þrýsting í efra kerfinu, eins og hann er í nálægum holum, en neðan 1100 m dýpis er suðuþrýstingur fundinn út frá berghita. Þrýstimælingar í holunni (mynd 25) gáfu aðeins upplýsingar um þrýsting á 1600-1700 m dýpi, en þar er samkvæmt þrýsti- og hitamælingum á mynd 21 besta vatnsæð holunnar.



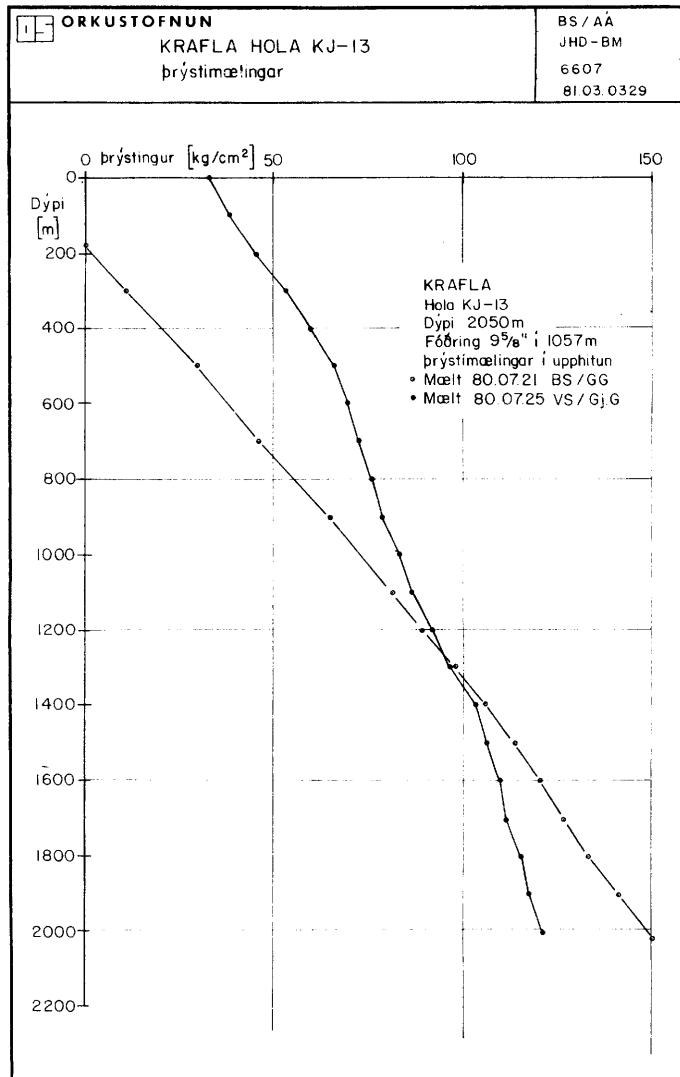


MYND 23 Liklegur berghiti í KJ-13



MYND 24 Liklegur þrystingur á vatnsæðum í KJ-13

Lok



MYND 25 Þrýstingsmælingar í KJ-13

Seinni þrýstimsælingin, mynd 25, átti að skera endanlega úr um hvar besta æðin væri. Gufustreymið í holunni, sem þá var byrjað, reyndist hins vegar hafa í för með sér verulegan niðurdrátt, sem m.a. kom fram sem hitastigslækkun á 1600-1700 m dýpi þegar holan "kom upp". Mældur þrýstingur er því truflaður af rennsli og því ekki hægt að bera hann saman við fyrri mælingu. Gjöfulasti hluti holunnar er því ekki nákvæmlega staðsettur útfrá þrýstimsælingum, en færa má rök fyrir því að hann sé á 1600-1700 m dýpi.

#### 4.4 Vatnsleiðni

##### 4.4.1 Þrepidæling

Dagana 10. og 11. júlí 1980 voru gerðar dæluprófanir í holu KJ-13 við Kröflu. Tilgangur prófananna var að fá mat á vatnsleiðni og öðrum eðlis-eiginleikum þess bergs sem opið er að holunni ásamt fyrstu upplýsingum um hvaða árangurs mætti vænta af boruninni.

Fyrri daginn var þrepidælt á holuna fljótlega eftir að raufaðri fóðringu hafði verið komið fyrir í henni. Eftir í holunni hafði orðið um 30 cm langt millistykki ofan á fóðringunni á um 1027 m dýpi. Þetta millistykki hafði ferhyrnt op sem var um 10 cm (4") á kant. Innanmál raufuðu fóðringarinnar er aftur á móti 17,7 cm (6,97") og steyptu fóðringarinnar til yfirborðs er 22,7 cm (8,92"). Holan er opin um raufuðu fóðringuna frá 1083 m dýpi til botns á 2050 m.

Borstengur náðu niður í 300 m. Þrýstingemi var settur niður á 220 m dýpi og merki frá honum var skrifað samfellt út á yfirborði. Áður en dæling hófst var búið að dæla í nokkra tíma 38,9 l/s á holuna. Þrepidæling var síðan gerð í þrepunum 0 - 14 - 22 - 27 - 37 - 0 l/s. Hita á dæluvatni var um 23,5°C. Við ádælingu reis vatnsborð í holunni og þegar dælingu var hætt féll það niður. Viðbrögð jarðhitakerfisins við þrýstingsbreytingum voru notuð til að reikna út stuðla sem lýsa kerfinu.

Við úrvinnslu þessara mælinga voru öll þrepin tekin saman og túlkuð eins og um eitt þrep væri að ræða. Þetta er hægt að gera með því að leggja áhrif frá fyrri þrepum við þau þrep er síðar koma. Þannig fæst meðaltal fyrir alla mælinguna og gefur það bestu niðurstöður, því búast má við að litlar breytingar verði í eðliseiginleikum bergs og holu meðan á mælingu stendur. Helsta breyting sem hægt er að búast við meðan mæling stendur yfir er á tengslum holunnar við jarðhitakerfið. Þessi tengsl geta annað hvort orðið greiðari (opnun sprungna og æða) eða tregari (þéttung æða). Breyting af þessu tagi kemur mjög vel fram þegar unnið er úr mælingum eins og fyrr er nefnt. Á mynd 26 sést að litlar breytingar verða af þessu tagi meðan á ádælingunni stendur. Niðurstöður dæluprófananna eru sýndar á myndum 26 og 27.

Daginn eftir, þegar fyrrnefnt millistykki hafði verið fiskað upp úr holunni, var þrepidælt á hana aftur. Nú voru niðri 285 m af borstöngum og þrýstinemi var settur eins og áður á 220 m dýpi. Í nokkra tíma á undan mælingu var búið að dæla 29,2 l/s á holuna.

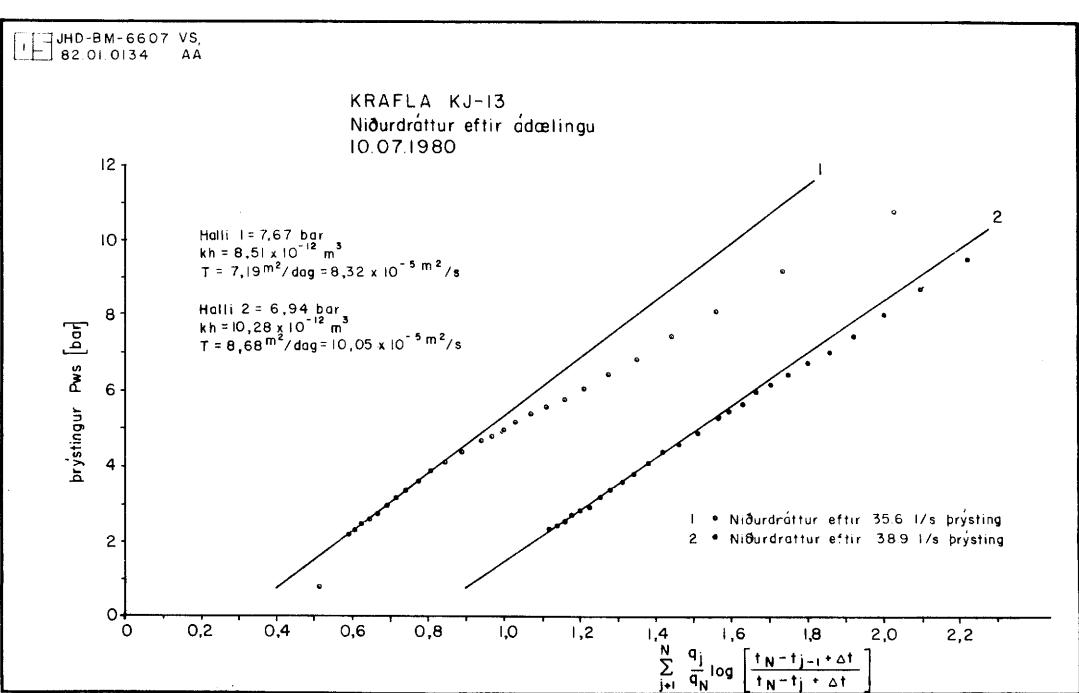
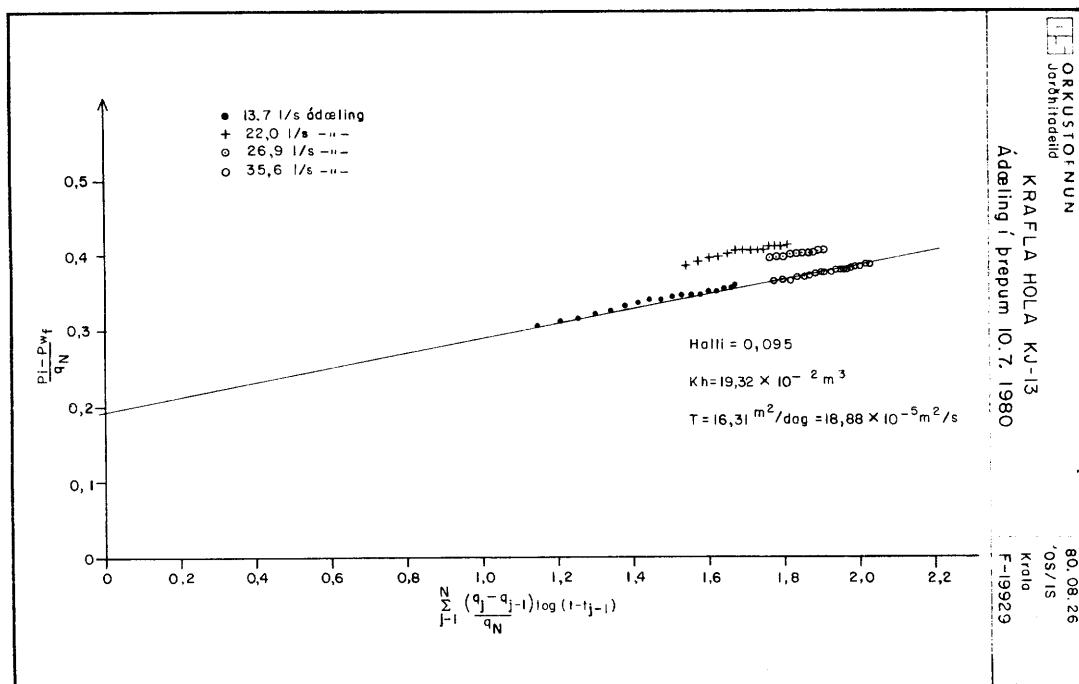
Að þessu sinni var dælt á holuna í þrepnum 0-14-22-39-0 l/s. Eftir að hinni venjulegu þrepidælingu lauk var undirbúið að dæla á holuna með yfirþrýstingi. Var síðan dælt í þrepnum 0-40-60-0 l/s. Yfirþrýstingur varð aldrei meiri en sem samsvarar um 25 m vatnssúlu meðan 60,0 l/s var dælt á holuna.

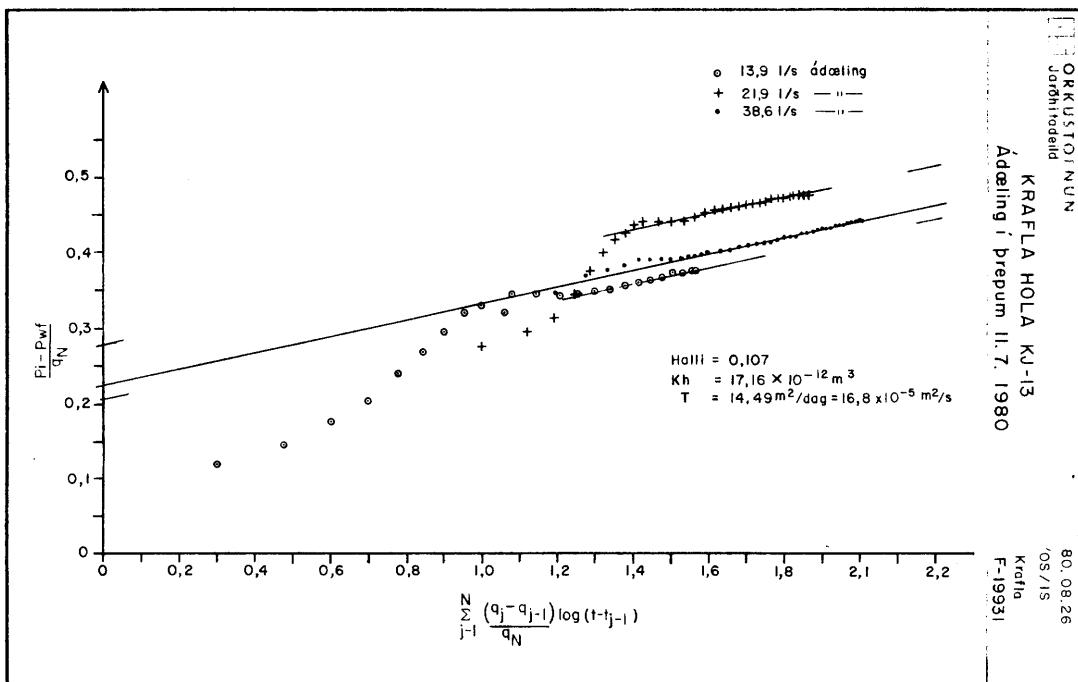
Unnið var úr mæligögnum á sama hátt og áður og eru niðurstöður sýndar á myndum 28 og 29.

Meðaltalsgildi á vatnsleiðni er  $12,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  fyrri daginn en  $9,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  í seinni prófuninni.

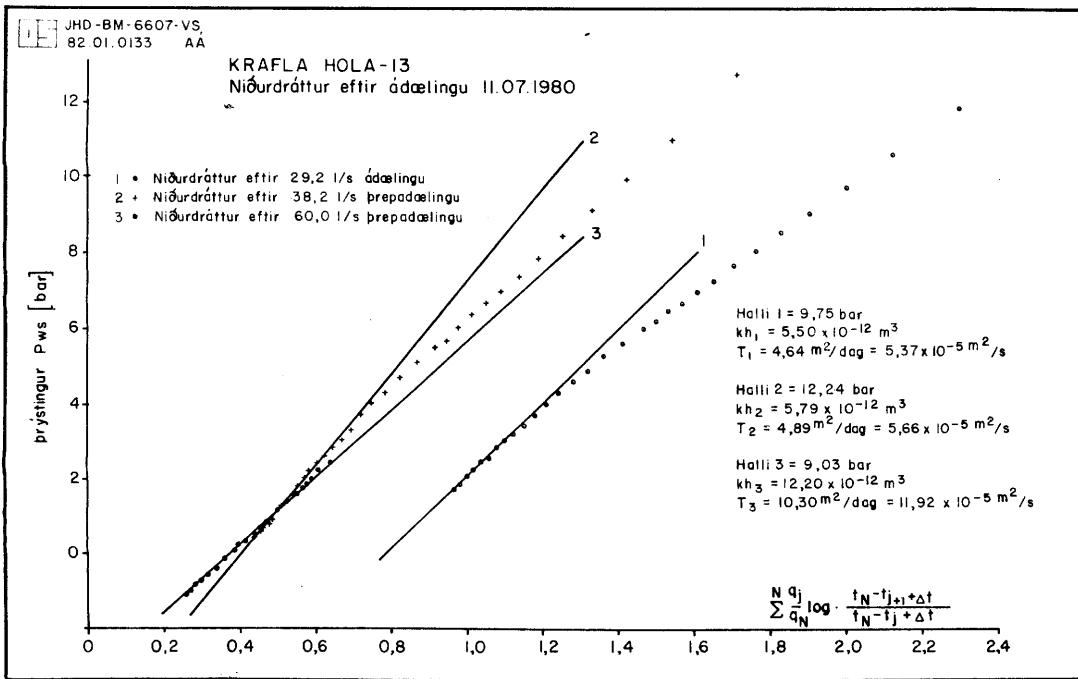
Ekki er hægt að sjá að millistykkið sem varð eftir í holu KJ-13 fyrir fyrri mælinguna hafi haft nein truflandi áhrif á mælinguna eða niðurstöður hennar. Niðurstöðum frá fyrri og síðari mælingunni í KJ-13 ber nokkuð vel saman. Þó benda þær til að holan verði fyrir þéttingu með langvarandi ádælingu. Þetta gæti þó hafa lagast eftir að dælt hafði verið á holuna með yfirþrýstingi.

Niðurstöður fyrir margfeldið kh (permeability thickness), vatnsleiðni T og skinnstuðul eru teknar saman í töflu 3. Meðaltalsgildi á leiðni er  $11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , sem er sama gildi og fékkst við þrepidælingar í holu KG-12. Á mynd 30 er sýnd vatnsborðsstæða í holum KG-12 og KJ-13. Linulegi niðurdráttarstuðullinn er  $3,5 \text{ m s}^{-1}$  fyrir holu KG-12 en  $4,9 \text{ m s}^{-1}$  fyrir holu KJ-13. Í fljótum bragði mætti því ætla að rennsliseiginleikar hola KG-12 og KJ-13 væru svipaðir.





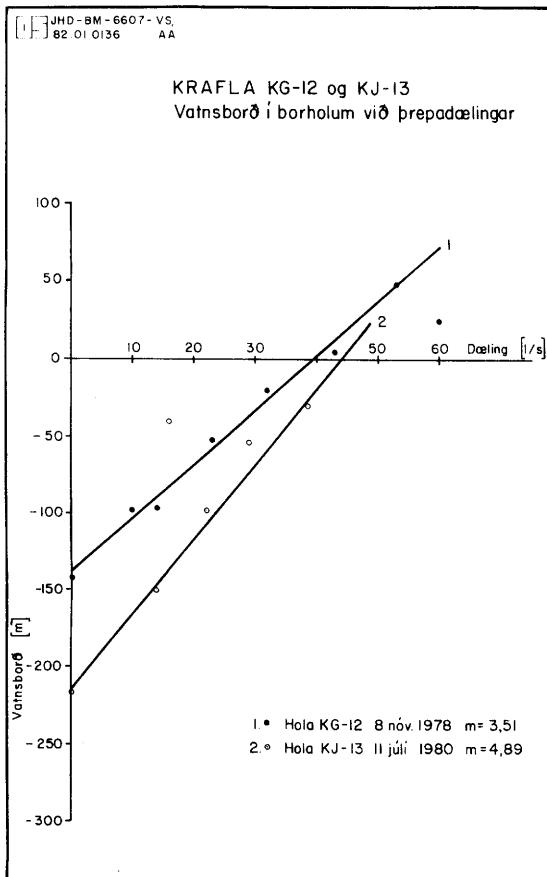
MYND 28 Ádæling í þrepum á KJ-13 þann 11.07.80



MYND 29 Niðurdráttur í KJ-13 eftir ádælingar þann 11.07.80

TAFLA 4 Þrepidælting holu KJ-13 10. og 11. júlí 1980

| Margfeldið<br>$kh \times 10^{-12}$<br>[m <sup>3</sup> ] | Leiðni<br>(Transmissivity)<br>T<br>[m <sup>2</sup> /dag] | Skinnstuðull<br>$T \times 10^{-5}$<br>[m <sup>2</sup> /s] | s    | Athugasemdir  |
|---|--|---|------|---|
| 19,3  | 16,3   | 18,9  | 2,0  | Ádæliprep þann 10. júlí                             |
| 10,3  | 8,7  | 10,1  | -1,1 | Vatnsborðslækkun fyrir þrepidælingu þann 10. júlí   |
| 8,5   | 7,2  | 8,3   | -0,9 | Vatnsborðslækkun eftir þrepidælingu þann 10. júlí   |
| 17,2  | 14,5   | 16,8  | 1,9  | Ádæliprep þann 11. júlí                             |
| 5,5   | 4,6  | 5,4   | 0,0  | Vatnsborðslækkun fyrir þrepidælingu þann 11. júlí   |
| 5,8   | 4,9  | 5,7   | -0,2 | Vatnsborðslækkun eftir þrepidælingu þann 11. júlí   |
| 12,2  | 10,3   | 11,9  |      | Vatnsborðslækkun eftir áþrýstidælingu þann 11. júlí |
|   |  | 11,0  |      | Meðaltal  |



MYND 30 Vatnsborð í KG-12 og KJ-13 við þrepidælingar

#### 4.4.2 Afl og leiðni

Nokkurrar óvissu hefur orðið vart um upplýsingagildi þepadælinga. Hafa menn einkum velt fyrir sér að hve miklu leyti hægt sé að nota aðferðir frá grunnvatnsfræðum á sjóčandi jarðhitakerfi eins og í Kröflu. Spurningar eins og

- Hvers eðlis eru viðbrögð kerfisins við kaldri ádælingu?
- Eru viðbrögðin einkennandi fyrir heitt kerfi eða kælt?
- Hvaða samband er milli  $m^2/s$  í þepadælingum og kg/s af gufu úr holunni? hafa oft komið upp í slíkum umræðum.

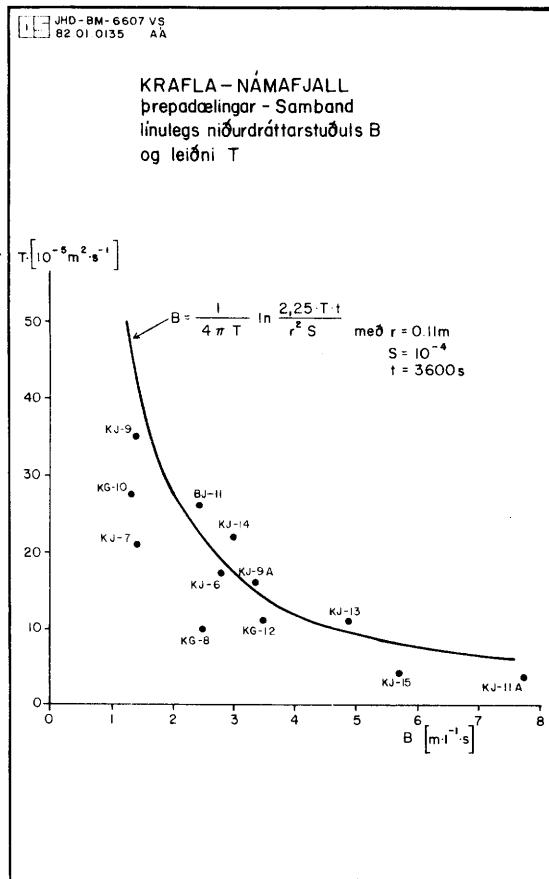
Margar skoðanir eru uppi á þessum málum og hafa jafn vel myndast "skólar" um ákveðin atriði eða ákveðnar aðferðir við meðhöndlun mælinga. Litið hefur þó verið gert af því að nota beinar athuganir til þess að greina á milli mismunandi "skóla".

Í fyrstu samantekt um rennsliseiginleika Kröflusvæðisins (Ómar Sigurðsson & Valgarður Stefánsson 1977) er bryddað á sumum þessara atriða. Þar kemur m.a. fram:

- Leiðni virtist yfirleitt vera hærri ef notaður var B-stuðull en ef tímaferill var notaður.
- Leiðni fundin í heitri blásandi holu var sambærileg við leiðni fundna í kaldari holu ef ekki var leiðrétt fyrir breytingu á seigju vatns með hitastigi.
- Ekki fannst samband milli leiðni og rennslis úr holu.
- Í vatnsholum er samband milli leiðni og niðurdráttar í holunni sjálfri við blástur.

Í þessum kafla verða þessi atriði endurskoðuð í ljósi þeirrar reynslu sem nú liggur fyrir.

Á mynd 31 er sýnt samband milli vatnsleiðni T og línulegs niðurdráttarstuðuls B. Heildregni ferillinn er yfirleitt notaður þegar aðferð Jacobs er notuð við að ákvarða T út frá B. Punktar tákna mæld gildi í holum í Kröflu og einni holu í Námafjalli. Dreifing mæligildanna bendir ekki til að marktækur munur sé á aðferðunum.

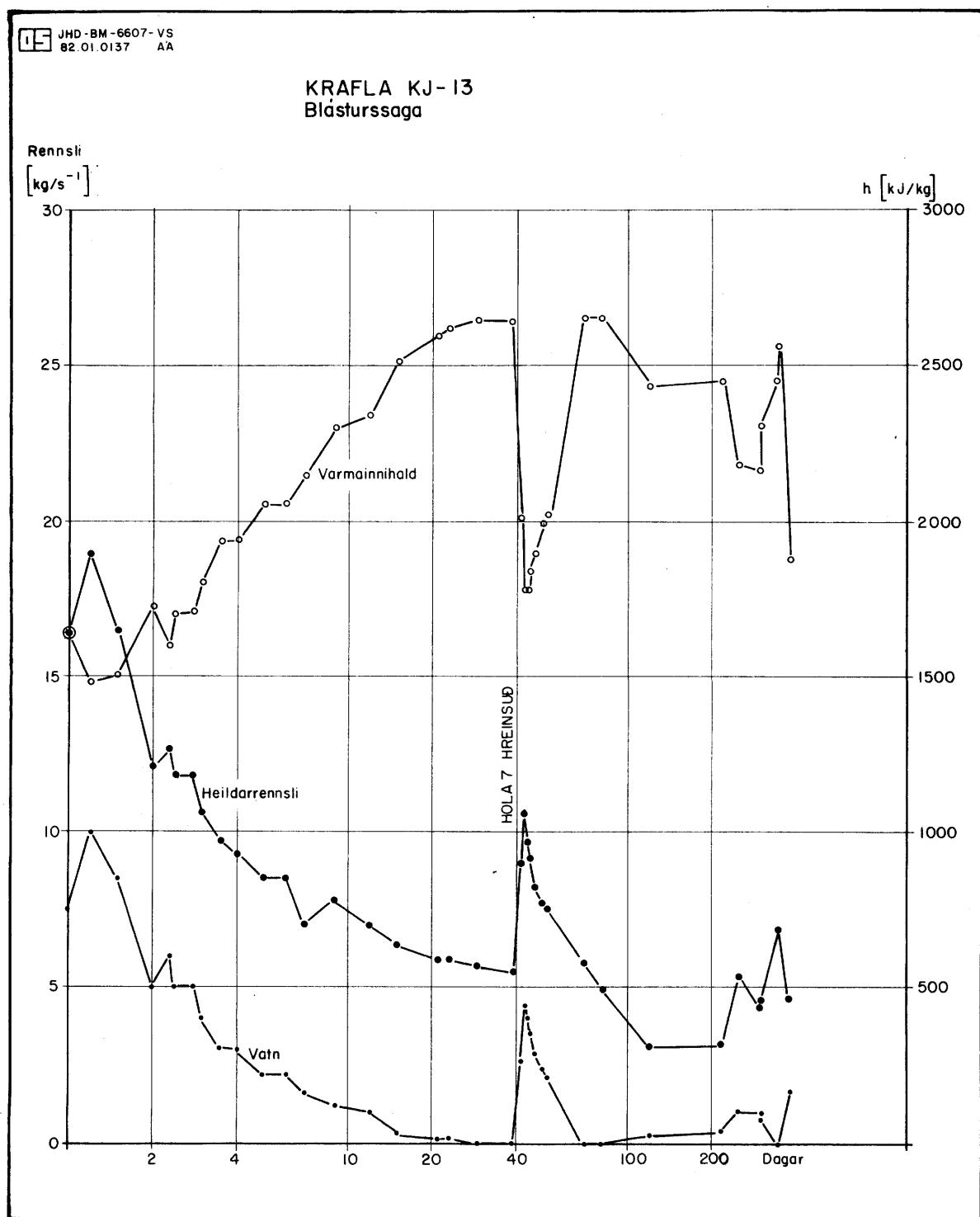


MYND 31 Samband vatnsleiðni T og linulegs niðurdráttarstuðuls B

Ef litið er eingöngu á holur boraðar 1976 (holur 6-10) er munurinn þó marktækur eins og Ómar Sigurðsson og Valgarður Stefánsson (1977) geta um. Ástæðan er talin vera sú að rennsli milli æða hafi truflað þrepadælingar tiltölulega meira 1976 en síðar (sjá t.d. myndir 16 og 30 í skýrslu Ómars Sigurðssonar og Valgarðs Stefánssonar 1977). Dreifing mæligilda á mynd 31 er allveruleg og endurspeglar það að margir óþekktir skekkjuvaldar hafa áhrif á mælingarnar.

Niðurstafaðan að ekki sé tölfræðilegur munur á því að nota tímaferla eða aðferð Jacobs við ákvörðun á vatnsleiðni þýðir einnig að seiling (range) aðferðanna sé mjög svipuð.

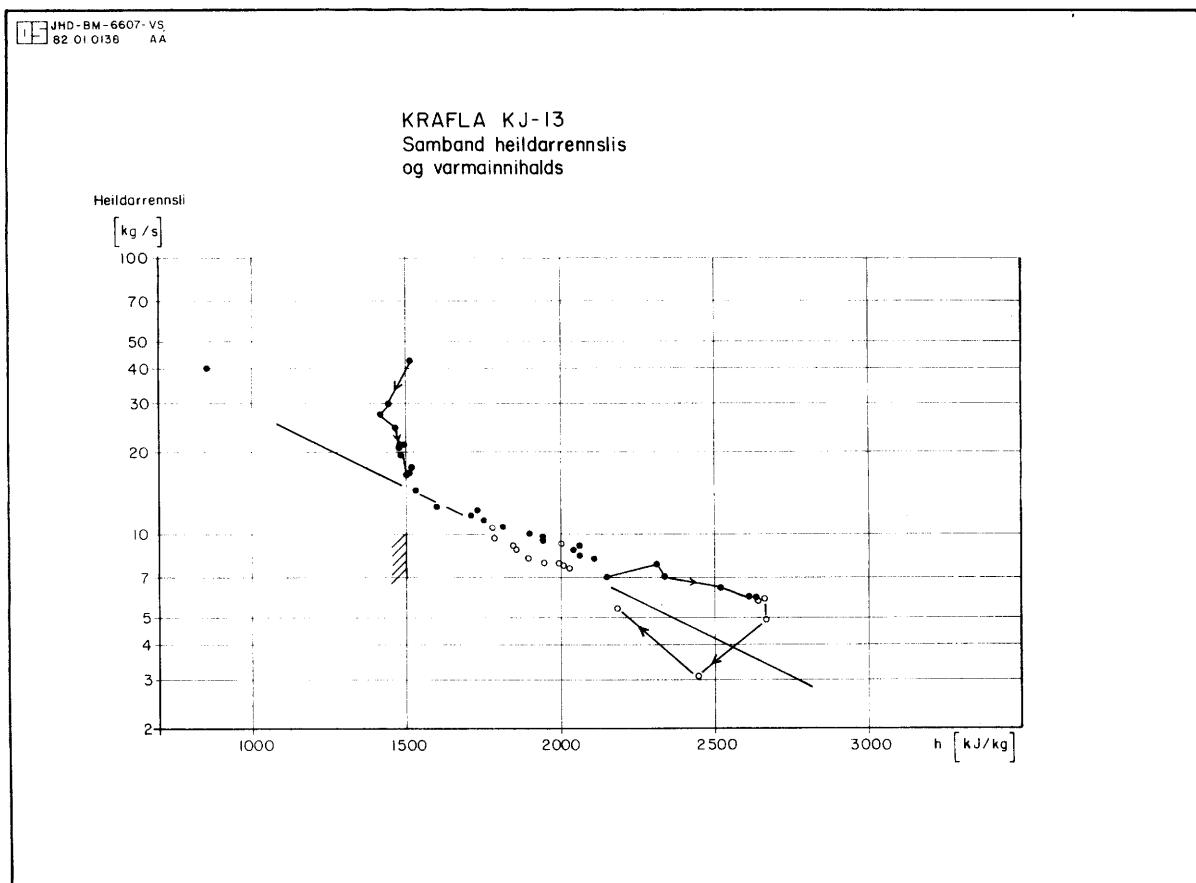
Eitt af séreinkennum Kröflusvæðisins eru hinari miklu breytingar sem verða á varmainnihaldi og rennsli á fyrstu vikum blásturs. Þessar aðstæður undirstríka að það er ekki einfalt mál að finna reynslustuðul sem breytir  $\text{m}^2/\text{s}$  af vatnsleiðni í kg/s af gufurennslu.



MYND 32 Rennsli og varmainnihilad KJ-13 sem fall af tíma

Nokkuð hefur verið unnið að þessum málum og verður hér getið hluta af þeim niðurstöðum sem nú liggja fyrir.

Á mynd 32 er sýnd blásturssaga KJ-13. Þessi blástur sýnir sömu aðaleinkenni og koma fram í öðrum tveggja fasa holum í Kröflu og Námafjalli (sjá Stefánsson and Steingrímsson 1980). Eftir 39 daga blástur (80-09-05) kom skyndilega vatnspúls i rennslið. Vatnsfasinn minnkar síðan með svipuðum hraða og í byrjun blásturs. Eftir liðlega 100 daga blástur lækkar varmainnihald vökvans og heldur sú þróun áfram fram yfir 200 daga blástur (síðasta aflmæling frá 81-03-04).



MYND 33 Samgang varmainnihalda og heilarrennslis úr KJ-13

Samgang milli varmainnihalda og heilarrennslis er sýnt á mynd 33. Á myndinni sést að á vissu blástursskeiði er línulegt samgang milli lógaritma heilarrennslis og varmainnihalda. Athuganir á blásturseiginleikum átta borhola sem vinna úr sjóðandi jarðhitakerfi (Valgarður Stefánsson, óbirt gögn) sýna að sambandið:

$$\log Q = a + b \cdot h \quad (1)$$

þar sem:

$Q$  = heildarrennsli,  $h$  = varmainnihald rennslis og  $a$  og  $b$  eru fastar, gildir fyrir blásturssögu allra holanna.

Þar að auki er stuðullinn  $b$  sá sami í öllum átta tilvikunum. Þetta er túlkað á þann hátt að breytingin í rennsli og varmainnihaldi á þessu skeiði blásturs stjórnist eingöngu af hlutfallslegrí leiðni vatns og gufu. Um tveggja fasa rennsli úr holu gildir almennt

$$Q_w = - \rho_w \frac{k}{\mu_w} F_w (e) A \cdot P' \quad (2)$$

$$Q_s = - \rho_s \frac{k}{\mu_s} F_s (e) A \cdot P' \quad (3)$$

þar sem  $w$  táknað vatnsfasa en  $s$  gufufasa

$Q$  = rennsli

$\rho$  = eðlismassi

$k$  = lekt (permeability)

$\mu$  = seigja (viscosity)

$e$  = mettun (saturation)

$F$  = lektartafstuðlar (permeability reduction factors)

$A$  = þverskruðarflötur

$P'$  = þrýstifallið inn í holuna

$$h = \frac{\rho_w h_w F_w (e) / \mu_w + \rho_s h_s F_s (e) / \mu_s}{\rho_w F_w (e) / \mu_w + \rho_s F_s (e) / \mu_s} \quad (4)$$

og heildarrennsli

$$Q = Q_w + Q_s = \left[ \frac{\rho_w F_w (e)}{\mu_w} + \frac{\rho_s F_s (e)}{\mu_w} \right] B \quad (5)$$

Þessar tvær jöfnur sýna samband milli  $Q$  og  $h$ . Gallinn er bara sá að hlutfallsleg leiðni milli vatns og gufu í tveggja fasa streymi [þ.e.  $F_w(e)$  og  $F_s(e)$ ] er ekki þekkt.

Nú er

$$h \cdot Q = h_w Q_w + h_s Q_s \quad (6)$$

og við mettun er

$$h_s = h_w + L \quad (7)$$

$h$  = varmainnihald

$L$  = uppgufunarvarmi

Á meðan tveggja fasa hola er að þurrka sig gildir jafna (7). Jöfnur (6) og (7) gefa þá

$$h = \frac{h_w (\Omega_w + Q_s) + L Q_s}{Q} \quad (8)$$

$$h = h_w + L \frac{Q_s}{Q} \quad (9)$$

Jafna (3) sett inn í jöfnu (9)

$$h = h_w + \frac{L}{Q} k \frac{\rho_s}{\mu_s} F_s (e) A \cdot P' \quad (10)$$

í holuinnstreymi er reiknað með

$$k \frac{\rho_s}{\mu_s} A P' = \text{konst} = \Omega \quad (11)$$

Jafna (10) verður þá

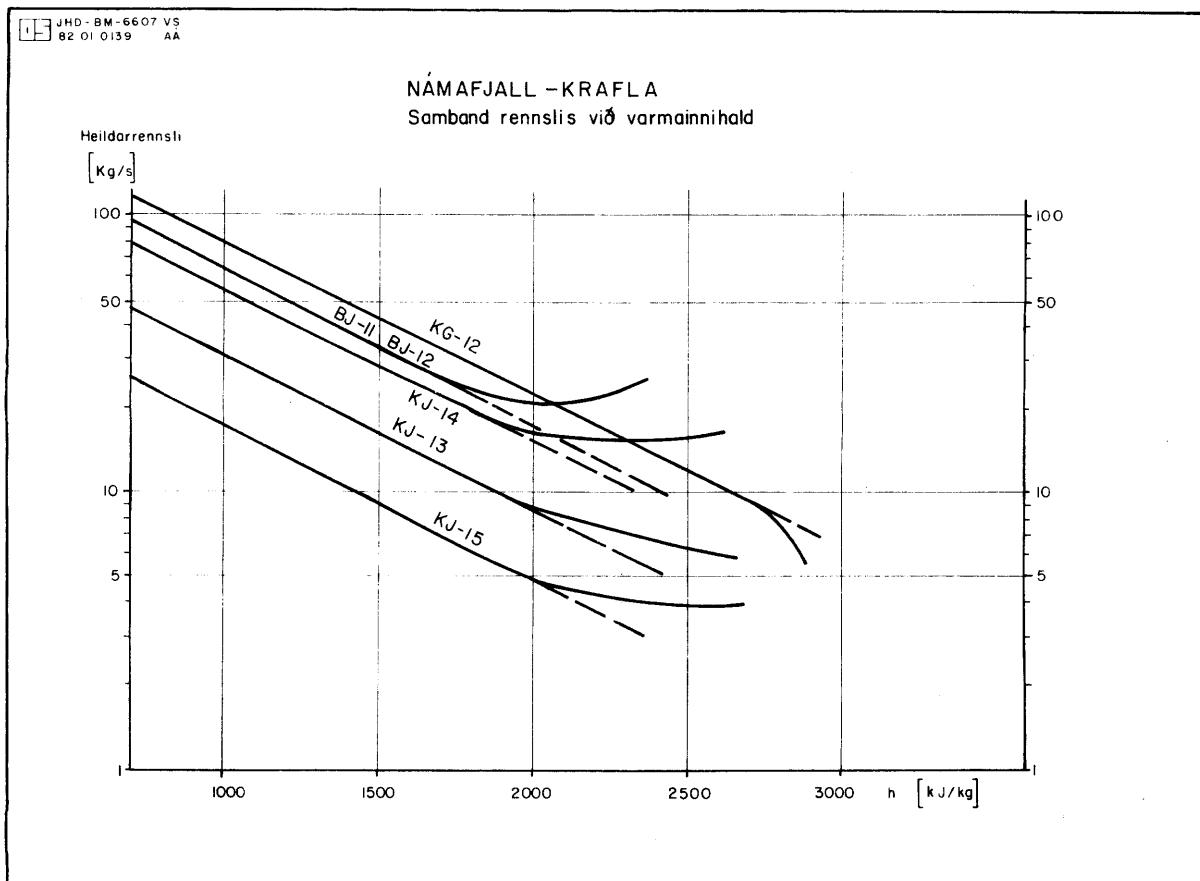
$$\frac{h - h_w}{L} = \frac{\Omega F_s (e)}{Q} \quad (12)$$

$$e = \frac{\Omega F_s (e)}{Q} \quad (13)$$

$$F_s (e) = \frac{e \cdot Q}{\Omega} \quad (14)$$

Randskilyrði er  $F_s (1) = 1$ , sem gefur að  $Q = \Omega$  þegar rennsli vatnsfasa hættir. Þá er varmainnihald rennslis um 2700 kJ/kg. Rennsli holu með 2700 kJ/kg varmainnihaldi er því í beinu hlutfalli við vatnsleiðni bergsins eins og sést á jöfnu (11). Að svo miklu leyti sem blástur fylgir lögmálinu í jöfnu (1) er hlutfall rennslis úr mismunandi holum

sama og hlutfallið milli vatnsleiðni bergsins í holunum ef samanburðurinn er gerður við sama varmainnihald í streymi. Hins vegar segir það lítið um eiginleika bergsins að bera saman rennsli með mismunandi varmainnihald. Af ýmsum ástæðum hefur verið valið að miða vatnsleiðni bergsins við rennsli með 2700 kJ/kg varmainnihaldi. Yfirleitt fylgja holurnar ekki lögmálinu í jöfnu (1) á þessum stað í Q - h planinu, en línulegi hlutinn hefur verið framlengdur til þess að fá viðmiðunartölur í einstökum holum. Kennilínur einstakra hola eru sýndar á mynd 34. Á vissu skeiði blásturs bregða holurnar út frá línulegu þróuninni, yfirleitt þannig að rennsli eykst miðað við jöfnu (1). Þetta hefur verið tulkat þannig að kæling sem verður á bergenu samfara blæstri vikki út sprungur og auki þannig vatnsleiðni bergsins (Stefánsson and Steingrímsson 1980). Rennsli með 2700 kJ/kg varmainnihaldi fengið úr mynd 34 er sýnt í töflu 5.



MYND 34 Kennilínur borhola í Kröfli og Námafjalli í Q-h plani

TAFLA 5 Framreknað rennsli með 2700 kJ/kg varmainnihaldi úr borholum í Kröflu og Námafjalli.

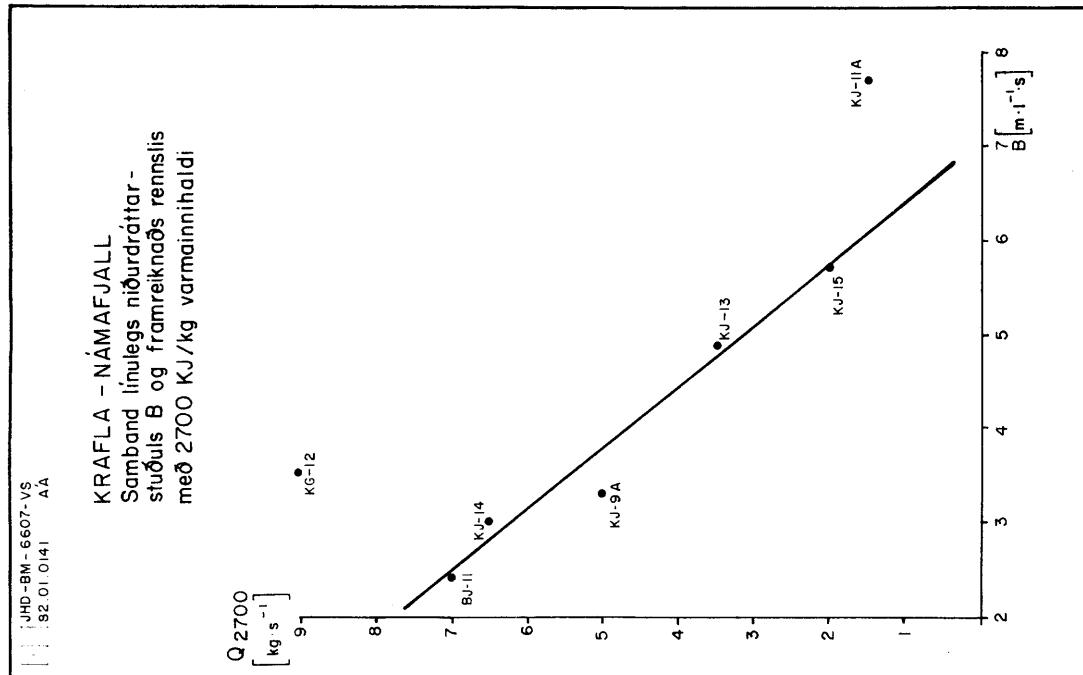
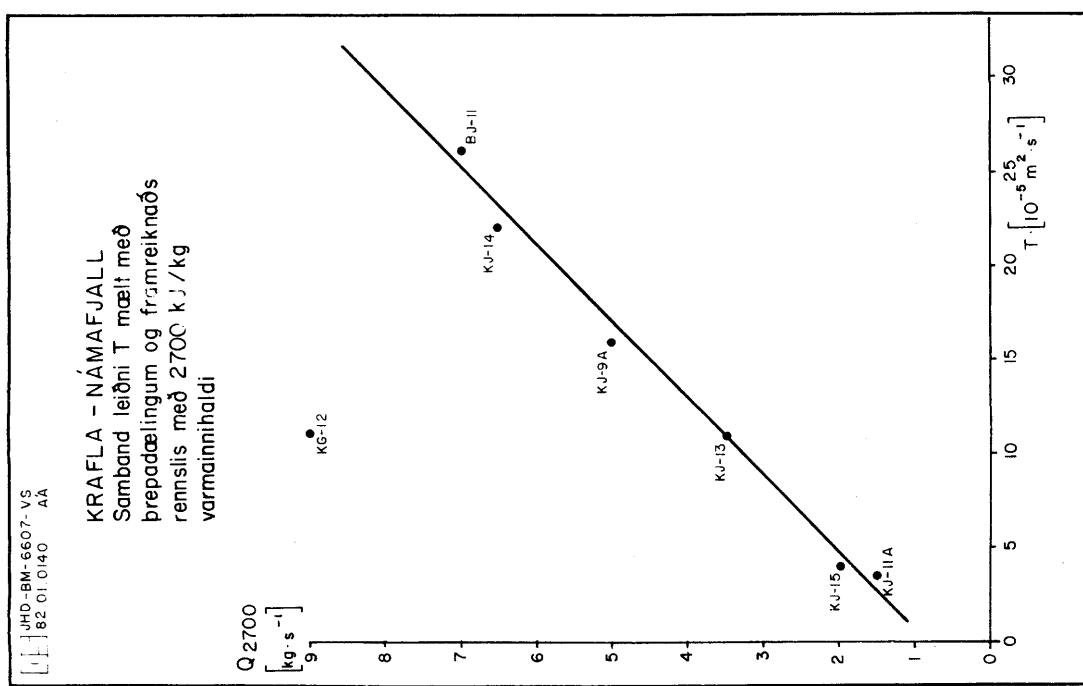
| Hola    | $Q_{2700}$ |
|---------|------------|
| KG-12   | 9 kg/s     |
| KJ-13   | 3,5 "      |
| KJ-14   | 6,5 "      |
| KJ-15   | 2 "        |
| BJ-11   | 7 "        |
| KJ-9 A  | 5 "        |
| KJ-11 A | 1,5 "      |

Tvær síðasttöldu holurnar í töflunni sýna ekki breytingu á varmainnihaldi með tima, en tölurnar hér að ofan eru framreknaðar með sömu hallatölu og fengist hefur fyrir hinar holurnar.

Í þeim holum sem taldar eru í töflu 5 hefur vatnsleiðni verið ákvörðuð með þrepadælingum. Á mynd 35 er sýnt samband milli leiðni T sem fengin er úr tímaferlum þrepadælinganna og stærðarinnar  $Q_{2700}$  sem er mælikvarði á vatnsleiðni bergsins eins og hún kemur fram í blásturssögu holanna.

Að holu 12 frátalinni er mjög góð fylgni milli þessara stærða, og segja má að hér sé fundinn langþráður reynslustuðull sem breytir  $m^2/s$  af vatnsleiðni i kg/s af gufu. Samanburður á linulegum niðurdrætti B og  $Q_{2700}$  gefur líka góða fylgni eins og sést á mynd 36. Í þessu tilviki sker hola 12 sig einnig úr fjöldanum og sama má segja um holu 11 A (þ.e. eftir að efra kerfi var lokað af í holunni). Á þessu stigi er ekki fyrir hendi skýring á þessari afbrigðilegu hegðun KG-12.

Athygli vekur að þessi aðferð við að meta hlutfallslega vatnsleiðni bergsins virðist nothæf á holu 9 A (þ.e. hola 9 eftir dýpkun). Eins og fram kemur í jöfnu (11) er forsenda samanburðarins sú að þrýstifallið úr jarðhitakerfi inn í holu sé mjög svipað í holum, og vitað er að það er yfir 100 bar í holum í Kröflu sem vinna úr sjóðandi kerfi. Innrennsli í KJ-9 er hins vegar talið vera vatnsfasi. Niðurstöður hér að ofan benda því til að í blæstri sé mjög mikill niðurdráttur í holu KJ-9.



MYND 35 Krafla-Námafjall. Samband milli leiðni  $T$   
mæld með þreppadælingum og framreiknaðs  
rennslis með 2700 kJ/kg varmainnihaldi

MYND 36 Krafla-Námafjall. Samband milli línu-  
legs niðurdráttarstuðuls  $B$  og fram-  
reiknaðs rennslis með 2700 kJ/kg  
varmainnihaldi

Krafla-Námafjall. Samband milli línu-  
legs niðurdráttarstuðuls  $B$  og fram-  
reiknaðs rennslis með 2700 kJ/kg  
varmainnihaldi

Með því að skoða blásturssögu holu í Q - h plani eins og sýnt er á mynd 33 má fá hugmynd um hvað er að gerast í jarðhitakerfinu. Vatnspúlsinn í KJ-13 er dæmi um þetta.

Fyrsti blástur holunnar er táknaður með fylltum hringjum, en blástur eftir 5. september 1980 með opnum hringjum. Blásturssaga byrjar efst til vinstri á myndinni. Í byrjun er streymið mestmagnis í vatnsfasa vegna kælingaráhrifa frá borun. Hitastig á aðalæð á 1600-1700 m dýpi er  $320-330^{\circ}\text{C}$  (sjá kafla 3.2), en varmainnihald vatnsfasa með það hitastig er nálægt 1500 kJ/kg. Linulegi hluti grafsins byrjar því við þetta gildi varmainnihalds. Holan þróast nú eftir ferlinum og nær því að þorna. Síðan kemur stökk 5. september 1980 og blásturinn kemur inn á sama feril við 10 kg/s og 1800 kJ/kg. Síðan þróast blásturinn á sama hátt og áður. Þetta er túlkað þannig að vatnspúlsinn komi inn í jarðhitakerfið (en sé t.d. ekki leki á fóðurröri) og að vatnsleiðni bergsins sé sú sama fyrir og eftir þennan púls.

Síðustu breytingar í varmainnihaldi rennslis (táknaður með örvum á mynd 33) benda einnig til að vatnsleiðni bergsins sé ekki að breytast.

5 BLÁSTUR

5.1 Varmainnihald og rennsli

Holunni var hleypt í blástur 26. júlí. Í töflu 6 eru aflmælingar birtar, og á myndum 37 og 38 eru rennsli og varmainnihald sýnd sem fall af tíma.

Aflmæling 28. júlí 1980 sýndi varmainnihald 886 kJ/kg og samsvarar það varmainnihaldi  $207^{\circ}\text{C}$  heits vatnsfasa. Varmainnihaldið reis hratt í fyrstu samhliða rennslisminnkun og eftir 42 daga var holan farin að blása gufu eingöngu. Varmainnihald samsvaraði þá varmainnihaldi gufu við þrýstinginn 1 bar abs. Gufustreymi var ekki mælt þann dag en 26. ágúst var það 5,8 kg/s og hafði lítið breyst á blásturstímanum. Blásturseiginleikar KJ-13 eru svipaðir og fundist hafa í öðrum holum sem boraðar hafa verið í sjóðandi jarðhitakerfi (Stefánsson & Steingrímsson 1980). Neðri hluti jarðhitakerfisins í Kröflu er í suðu, en ótruflaður þrýstingur á kerfinu vex með dýpi eins og þyngd sjóðandi vatnssúlu. Þegar hola er opnuð niður í slíkt kerfi verður aukin suða í næsta nágrenni holunnar og mikill niðurdráttur verður í henni.

Í tvifasa rennsli er rennslisviðnám vatnsfasa meira en gufufasa, og talið er að við vissa mettun verði vatnið óhreyfanlegt (stagnant). Suðan í nágrenni holunnar kælir rennið<sup>1)</sup>, og æ meira af vatnsfasanum sýður. Við þetta skapast hitastigsmunur milli bergs og rennis þannig að rennið getur tekið við varma frá bergen. Niðurstðan af öllum þessum atriðum er að heildarrennsli minnkar ört í byrjun blásturs, en varmainnihald vökvans hækkar með tíma. Stafar þetta bæði af skiljueiginleikum bergsins svo og varmaflutningi úr bergi í renni.

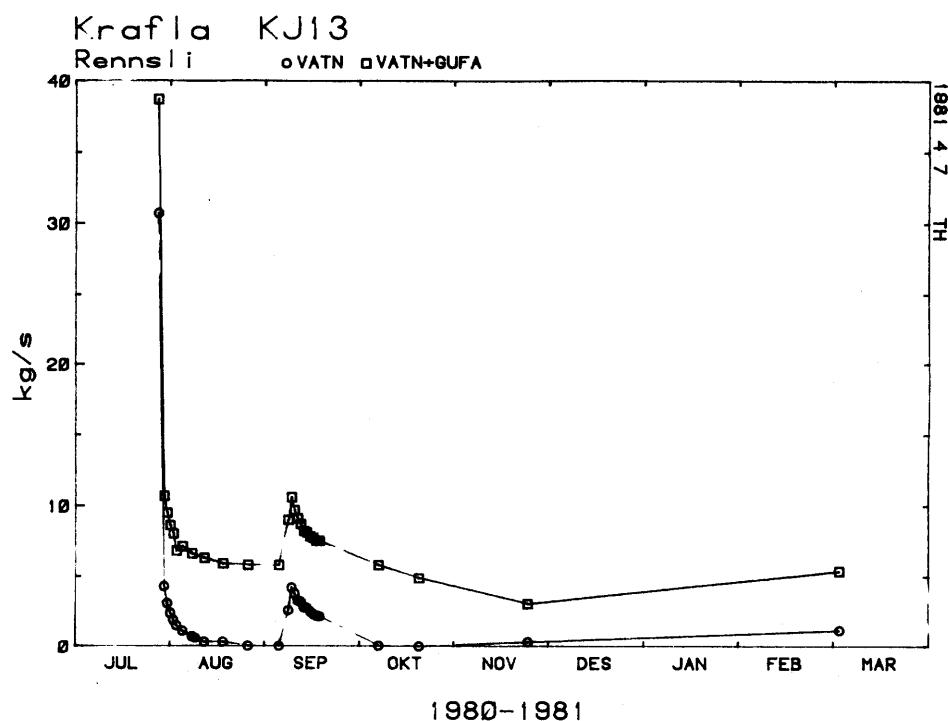
Í sumum holum, sem boraðar hafa verið í sjóðandi jarðhitakerfi, hefur komið fram rennslisaukning með tíma. Þetta er skyrt á þann veg að kæling sem verður vegna mikils niðurdráttar í sjóðandi kerfi opni sprungur í nágrenni holunnar þannig að lekt bergsins eykst. Svipuð áhrif koma einnig fram, þegar hola er kæld í borlok, en þá eykst skoltap verulega eftir vissan kælingartíma.

---

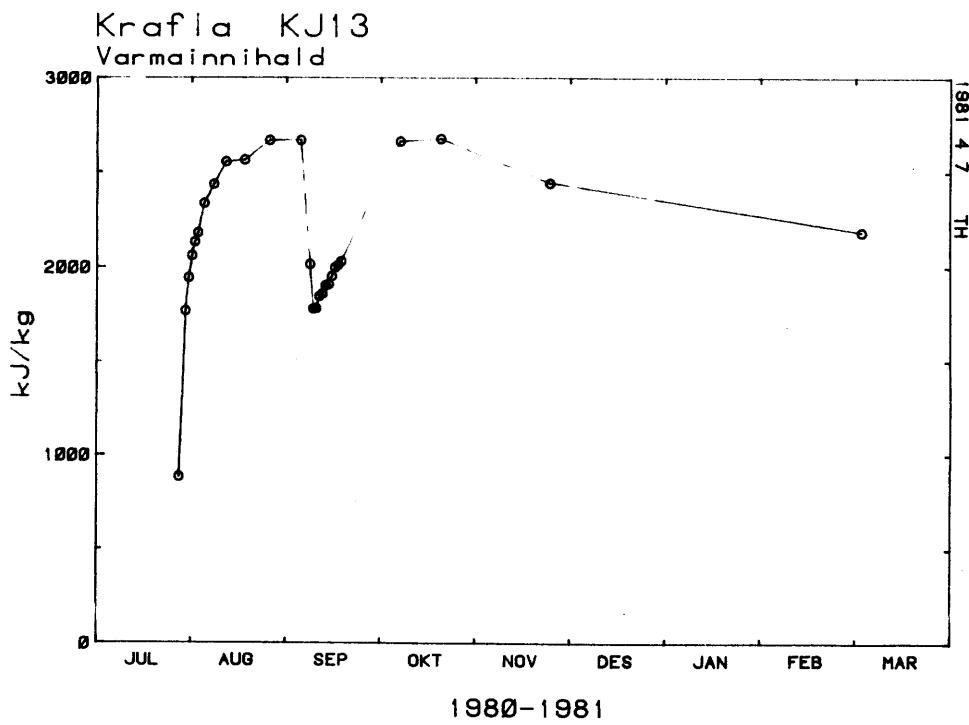
1) renni: Það sem rennur (getur verið blanda allra fasa) (e. fluid).

TAFLA 6 Krafla KJ-13. Aflmælingar 1980-07-25 til 81-03-04

| Dags.  | Kl.   | P <sub>o</sub><br>(bar) | Vatn<br>(l/s) | D <sub>c</sub><br>(mm) | P <sub>c</sub><br>(bar) | H <sub>o</sub><br>(kJ/kg) | Q <sub>w</sub> <sub>100</sub><br>(kg/s) | Q <sub>T</sub><br>(kg/s) | Q <sub>s</sub> <sub>100</sub><br>(kg/s) |
|--------|-------|-------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---|
| 800725 | 00,10 | -                       | -             | -                      | Upphleyping hefst       | -                         | -                                       | -                        | -                                       |
| 800728 | 16,40 | 10,2                    | 32            | 104,5                  | 3,8                     | 886                       | 30,7                                    | 38,7                     | 8,0                                     |
| 800730 | 10,20 | 8,2                     | 4,5           | -                      | 1,8                     | 1756                      | 4,3                                     | 10,7                     | 6,4                                     |
| 800731 | 10,30 | 8,0                     | 3,2           | -                      | 1,75                    | 1945                      | 3,1                                     | 9,5                      | 6,4                                     |
| 800801 | 11,20 | 7,4                     | 2,5           | -                      | 1,65                    | 2060                      | 2,4                                     | 8,6                      | 6,2                                     |
| 02     | 10,30 | 6,6                     | 2,0           | -                      | 1,55                    | 2132                      | 1,9                                     | 8,0                      | 6,1                                     |
| 03     | 20,15 | 7,1                     | 1,6           | -                      | 1,20                    | 2180                      | 1,5                                     | 6,8                      | 5,3                                     |
| 05     | -     | 7,0                     | 1,1           | -                      | 1,50                    | 2335                      | 1,1                                     | 7,1                      | 6,0                                     |
| 08     | 10,30 | 6,7                     | 0,74          | -                      | 1,45                    | 2437                      | 0,7                                     | 6,6                      | 5,9                                     |
| 09     | -     | 6,6                     | 0,60          | -                      | -                       | -                         | 0,57                                    | -                        | -                                       |
| 12     | 22,00 | 7,7                     | 0,35          | -                      | 1,45                    | 2556                      | 0,3                                     | 6,3                      | 6,0                                     |
| 18     | -     | 6,8                     | 0,30          | -                      | 1,30                    | 2566                      | 0,3                                     | 5,9                      | 5,7                                     |
| 26     | -     | 6,7                     | 0,02          | -                      | 1,35                    | 2668                      | 0,02                                    | 5,8                      | 5,8                                     |
| 0905   | -     | -                       | -             | -                      | Vatnsaukning            | -                         | -                                       | -                        | -                                       |
| 08     | 18,30 | 7,1                     | 2,7           | -                      | 1,70                    | 2016                      | 2,6                                     | 9,0                      | 6,4                                     |
| 09     | 9,00  | 7,1                     | 4,4           | -                      | 1,77                    | 1781                      | 4,2                                     | 10,6                     | 6,4                                     |
| 10     | 10,00 | 6,8                     | 4,0           | -                      | 1,53                    | 1783                      | 3,8                                     | 9,7                      | 5,9                                     |
| 11     | 8,30  | 6,6                     | 3,5           | -                      | 1,48                    | 1847                      | 3,3                                     | 9,1                      | 5,8                                     |
| 12     | 8,30  | 6,4                     | 3,3           | -                      | 1,38                    | 1859                      | 3,2                                     | 8,7                      | 5,5                                     |
| 13     | -     | 6,2                     | 2,9           | -                      | 1,29                    | 1904                      | 2,8                                     | 8,2                      | 5,4                                     |
| 14     | 10,30 | 6,1                     | 2,9           | -                      | 1,29                    | 1910                      | 2,8                                     | 8,1                      | 5,3                                     |
| 15     | 10,30 | 6,1                     | 2,6           | -                      | 1,25                    | 1952                      | 2,5                                     | 7,8                      | 5,3                                     |
| 16     | 10,45 | 6,1                     | 2,4           | -                      | 1,28                    | 1998                      | 2,3                                     | 7,7                      | 5,4                                     |
| 17     | 11,50 | 5,9                     | 2,3           | -                      | 1,23                    | 2011                      | 2,2                                     | 7,5                      | 5,3                                     |
| 18     | 12,55 | 5,8                     | 2,2           | -                      | 1,25                    | 2030                      | 2,2                                     | 7,5                      | 5,3                                     |
| 800919 | -     | -                       | -             | -                      | Sett á veitu            | -                         | -                                       | -                        | -                                       |
| 801007 | -     | -                       | 0,04          | -                      | 1,35                    | 2663                      | 0,04                                    | 5,8                      | 5,8                                     |
| 801020 | -     | 4,35                    | 0,0           | -                      | 1,08                    | 2676                      | 0,00                                    | 4,9                      | 4,9                                     |
| 801124 | -     | 2,1                     | 0,34          | -                      | 0,12                    | 2443                      | 0,32                                    | 3,1                      | 2,8                                     |
| 810304 | -     | 4,4                     | 1,22          | -                      | 0,73                    | 2185                      | 1,2                                     | 5,4                      | 4,2                                     |



MYND 37 Rennsli úr KJ-13



MYND 38 Krafla KJ-13. Styrkur í renni

Miðað við rennsli úr öðrum tveggja fasa borholum mætti búast við að gufurennslu um 6 kg/s gæti haldist um nokkurn tíma í holu KJ-13 og jafnvel aukist ef kæling vegna þrýstingslækkunar hefur heppileg áhrif á næsta nágrenni holunnar.

Um það leyti sem holan hætti að gefa vatnsfasa varð skyndileg rennslisaukning samhliða lækkun varmainnihalds. Breytingin frá 26/8 til 5/9 1980 samsvarar því að bætst hafi við 3,2 kg/s af vökva með varmainnihaldið 834 kJ/kg, sem samsvarar 195°C heitum vatnsfasa. Rennslisaukningin náði hámarki, fjaraði síðan út, og blés holan eingöngu gufu að mánuði liðnum. Eftir að holan var tengd við virkjuna 18. sept. gáfust fá tækifæri til aflmælinga. Í nóvember var rennsli verulega minna og varmainnihald lægra en í október. Í byrjun mars 1981 hafði holan enn blotnað, en rennsli aukist lítilsháttar.

Eins og fram kemur í kafla 4.4.2 bendir sambandið milli rennslis og varmainnihalds til að rennslisviðbótin sé vatn, sem kemur inn í jarðhitakerfið, og að lekt bergsins hafi ekki breyst við þessa innspýtingu.

Staðið var í hreinsun holu KJ-7 um svipað leyti og vatnsaukningar varð vart í KJ-13. Sú hugmynd kom þá fram að aukningin stafaði af mikilli niðurdælingu vatns í KJ-7 sem er í um 200 m fjarlægð frá KJ-13. Ef slik væri raunin hlytu holurnar að liggja mjög nærri hvor annarri eða tengjast þróngri sprungu þannig að svörunar niðurdælingar á holu KJ-7 yrði vart strax í KJ-13 en ekki í öðrum borholum á svæðinu. Önnur skýring væri að vatnsfasi úr efri hluta kerfisins hafi dregist inn í holuna, t.d. niður fyrir fóðurrörsenda á 1065 m dýpi, eða að skemmd hafi myndast á fóðurröri, t.d. á 400-420 m dýpi, þar sem mikil æð kom fram í borun og illa tókst til með steypingu fóðringar. Úr þessu var reynt að skera með hjálp efnagreininga en um það verður fjallað í næsta kafla.

## 5.2 Efnasamsetning vatns og gufu

Sex sýnum var safnað úr holu KJ-13 fyrir áramót 1980-81. Niðurstöður greininga, reiknaðar saman í renni, eru birtar í töflu 7 og á myndum 39 og 40.

Fyrstu tvö sýnin voru tekin viku og tíu dögum eftir upphleypingu. Þá hafði varmainnihald rennis hækkað verulega frá upphleypingu og hækkaði enn á milli sýna. Styrkur allra uppleystra efna reiknaður í renni minnkaði en gasstyrkur jókst á tímabilinu milli fyrstu tveggja safnana. Gert er ráð fyrir að aðalæð holunnar sé á 1600-1700 m dýpi og ótruflað hitastig þar sé um  $325^{\circ}\text{C}$ . Þegar holan byrjar blástur fellur þrýstingur og hitastig vökvans í næsta nágrenni holunnar. Berghitinn fellur hægast þannig að innstreymisvökvinn tekur upp varma úr berginu á leið til holunnar. Skiljueiginleikar bergs í tveggja fasa rennsli auka einnig hlut gufu í renninu á kostnað vatnsfasans. Varmainnihald rennis verður því hærra en varmainnihald vatns við  $325^{\circ}\text{C}$ .

Ef gert er ráð fyrir að innstreymi nái berghita, eða  $325^{\circ}\text{C}$  í þessu tilfelli, áður en það streymir inn í holuna, má reikna samsetningu vatnsins og gufunnar við innstreymishitastig.

Í töflu 8 eru niðurstöður slíkra reikninga, þar sem gert er ráð fyrir að vatnsleysin efni séu í vatnsfasa eingöngu og gastegundir í gufufasa. Lítill breyting verður í styrk efna í vatnsfasa en örlítill gasminnkun í gufufasa við innstreymishitastig. Ætla má að við aukna suðu styrkist öll efni í vatnsfasa en gasstyrkur í gufu lækki vegna þynningar. Við slíka styrkingu yfirmettast vökvinn gagnvart ýmsum steindum í berginu. Í leit að nýju jafnvægi sogar bergið í sig uppleyst efni. Upptaka efna virðist í þessu tilfelli hafa gengið hratt og uppleyst efni í vatni hafa haldist nokkuð óbreytt við aukna suðu út í berg. Hár hiti ræður miklu um hraða efnahvarfa og virðast efnahvörf milli bergs og vatns samkvæmt þessu ganga hratt við  $325^{\circ}\text{C}$ .

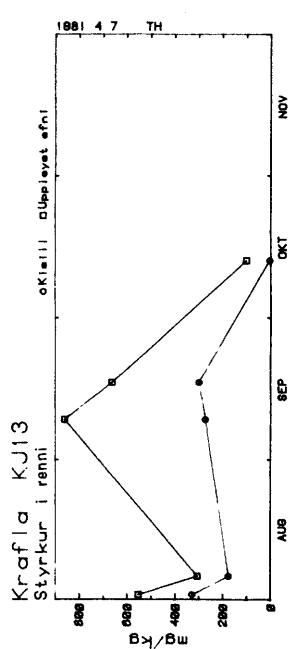
Þessar niðurstöður styrkja þá reikninga sem gerðir hafa verið til að einangra neðri æðar frá efri æðum í öðrum holum í Kröflu. Í þeim var gert ráð fyrir að vatnsfasi næði jafnvægi við berg við innstreymis-hita (Gestur Gislason o.fl. 1978).

TAFLA 7 Efnainnihald í renni holu KJ-13. Styrkur éfna í mg/kg.

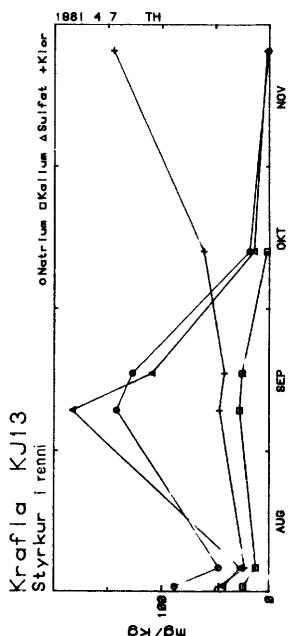
| Dags.                 | Nr.        | P <sub>O</sub><br>(bar a) | H <sub>O</sub><br>(kJ/kg) | SiO <sub>2</sub> | Na          | K           | Ca           | Mg           | SO <sub>4</sub> | C <sub>1</sub> | F           | Ue          | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |
|-----------------------|------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 800802                | 1032       | 8,0                       | 2132                      | 329              | 88          | 24,3        | 0,6          | 0,03         | 42,7            | 47             | 0,26        | 553         | 13617           | 419,7            | 28,77          | 0,00            | 155,92         |
| 800806                | 1034       | 7,4                       | 2386                      | 176              | 47          | 12,5        | 0,6          | 0,02         | 27,1            | 23             | 0,22        | 307         | 15834           | 533,5            | 34,08          | 0,00            | 82,83          |
| 800909                | 1040       | 7,5                       | 1781                      | 273              | 142         | 27,7        | 0,01         | 183,1        | 46              | 0,52           | 860         | 5185        | 201,3           | 7,30             | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| 800917                | 1048       | 6,6                       | 2011                      | 300              | 127         | 25,3        | 1,0          | 0,01         | 109,2           | 42             | 0,30        | 662         | 9874            | 367,9            | 26,14          | 0,72            | 26,60          |
| 801013                | 1054       | 7,9                       | 2663                      | 4                | 18          | 2,1         | 0,3          | 0,10         | 14,2            | 61             | 0,18        | 102         | 12121           | 565,0            | 0,00           | 0,00            | 0,25           |
| 801125                | 1063       | 7,8                       | 2443                      | 0                | 1           | 0,0         | 0,0          | 0,00         | 2,0             | 145            | 0,00        | 0           | 11082           | 456,0            | 49,22          | 2,53            | 0,74           |
| <b>Meðaltal</b>       |            | <b>7,5</b>                | <b>2236</b>               | <b>216</b>       | <b>71</b>   | <b>18,4</b> | <b>1,0</b>   | <b>0,03</b>  | <b>63,1</b>     | <b>61</b>      | <b>0,30</b> | <b>497</b>  | <b>11286</b>    | <b>423,9</b>     | <b>29,10</b>   | <b>1,63</b>     | <b>473,27</b>  |
| <b>Staðalfrávik %</b> | <b>6,7</b> | <b>14,4</b>               | <b>60,9</b>               | <b>82,1</b>      | <b>58,9</b> | <b>92,8</b> | <b>118,8</b> | <b>110,7</b> | <b>70,9</b>     | <b>45,1</b>    | <b>60,0</b> | <b>32,2</b> | <b>30,9</b>     | <b>51,9</b>      | <b>78,4</b>    | <b>192,6</b>    |                |

TAFLA 8 Efnainnihald - Vatn og gufa við 325°C í KJ-13. Styrkur éfna í mg/kg.

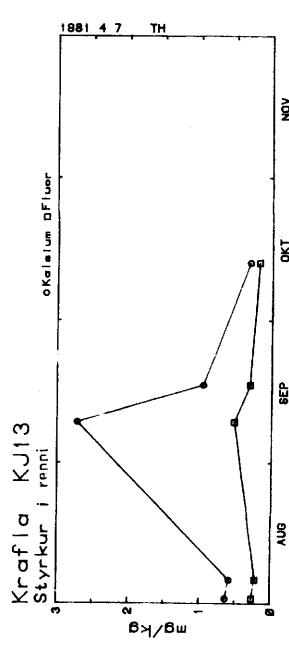
| Dags.                 | Nr.        | P <sub>O</sub><br>(bar a) | H <sub>O</sub><br>(kJ/kg) | SiO <sub>2</sub> | Na          | K           | Ca           | Mg           | SO <sub>4</sub> | C <sub>1</sub> | F           | Ue           | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |
|-----------------------|------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 800802                | 1032       | 8,0                       | 2132                      | 711              | 190         | 52,5        | 1,4          | 0,06         | 92,4            | 102            | 0,56        | 1195         | 25335           | 780,9            | 53,52          | 0,00            | 290,09         |
| 800806                | 1034       | 7,4                       | 2386                      | 706              | 188         | 50,2        | 2,3          | 0,07         | 108,5           | 92             | 0,87        | 1228         | 21101           | 711,1            | 45,42          | 0,00            | 110,40         |
| 800909                | 1040       | 7,5                       | 1761                      | 361              | 187         | 36,5        | 3,6          | 0,02         | 241,5           | 61             | 0,69        | 1135         | 22466           | 873,6            | 31,62          | 0,00            | 0,00           |
| 800917                | 1048       | 6,6                       | 2011                      | 532              | 226         | 44,9        | 1,7          | 0,01         | 193,7           | 74             | 0,54        | 1175         | 22643           | 843,7            | 59,95          | 1,66            | 60,99          |
| 801013                | 1054       | 7,9                       | 2663                      | 11               | 53          | 6,0         | 0,9          | 0,28         | 40,8            | 175            | 0,52        | 292          | 11794           | 554,1            | 0,00           | 0,00            | 2318,83        |
| 801125                | 1063       | 7,8                       | 2443                      | 0                | 3           | 0,0         | 0,0          | 0,00         | 9,9             | 717            | 0,00        | 0            | 13885           | 571,4            | 61,67          | 3,17            | 0,92           |
| <b>Meðaltal</b>       | <b>7,5</b> | <b>2233</b>               | <b>464</b>                | <b>141</b>       | <b>38,0</b> | <b>2,0</b>  | <b>0,09</b>  | <b>114,5</b> | <b>204</b>      | <b>0,64</b>    | <b>1005</b> | <b>19538</b> | <b>722,5</b>    | <b>50,44</b>     | <b>2,41</b>    | <b>556,25</b>   |                |
| <b>Staðalfrávik %</b> | <b>6,7</b> | <b>14,6</b>               | <b>62,8</b>               | <b>63,9</b>      | <b>49,7</b> | <b>52,8</b> | <b>128,6</b> | <b>77,5</b>  | <b>125,2</b>    | <b>23,4</b>    | <b>39,8</b> | <b>27,7</b>  | <b>18,8</b>     | <b>24,4</b>      | <b>44,2</b>    | <b>178,2</b>    |                |



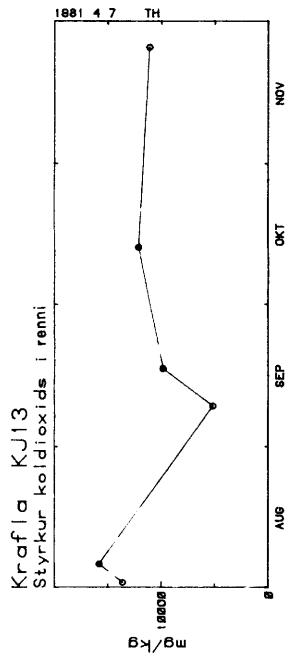
MYND 39 a Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Kjellið og uppleyst efni



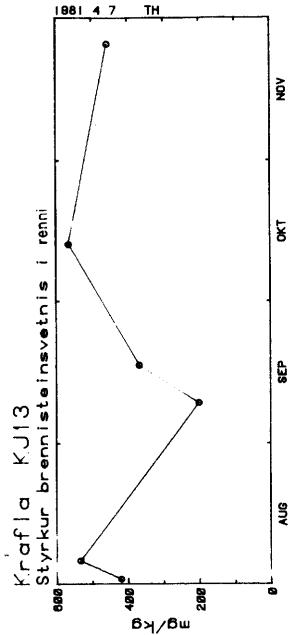
MYND 39 b Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Natráum, kalium, súlfat, klór



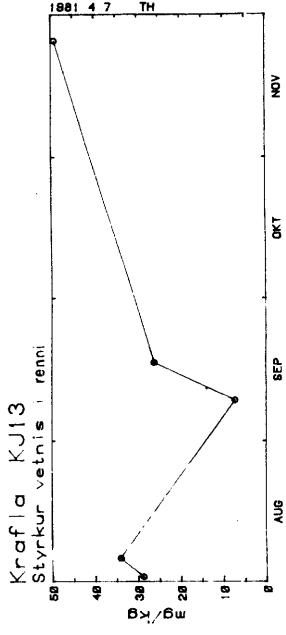
MYND 39 c Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Kalsium, flúor



MYND 40 a Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Koldioxido



MYND 40 b Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Brennsteinsvetni

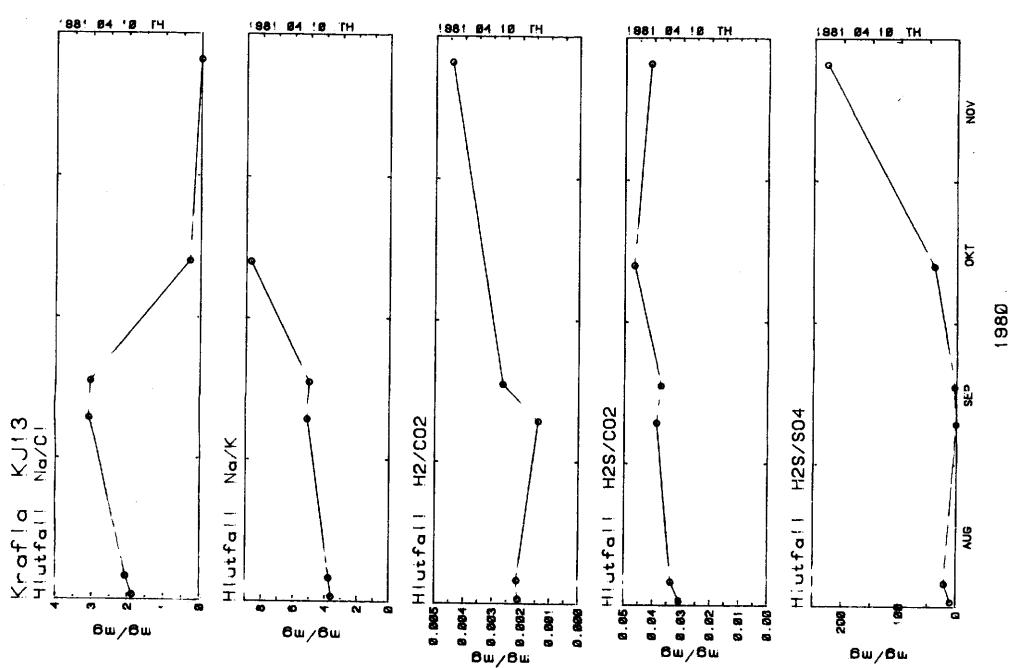
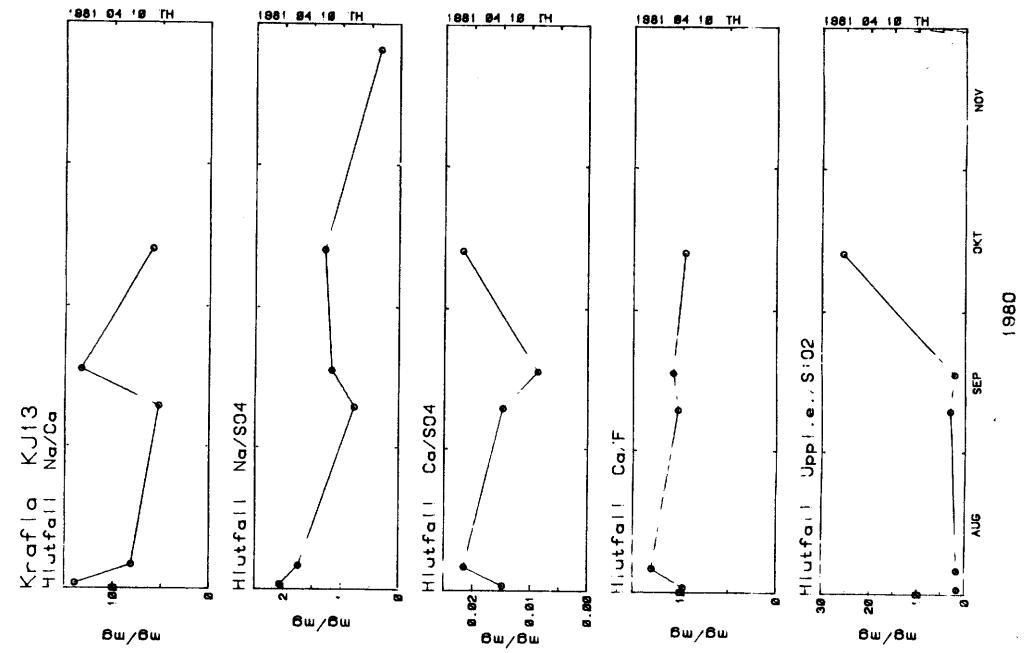


MYND 40 c Krafla KJ-13. Styrkur í renni  
Vetni

Næsta sýni var tekið mánuði síðar. Þá hafði orðið skyndileg vatnsaukning og varmainnihald rennis lækkað. Fyrir breytinguna var vatnsrennsli úr hljóðdeyfi hverfandi og varmainnihald því nálægt varmainnihaldi mettaðrar gufu við eina loftþyngd. Ætla má að styrkur uppleystra efna í renni hafi verið orðinn litill en gasstyrkur svipaður og í sýninu sem tekið var mánuði þar á undan. Aukning varð í styrk allra uppleystra efna en gasstyrkur minnkaði. Efnasamsetning bendir til þess að viðbótin hafi verið gassnauður vöki. Styrkur uppleystra efna virðist nokkuð mikill og sérstaklega súlfat og kalsíumstyrkur. Þetta má sjá með því að skoða hlutföllin Na/Ca, Na/SO<sub>4</sub> og uppleyst efni /SiO<sub>2</sub> (tafla 9 og mynd 42). Hlutföll gastegunda (mynd 41) breytast lítið og bendir það til þess að gasið komi aðallega úr sömu æð og fyrir breytinguna. Tvær megintilgátur eru um uppruna viðbótarinnar. Önnur er að hún sé niðurdælingarvökvi frá KJ-7, sem verið var að hreinsa um það leyti er vatnsaukningar varð vart, en hin að vatnsfasi úr efri hluta kerfisins hafi dregist inn í holuna. Efnainnihald þess vökva er dælt var í KJ-7 er ekki þekkt, en ætla má að það sé svipað og efnainnihald vatns úr Hlíðardalslæk.

TAFLA 9 Krafla KJ-13. Hlutföll efna í renni

| Dags.        | Nr.  | Na/Ca | Na/SO <sub>4</sub> | Ue/Si | Na/Cl  | Na/K | Ca/SO <sub>4</sub>    | Ca/F | H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S/SO <sub>4</sub> |
|--------------|------|-------|--------------------|-------|--------|------|-----------------------|------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 800802       | 1032 | 139,0 | 2,06               | 1,68  | 1,87   | 3,62 | 1,48x10 <sup>-2</sup> | 9,73 | 2,11x10 <sup>-3</sup>           | 3,08x10 <sup>-2</sup>            | 10,4                             |
| 800806       | 1034 | 80,8  | 1,74               | 1,74  | 2,06   | 3,76 | 2,15x10 <sup>-2</sup> | 13,0 | 2,15x10 <sup>-3</sup>           | 3,37x10 <sup>-2</sup>            | 21,0                             |
| 800909       | 1040 | 52,3  | 0,775              | 3,15  | 3,06   | 5,13 | 1,48x10 <sup>-2</sup> | 10,3 | 1,41x10 <sup>-3</sup>           | 3,87x10 <sup>-2</sup>            | 1,17                             |
| 800917       | 1048 | 133,0 | 1,17               | 2,21  | 3,04   | 5,02 | 8,75x10 <sup>-3</sup> | 10,8 | 2,65x10 <sup>-3</sup>           | 3,72x10 <sup>-2</sup>            | 3,55                             |
| 801013       | 1054 | 59,0  | 1,29               | 25,5  | 0,30   | 8,71 | 2,18x10 <sup>-2</sup> | 9,57 |                                 | 4,66x10 <sup>-2</sup>            | 39,8                             |
| 801125       | 1063 |       | 0,335              |       | 0,0046 |      |                       |      | 4,44x10 <sup>-3</sup>           | 4,11x10 <sup>-2</sup>            | 228,0                            |
| Meðaltal     |      | 92,9  | 1,23               | 6,85  | 1,72   | 5,25 | 1,63x10 <sup>-2</sup> | 10,7 | 2,55x10 <sup>-3</sup>           | 3,80x10 <sup>-2</sup>            | 50,7                             |
| Staðalfrávik |      | 44,1  | 51,0               | 152,2 | 76,3   | 39,2 | 33,4                  | 12,8 | 44,8                            | 14,7                             | 173,8                            |



Krafla KJ-13. Hlutföllin Na/Cl, Na/K,  
 $\text{H}_2\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4$   
 $\text{Ca}/\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}/\text{F}$ , Uppl.e./SiO<sub>2</sub>

Efnainnihald vatns í efri hluta er vel þekkt og efnainnihald vatns í neðri hluta hefur verið reiknað (Trausti Hauksson 1980). Í töflu 10 eru sýnd fyrrnefnd efnahlutföll í Hliðardalslæk, KW-2, efri hluta KJ-9 og neðri hluta KJ-7 og sýna sem tekin voru fyrir og eftir viðbót.

TAFLA 10 Efnahlutföll í vökva holu KJ-13 fyrir og eftir viðbót,  
og í hugsanlegu blandi.

|                    | Na/Ca | Na/SO <sub>4</sub> | Uppleyst<br>efni /SiO <sub>2</sub> |
|--------------------|-------|--------------------|------------------------------------|
| Hliðardalslækur    | 5,6   | 0,6                | 5,2                                |
| KW-2               | 79    | 0,9                | 2,7                                |
| KJ-9 fyrir dýpkun  | 78    | 1,0                | 2,6                                |
| KJ-7 neðri hluti   | 80    | 1,3                | 2,0                                |
| KJ-13 fyrir viðbót | 80    | 1,5                | 3,0                                |
| KJ-13 eftir viðbót | 52    | 0,8                | 3,2                                |

Hlutföll efna í viðbótinni eru frábrugðin hlutföllum efna í holum KW-2, efri hluta KJ-9, neðri hluta KJ-7 og í Hliðardalslæk. Ef um niðurdælingar-vökva er að ræða þarf að hafa orðið efnahvarf er lækkar styrk magnesiums og kalsiums. Í hinu tilfellinu þarf efnahvarf er hækkar kalsíumstyrk, þó er hugsanlegt að kalsíum leysist úr fóðringarsteypu. Hækandi berghiti eyðir magnesium og minnkar kalsíum en um hraða þeirra efnahvarfa er lítið vitað. Súlfat og natrium eru há í báðum tilfellum. Ekki er hægt að skera úr með vissu, út frá þessum gögnum, hvor ofangreindra skýringa sé rétt. Þó virðist allt benda til þess að um jarðhitavatn sé að ræða. Gæti það fullt eins vel verið ættað frá KJ-7 og efri hluta KJ-13. Þrýstingsbreytingar frá niðurdælingu hafa nokkur áhrif og ekki er víst að sams konar efni flæði úr holunni og um bergið. Ekki mælist aukning í styrk magnesiums samhliða viðbót, en magnesium mælist um 7 mg/kg í Hliðardalslæk en hverfandi lítið í öllu háhitavatni í jafnvægi við berg.

Viðbótin í holuna náði fljótlega hámarki og fjaraði síðan út. Að mánuði liðnum voru heildarafköst svipuð og áður og renni var þurr gufa (við eina loftþyngd).

Tvö sýni voru tekin úr holunni fram að áramótum. Styrkur uppleystra efna í renni var hverfandi í þeim sýnum nema styrkur klórs. Styrkur klórs eykst samhliða því að styrkur annarra efna minnkar (sjá mynd 29b).

Mikil jármengun var í þessum sýnum og bendir það til tæringar í holunni. Álið er að klórinn stafi af flutningi klórvetnis, sem er gastegund, með gufu (Trausti Hauksson 1979). Talið er að við venjuleg skilyrði myndist stöðugt járnsúlfíð-húð innan á rörum sem flytja jarðhitagufu. Þessi húð ver stálið gegn frekari tæringu en jarðhitagufa inniheldur mikið af tærandi koldíoxíði. Tæring í holum KJ-13 og KG-12 er talin orsakast af klórvetni sem í vatnslausn myndar sterka sýru (saltsýru). Sýran leysir upp járnsúlfíð og eyðileggur hina verndandi húð á stálinu og nær ásamt kolsýrunni að vinna á því. Myndefni tæringar berast síðan með gufunni og safnast fyrir við næstu fyrirstöðu. Líklegt er að slikt hafi átt sér stað í holunni og heft rennsli úr henni (sjá kafla 5.1). Um uppruna klórvetnisins er ekki vitað með vissu. Í kvikugasi hefur mælst klórvetni og er því talið að hér sé um slikt gas að ræða og að borholan dragi vökva sem komist hefur í nána snertingu við kviku.

Holan er staðsett á stað, sem talinn er verulega kvíkuvirkur. Reynslan af blæstri holunnar er áþekk reynslu sem fékkst af holu KG-12 og jafnvel KJ-7, nema hvað hola KJ-13 er öllu aumari.

## 6 VINNSLUEIGINLEIKAR

---

Ótruflað hitastig í jarðhitakerfinu við holu KJ-13 er sýnt á mynd 23. Er það í samræmi við fyrri niðurstöður (Valgarður Stefánsson o.fl. 1977, Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson 1978, Valgarður Stefánsson 1980 og Stefánsson 1981). Þrýstingur í kerfinu neðan við 1000 m (mynd 24) er nálægt mettunarferli og er það einnig í samræmi við fyrri athuganir.

Hitaskilin eru á um 1000 m dýpi, og er dýpt steyptrar fóðringar mjög hæfileg til þess að loka efra kerfið af á þessum stað. Neðra kerfið er við suðu eins og komið hefur fram í öðrum holum á þessu svæði. Gjöfulasta æð holunnar er á um 1700 m dýpi og er ótruflað hitastig hennar um  $325^{\circ}\text{C}$ , en ótruflaður þrýstingur nálægt 120 bar.

Lekt bergs sem holan nær til er fremur lág og í þrepadælingum mælist leiðni (transmissivity)  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Þetta gildi samsvarar 3,5 kg/s af gufurennslí i þann mund sem holan þornar alveg (sjá kafla 4.4.2).

Blástur holunnar þróaðist á nokkrum vikum í að vera þurr gufa (mynd 32). Rennslið þá mældist um 6 kg/s, sem er aðeins hærra en spá samkvæmt aðferð í kafla 4.4.2. Við langtíma blástur var rennsli þó mjög nálægt spá-gildinu 3,5 kg/s. Blásturssaga holunnar (mynd 32) er fremur óregluleg, og eru nokkrar ástæður til þess. Á fertugasta blástursdegi jókst vatnsrennsli úr holunni og varmainnihald lækkaði. Svo sem greint er frá hér að framan er þessi breyting rakin til ádælinga í holu KJ-7, sem verið var að hreinsa á þessum tíma. Viðbrögð KJ-13 sýna að það er mjög greiður samgangur milli KJ-7 og KJ-13. Þá er það mjög athyglisvert hvernig til-flutningur á Q-h grafinu (mynd 33) verður þegar holan blotnar. Sambandið milli heildarrennslis og varmainnihalds helst óbreytt en rennsli holunnar færst eftir "kennilínu" holunnar. Þessar athuganir styrkja þá skoðun að samband heildarrennslis og varmainnihalds sé einrætt fyrir hverja holu.

Þær breytingar, sem urðu á rennsli úr holunni á árinu 1981 (eftir ca 150 blástursdaga), er erfitt að skýra. Svo sem fram kemur á 33. mynd eru þessar breytingar nokkuð annars eðlis en beinn flutningur eftir kennilinu.

Kæling vegna blásturs virðist ekki hafa megnað að bæta vatnsleiðni neitt að ráði á þeim tíma, sem hola hefur blásið. Er því varla að vænta meira en 3-6 kg/s af gufu frá holunni.

Í gufunni er um 1,3% af gasi, en styrkur klórs hefur farið vaxandi með tima. Þessar aðstæður eru svipaðar og í holu KG-12. Veruleg tæringarhætta er því samfara nýtingu holunnar.

Verulegur samgangur er milli hola KJ-13 og KJ-7. Það væri því mjög freistandi að athuga hvort ekki fengist stöðugra langtímarennsli með því að dæla niður í aðra holuna nákvæmlega svo miklu vatni að rennsli úr hinni holunni hefði varmainnihald 1400-2500 kJ/kg. Þetta væri t.d. besta aðgerð til að koma í veg fyrir tæringarhættu af völdum klórs í holu KJ-13. Einnig væri áhugavert að dæla niður svo miklu vatni í holu KJ-7 að varmainnihald i rennsli frá KJ-13 væri innan við 1500 kJ/kg. Þá ætti rennsli í berginu að vera í vatnsfasa, en óvist hvort meira magn af gufu fæst úr slíku rennsli en ef holan er nálægt því að vera þurr (mynd 32). Hins vegar lækkaði gasstyrkur í holu KJ-13, þegar dælt var í holu KJ-7. Niðurdæling gæti því aukið eitthvað við framleiðslu virkjunarinnar, þó gufumagnið verði óbreytt.

HEIMILDASKRÁ

---

Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson 1978: Holubréf nr. 9,  
Orkustofnun, JHD, 5 s.

Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1978: Krafla.  
Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustöfnun, OSJHD-7846,  
46 s.

Guðmundur Pálason o.fl. 1979: Sjá Pálason et al. 1979.

Ómar Sigurðsson & Valgarður Stefánsson 1977: Lekt í borholum í Kröflu.  
Orkustofnun, OSJHD 7727, 37 s.

Pálason, G., S. Arnórsson, I.B. Friðleifsson, H. Kristmannsdóttir,  
K. Saemundsson, V. Stefánsson, B. Steingrímsson, J. Tómasson &  
L. Kristjánsson 1979: The Iceland Crust: Evidence from Drillhole  
Data on Structure and Processes. Maurice Ewing Series III, ed.  
M. Talwani: 43-65.

Sarmiento. Z.F. 1980: On Geophysical Logging of Geothermal Wells with  
Examples from Well KJ-13 in the Krafla Geothermal Field, N. Iceland,  
Report 1980-5, UNU Geothermal Training Programme. Iceland.

Stefánsson, V. 1981: The Krafla Geothermal Field, Northeast Iceland.  
In: Geothermal Systems; Principles and Case Histories, Ed L. Ryback  
and L.J.P. Nuffler. John Wiley and Sons Ltd.: 273-294.

Stefánsson, V. & R. Emmerman 1980: Gamma ray activity in Icelandic  
rocks. Presented at the IRDP Second Post-Drilling Science Review  
Meeting, Reykjavík, Iceland, May 13-15, 1980.

Stefánsson, V. & B. Steingrímsson 1980: Production Characteristics  
of Wells Tapping Two Phase Reservoirs at Krafla and Námafjall.  
Proceedings Sixth Annual Workshop on Geothermal Reservoir Engineering,  
Stanford.

Trausti Hauksson 1980: Krafla. Reiknuð efnasamsetning vatns og gufu í borholum. Orkustofnun, OS80018/JHD, 29 s.

Valgarður Stefánsson 1980a: Greinargerð um staðsetningu næstu borhola við Kröflu. Orkustofnun, JHD, (1980-01-07).

Valgarður Stefánsson 1980b: Rannsóknir á háhitasvæðinu í Kröflu, Náttúrufræðingurinn, 50, 333-359.

Valgarður Stefánsson 1981, sjá Stefánsson V. 1981.

Valgarður Stefánsson, Hrefna Kristmannsdóttir & Gestur Gislason 1977: Holubréf nr. 7. Orkustofnun, JHD, 10 s.

Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980: Sjá Stefánsson & Steingrímsson 1980.

Valgarður Stefánsson & Rolf Emmerman 1980: Sjá Stefánsson & Emmerman 1980.



V I Ð A U K I

Yfirlit um mælingar í KJ-13

VIÐAUKI - Yfirlit um mælingar í KJ-13

Í töflu V-1 í þessum viðauka er skrá yfir allar mælingar, sem gerðar voru í KJ-13 meðan á borun og upphitun stóð. Margar þessara mælinga voru gerðar vegna ákvarðanatöku við borverkið og er þess vegna aldrei beinlinis vitnað til þeirra í skýrslunni hér að framan. Meginhluti hitamælinganna er birtur í þessum viðauka, en þessar mælingar eru:

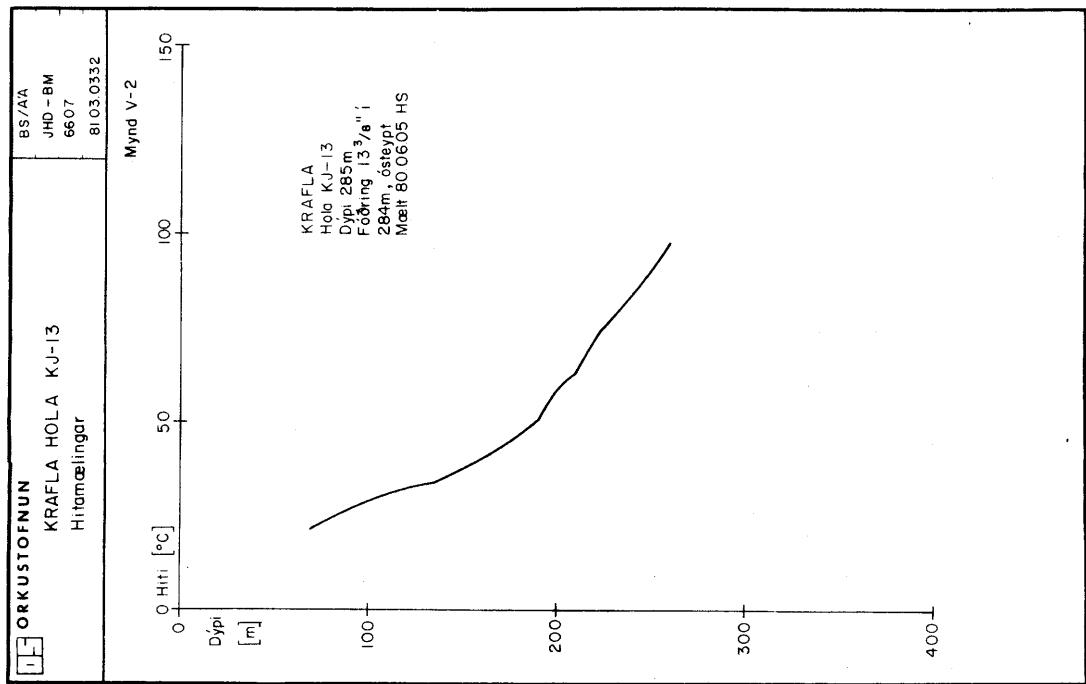
|          |                                  |             |
|----------|----------------------------------|-------------|
| Mynd V-1 | Hitamæling 80.06.04              | Dýpi 285 m  |
| " V-2    | Hitamæling 80.06.05              | " "         |
| " V-3    | Hitamæling 80.06.07              | " "         |
| " V-4    | Hitamæling 80.06.14              | Dýpi 418 m  |
| " V-5    | Hitamæling 80.06.21              | Dýpi 1069 m |
| " V-6    | Hitamæling 80.06.21              | " "         |
| " V-7    | Hitamæling 80.06.22              | " "         |
| " V-8    | Hitamæling 80.06.25              | " "         |
| " V-9    | Hitamæling 80.06.27              | " "         |
| " V-10   | Hitamæling 80.07.06              | Dýpi 2050 m |
| " V-11   | Hitamæling 80.07.06 kl.15        | " "         |
| " V-12   | Hitamæling 80.07.06              | " "         |
| " V-13   | Hitamæling 80.07.07              | " "         |
| " V-14   | Hita- og þrýstimælingar 80.07.25 | " "         |
| " V-15   | Hita- og þrýstimælingar 80.07.25 | " "         |
| " V-16   | Hitamæling 80.07.20              | " "         |

TAFLA V - 1 Krafla. Holla KJ-13. Mælingar í borun og upphitun.

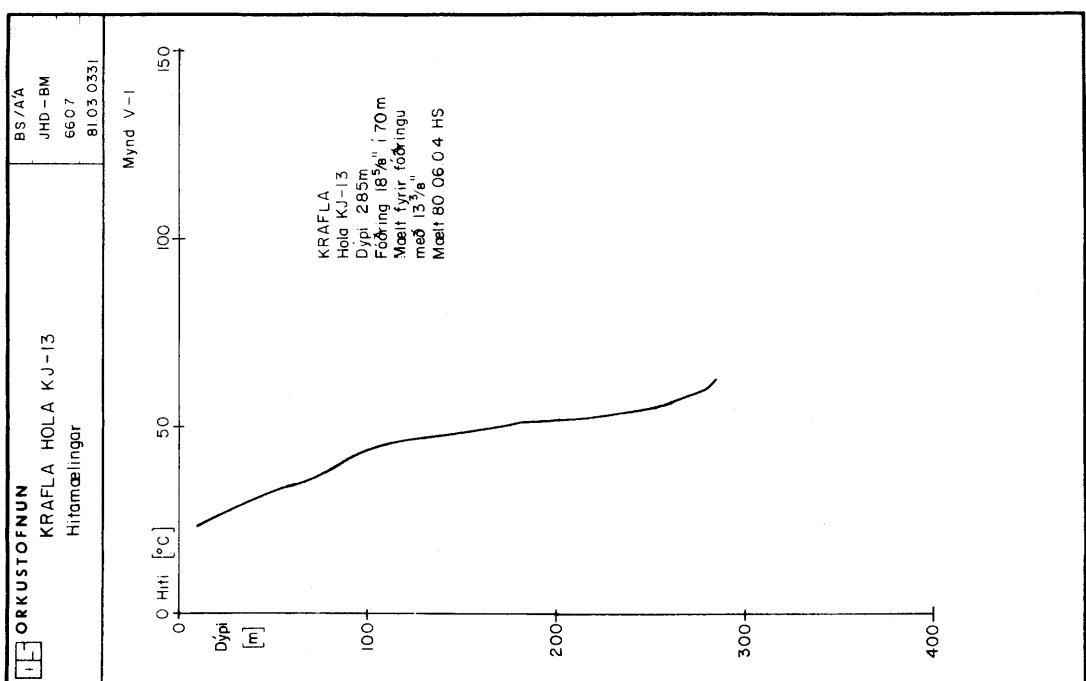
| Dags.    | Hvað mælt              | Dýptarbil | Ástand holu                 | Tilgangur mælingar       | Ath.                      |
|----------|------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 80.06.04 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-283,5   | Fóðringardýpi upptekt lokið | Athugun í upphitun       |                           |
| 80.06.04 | Viðnám                 | "         | "                           | "                        | Ákvörðun jarðlaða         |
| 80.06.04 | Víðá                   | "         | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.04 | n-n + nat. gam.        | "         | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.05 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-260     | Fóðrun lokið                | Athugun á upphitun       |                           |
| 80.06.05 | CBL                    | "         | "                           | Kvörðun á ósteyptu röri  |                           |
| 80.06.05 | n-n                    | "         | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.06 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-260     | Steypingu 13 3/8 lokið      | Athugun á upphitun       |                           |
| 80.06.06 | CBL                    | "         | "                           | Ákvörðun steypugæða      |                           |
| 80.06.07 | n-n                    | "         | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.14 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-385     | Steypt í 385-420 m          | Hitastið vegna víddarmæl |                           |
| 80.06.14 | Víðá                   | 0-380     | "                           | "                        | Skápa athuganir           |
| 80.06.15 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-470     | Tap > 20 1/s                | Staðsetning á leka       | Lekinn á 410-420 m        |
| 80.06.15 | Víðá                   | 0-455     | "                           | Skápa athuganir          | Skápar á bilinu 385-450 m |
| 80.06.21 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-1045    | Borstengur niðri Tap>23 1/s | Staðsetning leka         | Stærstu lekastabir ofan   |
| 80.06.21 | "                      | "         | "                           | "                        | 420 m dýpis.              |
| 80.06.22 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-1070    | Upptekt lokið. Dælt 21 1/s  | Athugun á upphitun       |                           |
| 80.06.22 | Víðá                   | 0-1064    | Dælt 21 1/s                 | Ákvörðun jarðlaða        |                           |
| 80.06.22 | Viðnám                 | 282-1064  | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.22 | n-n + nát. gamma       | 0-1064    | "                           | "                        | "                         |
| 80.06.23 | CBL                    | 0-280     | Fóðrun lokið                | Kvörðun á ósteyptu röri  |                           |
| 80.06.25 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-340     | Steypingu lokið             | Athugun á upphitun       |                           |

Krafla. Hola KJ-13. Mælingar í borun og upphitun

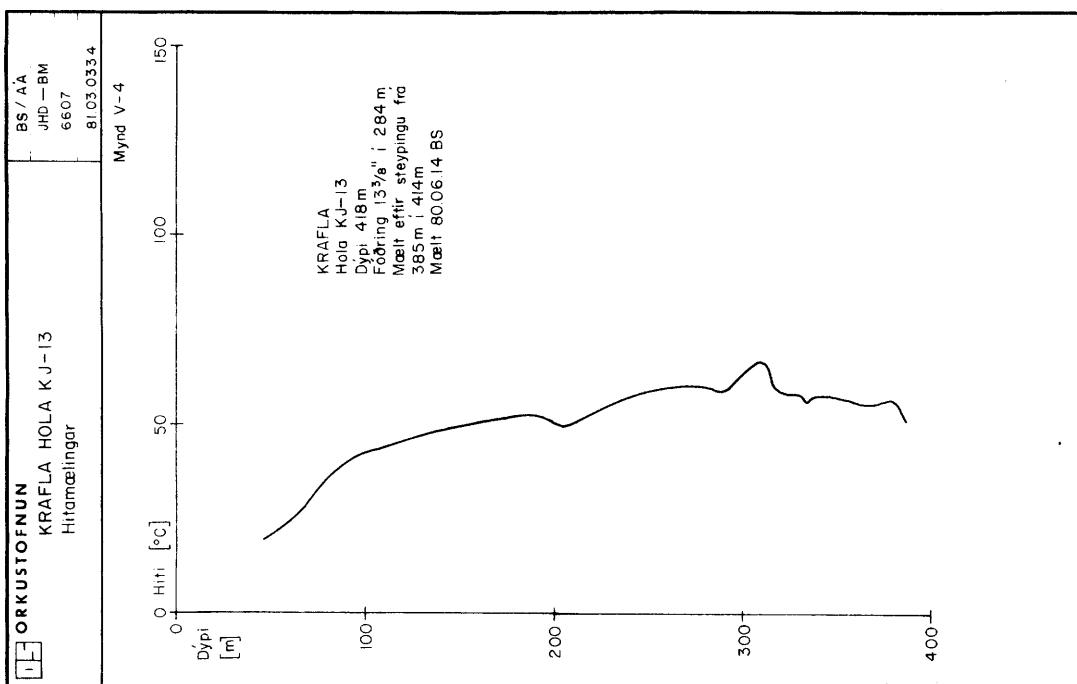
| Dags     | Hvað mælt              | Dýptarbil   | Ástand holu              | Tilgangur mælingar    | Ath.   |
|----------|------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|--|
| 80.06.25 | CBL                    | 0-340       | Steypingu lokið          | Athugun á upphitun    |  |
| 80.06.25 | Skotíð 12 skotum       | 250,0-252,4 | " "                      | Að gata fóðurrörið    |  |
| 80.06.26 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-250       | Síðustu steypingu lokið  | Vegna sundurskráfunar |  |
| 80.06.26 | Vídd                   | 0-250       | " "                      | " "                   |  |
| 80.06.27 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-1015      | Útborun lokið            | Athugun á upphitun    | Léleg steypa 425-560 m   |
| 80.06.27 | CBL                    | 0-650       | " "                      | Ákvörðun steypugæða   | Upphitun ör. Ákv.að skolæ  |
| 80.07.06 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-2030      | Stengur niðuri Tap 8 1/s | Upophitun             | Ákvæðið að taka stengur u  |
| 80.07.06 | " "                    | 0-2030      | " Tap 22-24 1/s          | "                     |  |
| 80.07.07 | Hiti, $\Delta T$ , CCL | 0-2050      | Upptekt lokið dælt       | 24 1/s                | Upphitun   |
| 80.07.07 | Vídd                   | 0-2050      | " " dælt                 | 37 1/s                | Vídd   |
| 80.07.07 | Viðnám                 | 1065-2050   | Áðæling 28 1/s           | Ákvörðun jarðlagra    |  |
| 80.07.07 | n-n+nát. gamma         | 0-2050      | " "                      | " "                   |  |
| 80.07.07 | gamma-gamma            | 0-2050      | " "                      | " " og steypugæði     |  |
| 80.07.07 | Rennsli                | 0-2050      | " 36 1/s                 | Staðsettning vatnsæða |  |
| 80.07.19 | Hiti (Amerada)         | 0-1700      | Holan í upphitun         | Ákvörðun á hitastigi  |  |
| 80.07.20 | " "                    | 0-2015      | " "                      | " "                   |  |
| 80.07.21 | þrýstingur             | 0-2015      | " "                      | Ákvörðun á þrýstingi  | Málir bilaði í 1700 m  |
| 80.07.22 | Hiti                   | 0-2015      | " "                      | " " hitastigi         | $T_{max} = 322,9$ í 1700 m   |
| 80.07.25 | "                      | 0-2015      | Holan "komin upp"        | " " "                 | $T_{max} = 327,3^{\circ}\text{C}$ í 1750 m                                   |
| 80.07.25 | þrýssinçur             | 0-2000      | " " "                    | " " "                 | $P \approx 30 \text{ bar}$ $T_{max} = 325^{\circ}\text{C}$ $T_{O}^{\circ}$ " |



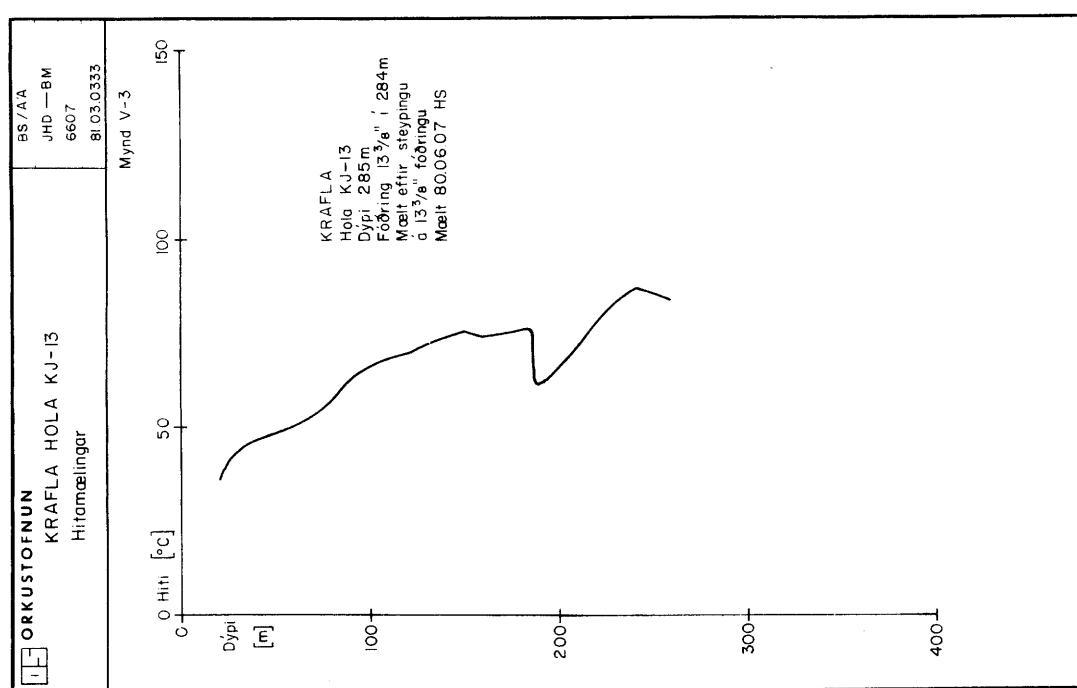
MYND V-2 Hitamæling 80.06.05 Dýpi 285 m



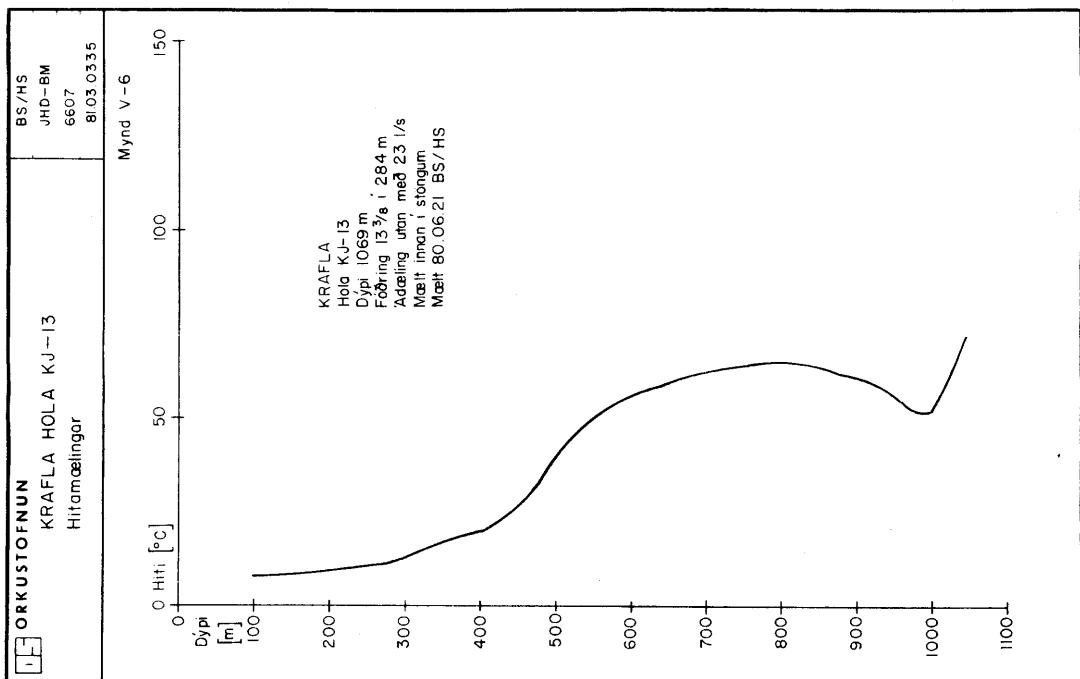
MYND V-1 Hitamæling 80.06.04 Dýpi 285 m



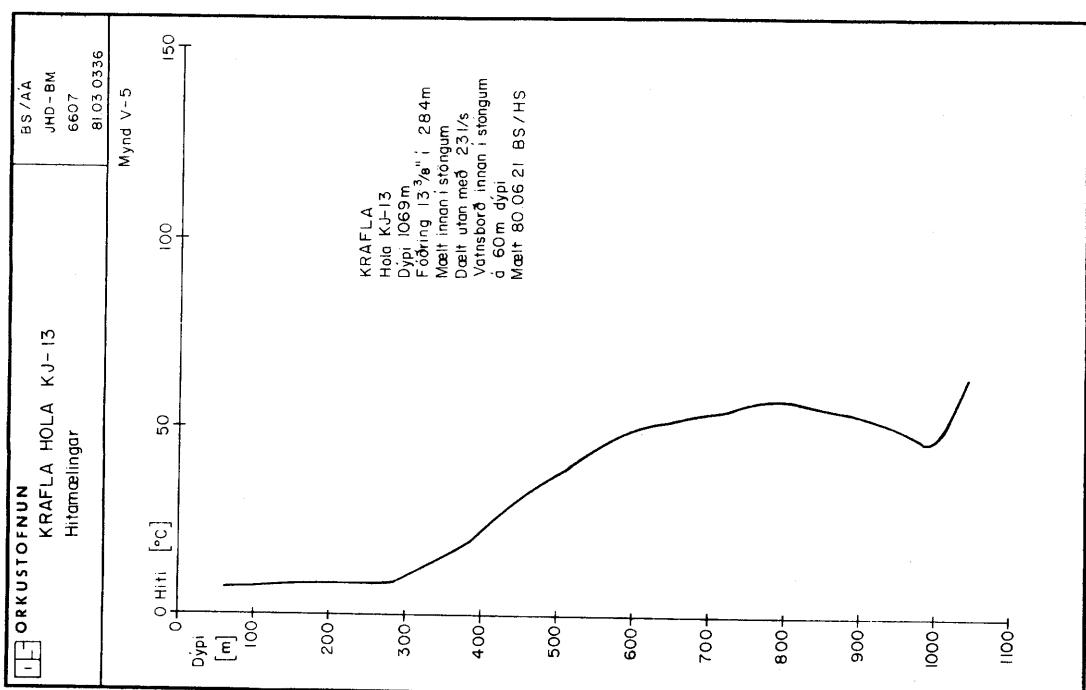
MYND V-4 Hitamæling 80.06.14 Dýpi 418 m



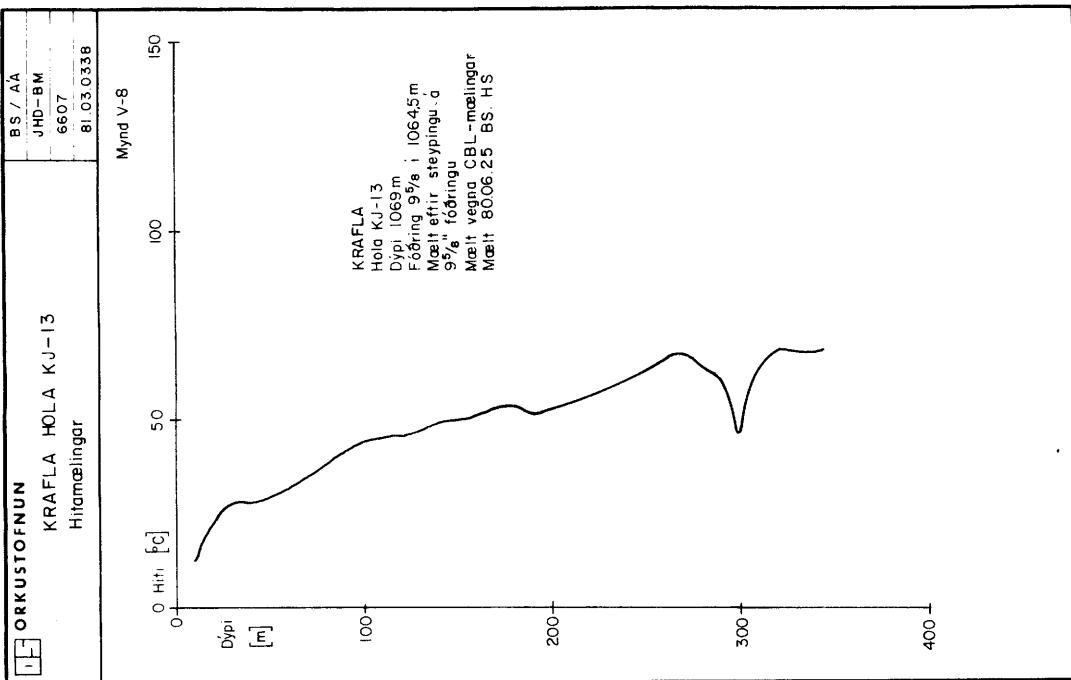
MYND V-3 Hitamæling 80.06.07 Dýpi 285 m



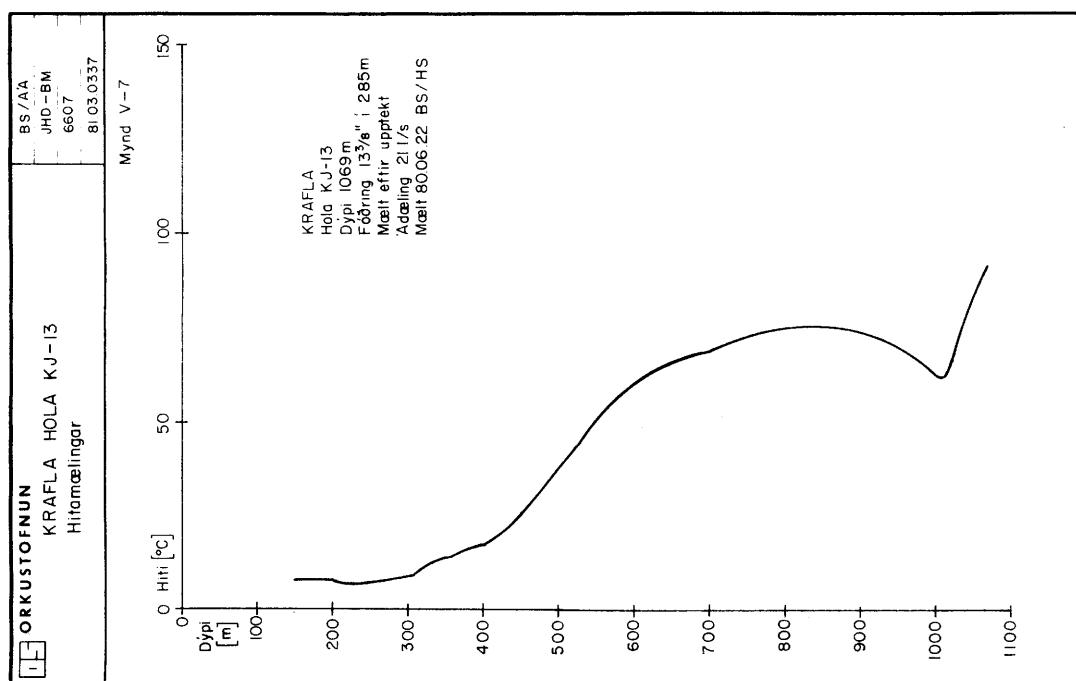
MYND V-6 Hítamæling 80.06.21 Dýpi 1069 m



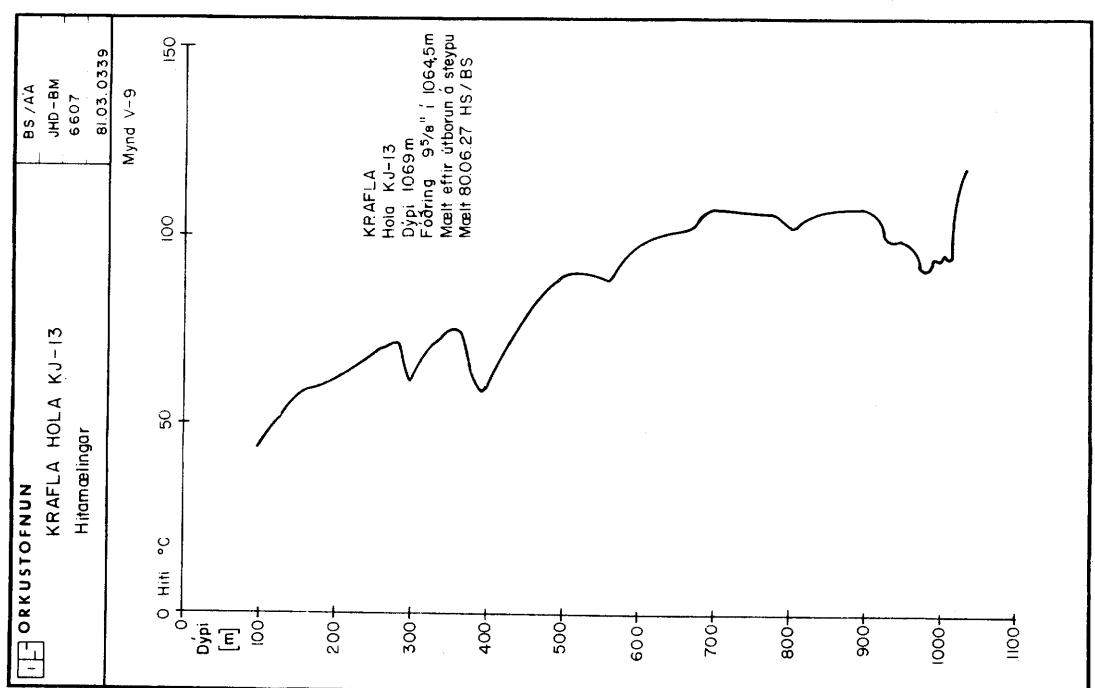
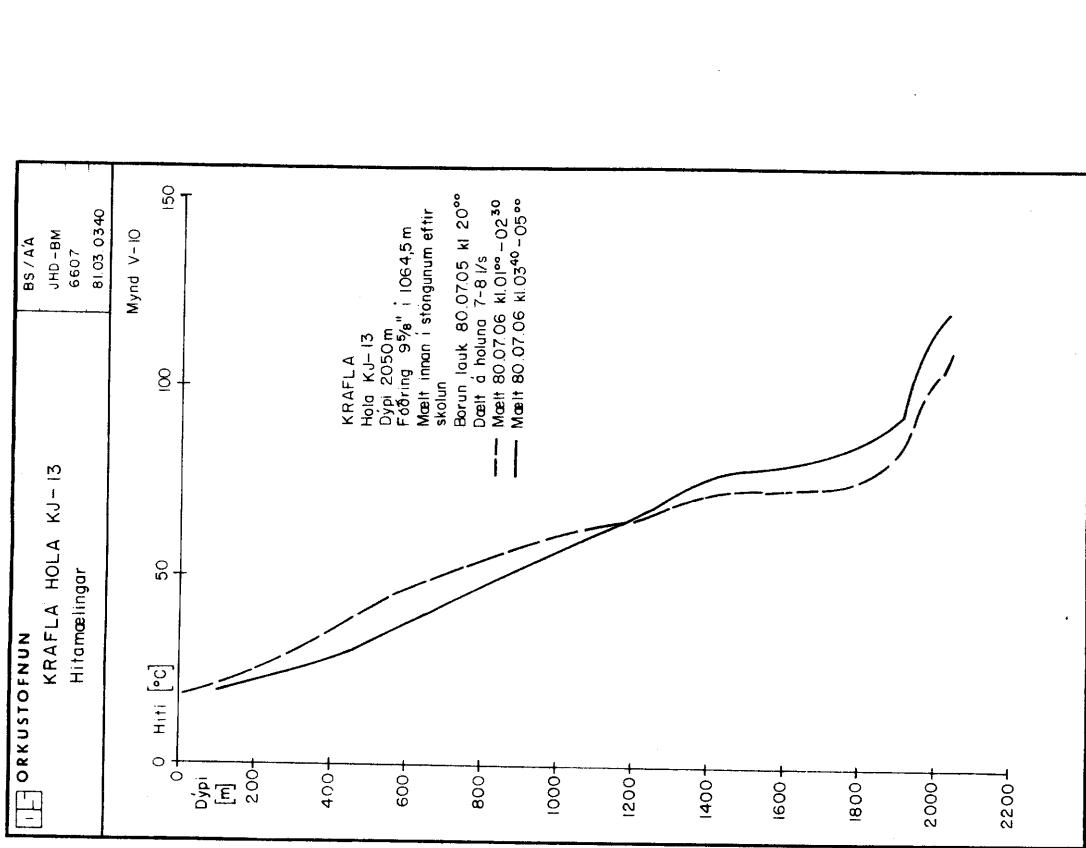
MYND V-5 Hítamæling 80.06.21 Dýpi 1069 m



MYND V-8 Hitamæling 80.06.25 Dýpi 1069 m

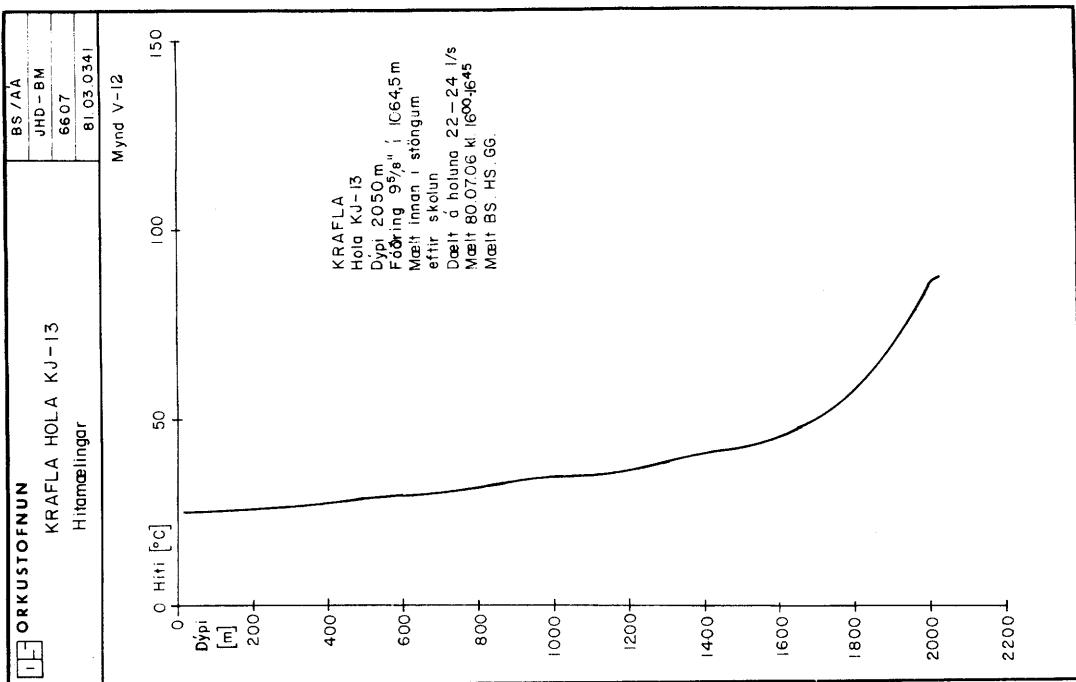


MYND V-7 Hitamæling 80.06.22 Dýpi 1069 m

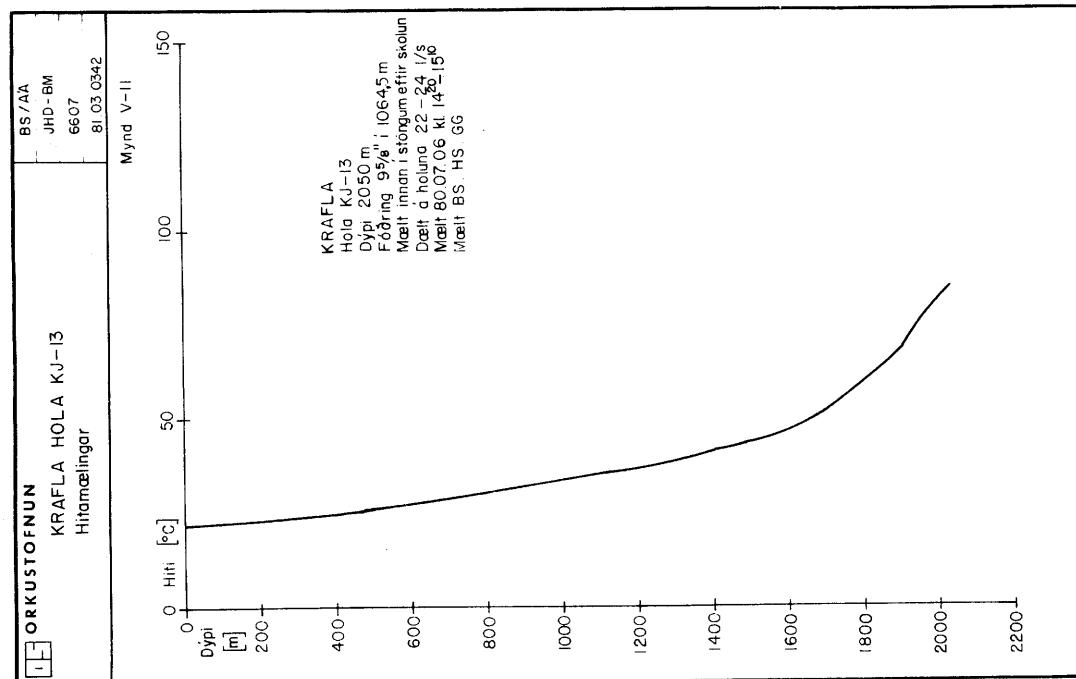


MYND V-9 Hittamæling 80.06.27 Dýpi 1069 m

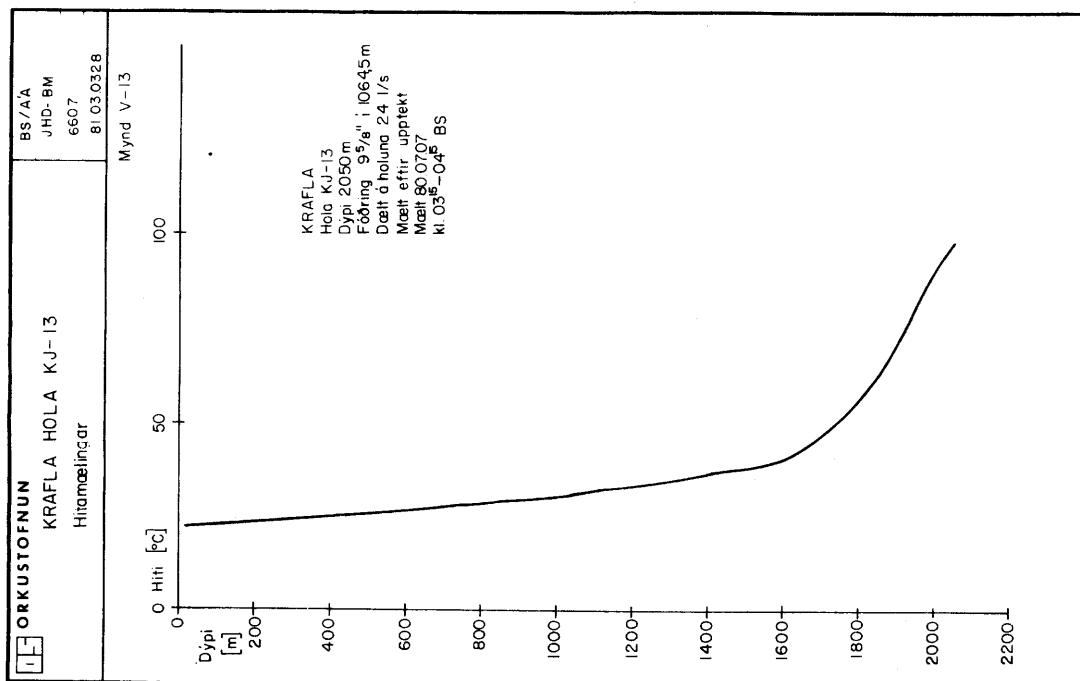
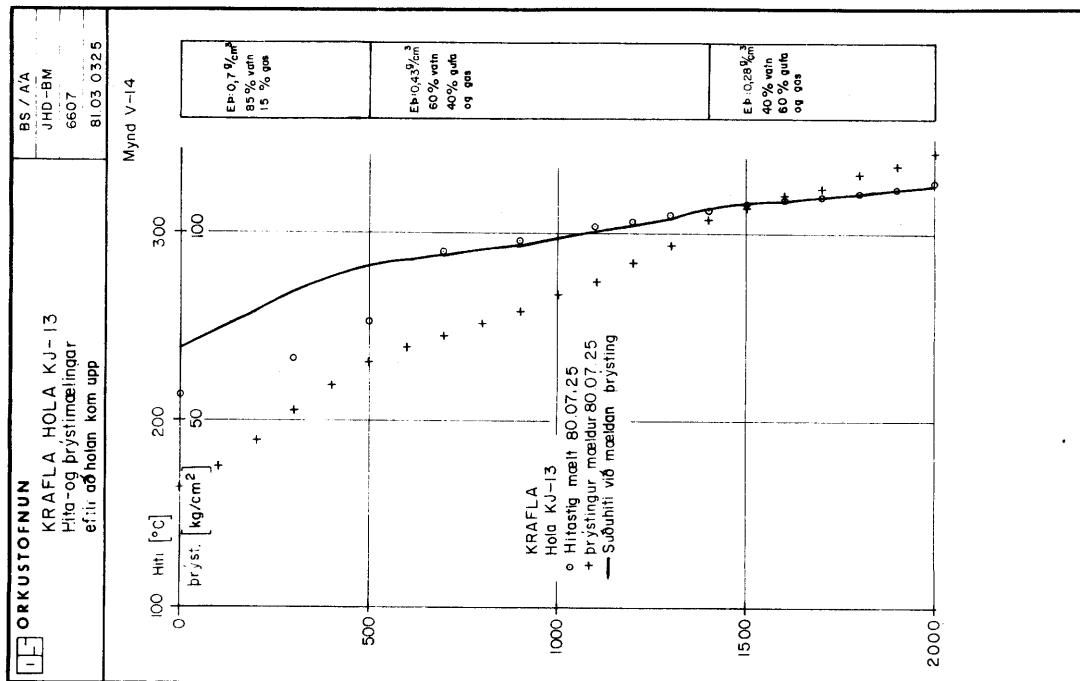
MYND V-10 Hittamæling 80.07.06 Dýpi 2050 m



MYND V-12 Hitamæling 80.07.06 Dýpi 2050 m

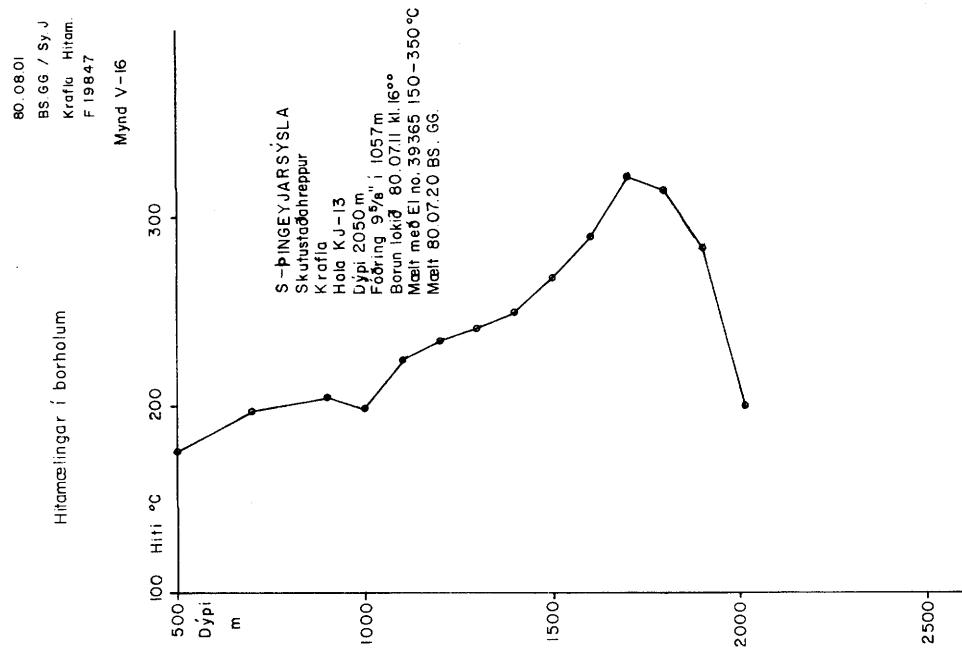


MYND V-11 Hitamæling 80.07.06 kl. 15 Dýpi 2050 m

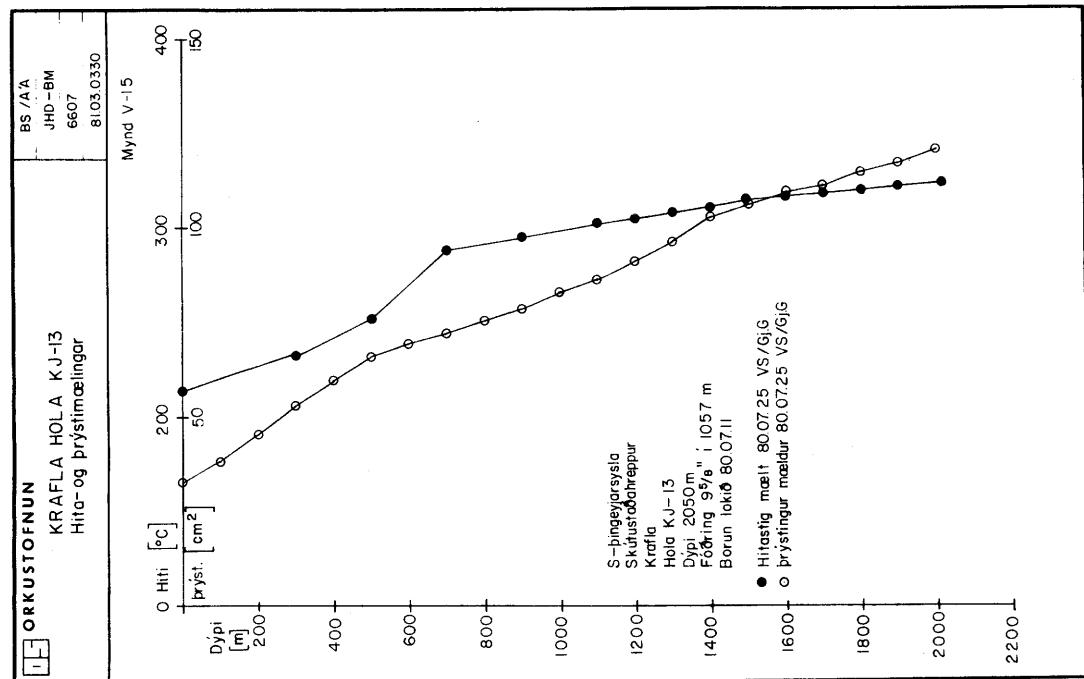


MYND V-14 Hita- og þrýstimaðingar 80.07.25

MYND V-13 Hita-mæling 80.07.07 Dýpi 2050 m



MYND V-16 Hítamæling 80.07.20



MYND V-15 Hita- og þrýstímælingar 80.07.25