



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

BRÁÐABIRGÐASKÝRSLA

KRAFLA, HOLA KJ-21

Borun vinnsluhluta holunnar, frá 293 m til 1200 m

Ásgrímur Guðmundsson

Benedikt Steingrímsson

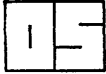
Guðmundur Ómar Friðleifsson

Hjörtur Tryggvason

Ómar Sigurðsson

OS82119/JHD35 B

Desember 1982



ORKUSTOFNUN

GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

BRÁÐABIRGÐASKÝRSLA

KRAFLA, HOLA KJ-21

Borun vinnsluhluta holunnar, frá 293 m til 1200 m

Ásgrímur Guðmundsson

Benedikt Steingrímsson

Guðmundur Ómar Friðleifsson

Hjörtur Tryggvason

Ómar Sigurðsson

OS82119/JHD35 B

Desember 1982

EFNISYFIRLIT

	Bls.
EFNISYFIRLIT	2
BORSAGA	3
JARÐLÖG	3
UMMYNDUN	5
MÆLINGAR	6
ÞREPADÆLING	7

TÖFLUSKRÁ

1 Krafla, Hóla KJ-21. Mælingar í borun 293 -1200 m dýpi	9
---	---

MYNDASKRÁ

1 Einfaldað jarðlagasnið og mælingar bormanna	11
2 Nákvæmt jarðlagasnið	12
3 Ummýndunarsnið	14
4 Hitamælingar	15
5 Hitamælingar	16
6 Hitamælingar	17
7 Hitamælingar	18
8 Þrepaðæling	19
9 Þrepaðæling	20

BORSAGA

Borun "vinnsluhluta" KJ-21 hófst á 293 m dýpi um kl 5 hinn 4. september og lauk um kl 9 hinn 12. september á 1200 m dýpi. Borað var með 311 mm (12 1/4") krónu af gerðinni FP-62-J. Borun gekk vel. Á mynd 1 er sýnt einfaldað jarðlagasnið, meðalborhraði yfir hvert 10 m bil, halli mældur í borun, skoltap í borun, magn dælingar, dæluþrýstingur, hiti skolvatns niður og upp holu ásamt hitastigsmun. Meðalborhraði frá 293-1200 m var rúmir 6 m/klst og halli holu $\leq 2^\circ$ (sjá mynd 1). Skoltap í borun var minna en 7 l/s þar til í 770 m að tap jókst í tæpa 10 l/s. Hést skoltap milli 7-10 l/s þar til í tæpum 1100 m að skoltap jókst í rúma 12 l/s. Í 1148 m var skoltap mælt um 14 l/s og í 1154 m varð vart við verulegt skoltap sem mældist 28 l/s. Í lok borunar var tapið tæplega 20 l/s. Helstu skoltapsstaðir eru merktir með Æ á mynd 1. Samkvæmt hitamælingu gerðri eftir borun virðist ekki vera að í 1154 m og mjög óverulegar æðar neðan 1000 m dýpis. Skoltapið, sem mælt var í 1154 m er samkvæmt því ætlað úr efstu 1000 m holunnar. Síðari hitamælingar ættu að gefa nákvæmari staðsetningu æða.

Í skolun eftir borun jókst skoltap og var orðið 31 l/s eftir 4 tíma skolun. Var þá sett á utanádæling og mældist tapið 38 l/s eftir tveggja tíma dælingu. Haldið var síðan áfram að skola holuna, og reyndist tapið vera meira en 60 l/s þegar skolun var hætt hinn 12. september kl 21:00. Holan var síðan hitamæld, tekið upp og fyrirhugaðar mælingar gerðar. Lauk því verki 13. september kl 19:00. Eftir að leiðari hafði verið settur í holuna var hún þrepað mæld og loks hitamæld. Borverki lauk við KJ-21 þann 15. september 1982.

JARÐLÖG

Einfaldað jarðlagasnið er sýnt á mynd 1 og nákvæmara á mynd 2. Eftirtaldar jarðlagamyndanir má aðgreina:

Móbergsmýndun I: u.þ.b. 300 - 470 m.

Þessari myndun má skipta í smærri einingar:

300-330 m : Móbergstúff

330-365 m : Basaltlög með túffbreksíum á milli

365-470 m : Móbergstúff með basalt eða dólerítlagi á 416-423 m dýpi.

Basaltmyndun I: u.þ.b. 470 - 860 m.

Þessari myndun má einnig skipta upp í smærri einingar:

470-540 m : Þunn blöðrótt basaltlög með túfflögum á milli

540-640 m : Kargaleg basaltlög

640-860 m : Þéttari basaltlög með nokkuð þykkum basalt- og túff-breksíum á milli (sjá mynd 2).

Móbergsmýndun II: u.þ.b. 860 - 1010 m

Hér er móbergstúff trúlega upphafleg berggerð, en móbergið er að því er virðist gegnumstungið af fjölda basaltinnskota. Basaltlögin eru nokkuð þétt og yfirleitt fremur þunn. Engir gjallkargar sjást á milli þeirra svo eðlilegt er að ætla þau innskotin í móbergið. Sökum þessa innskotakraðaks í móbergsmýnduninni og svo hinna þykku túff og breksiulaga í neðri hluta Basaltmyndunar I er erfitt að draga skýr mörk milli þessara tveggja myndana.

Basaltmyndun II: 1010 m - botns (1200 m)

Hér eru basalhraunlög um og yfir 10 m þykk ráðandi berggerð. Á milli þeirra eru yfirleitt þunnir gjallkargar, svo einkenni hraunlagastaflla leynd sér ekki. Milli 1010-1140 m eru tvö þunn basaltinnskot greind, það fyrri á tæplega 1040 m dýpi og það síðara nærri 1135 m. Neðan 1140 m í botn (1200 m) eru loks greind 5 basaltlög. Þrjú þeirra eru áberandi grófkorna og lítið blöðrótt. Hin tvö eru fínkornótt og þétt. Lagmóttagjall greinist ekki á milli þeirra svo hugsanlegt er að hér sé komið í innskotasyrpu.

KJ-6 er sú hola sem næst er holu KJ-21, en 1750 m eru þó á milli. Sjá má grófa samsvörun milli jarðlagaeininga þessara tveggja hola svo sem að neðan er sýnt:

	<u>KJ-6</u>	<u>KJ-21</u>
(M I) Móbergsmýndun I :	botn í 450 m	botn í 470 m
(B I) Basaltmyndun I :	450 - 740 m	470 - 860 m
(M II) Móbergsmýndun II :	740 - 1017 m	860 - 1010 m
(B II) Basaltmyndun II :	1017 - 1240 m	1010 - botn (1200 m)
(M III) Móbergsmýndun III :	1240 - 1400 m	
(B/I III) Basalt og Innskotamyndun	1400 - 2000 m	

Mörkum milli B I og M II í þessum tveim holum ber ekki ýkja vel saman, en sem fyrr segir er nokkuð erfitt að draga mörkin milli eininga B I og M II í KJ-21. Auk þess er einfalt að skýra mismun milli hola á efri mörkum móbergsmyndana með landslagi fyrri daga. Má því segja að jarðlögum KJ-6 og KJ-21 beri vel saman. Vegna hugsanlegrar dýpkunar KJ-21 er því myndunum M III og B/I III bætt við samanburðarlistann að ofan. Vegna stóra skoltapsins (14-16 l/s) sem vart varð við í 1154 m var ákveðið að leita ekki uppi myndun M III með dýpri borun að þessu sinni.

UMMYNDUN

Dreifing ummyndunarsteinda er sýnd á mynd 3. Þar sést að háhitasteindin epidót ($\geq 230^\circ\text{C}$) finnst fyrst á 300 m dýpi og síðan samfelld niður alla holuna. Kvars, pýrít og klórít finnast sömuleiðis samfelld niður alla holuna. Prenít og wollastónít finnast jafnframt, nær samfelld, frá um það bil 350 m í botn. Amfíbólið aktinólít finnst milli 450-600 m, þó ekki sé það með öllu öruggt, en það verður athugað með þunnsneiðum og XRD-greiningum. Amfíból hefur verið talið myndast við hitastig $\geq 280^\circ\text{C}$ og þyrfti því yfirhitun milli 450-600 m miðað við núverandi jarðaryfirborð og suðumarksferil. Frá 860 m í botn sést aktinólít öðru hvoru, einkum í nágrenni innskota, en í litlu magni. Kalsít fer þverrandi neðan 350 m og er nær alveg horfið nærri 550 m. Aftur vottar svo fyrir kalsíti nærri 750 m og þar fyrir neðan, þar til neðan 1000 m að kalsít verður nokkuð algengt í svarfinu.

Tímaröð myndunar ummyndunarsteinda er nauðsynlegt að þekkja til að áætla megi ummyndunarhita með sæmilegri vissu. Reynt var lauslega að spá í slíka tímaröð út úr þeim gögnum sem borsvarfið veitir. Ofan u.þ.b. 750 m virðist mögulegt að álíta að prenit og wollastónít geti hafa myndast síðar en epidót í holrými bergsins, þó epidót standi gjarnan eitt sér við bergvegg í öðrum holrúmum opnum til miðju. Mögulegt er því að ofangreindir þrjár kristallar hafi myndast á svipuðum tíma. Vísbendingar eru þó til að prenit kunni að falla út úr vökva við eitthvað lægri hita en epidót.

Neðan við 1000 m má sjá að kalsít myndaðist á eftir epidóti bæði í holrými bergsins og æðum. Þýðing þess er ekki með öllu ljós en þó má

"fræðilega" ætla að kalsít geti hafa myndast nærri suðumarkshita á viðkomandi dýpi (eða nærri 300°C).

Niðurstöður ummyndunarathugana benda því til að hitaástand bergsins milli 300-1200 m kunni að liggja nærri suðumarksferli þó sjálfsagt sé að slá nokkra varnagla að svo stöddu.

Til samanburðar má geta þess að epidót fannst fyrst á tæplega 1000 m dýpi í holu KJ-6, sem var óvenju köld í ummyndunarhita miðað við aðrar Kröfluholur. Loks má geta þess að nærtækustu ástæðu fyrir hinum háa ummyndunarhita við Hvíthóla sé að leita til kröftugs uppstreymis við öskjumisgengi þar sem sambærilegt ummyndunarmynstur hefur fundist við öskjumisgengi í rofinni megineldstöð sambærilegri við Kröflueldstöðina.

MÆLINGAR

Allar mælingar sem gerðar voru í KJ-21 í þessum verkáfanga eru skráðar í töflu 1, og niðurstöður hitamælinga sýndar á myndum 4 - 7. Samkvæmt hitamælingum kælir ádæling holuna niður á 975 m dýpi, og eru því aðeins óverulegar æðar neðan þess dýpis. Helstu æðar sem sjást í hitamælingum eru annars á 290 m dýpi (við fódurrörsendann), 475 m, 520 m, 580 m, 925 m og á 970 m dýpi.

Holan reyndist vel opin, og er mikið rennsli milli æða strax og hætt er að dæla á holuna. Streymir inn um æðar allt niður í æðina á 580 m, og út um djúpæðarnar. Sem mælikvarða á millirennislið má nota upphitunarhraða í holunni þegar dælingu er hætt. Á mynd 7 eru sýndar tvær hitamælingar, í ádælingu, og u.þ.b. 2 tímum eftir að dælingu var hætt. Á þessum tíma hefur holan hitnað um 50-100°C í streymiskaflanum frá 300-1000 m. Er þetta mun hraðari upphitun en í öðrum Kröfluholum og orsakast fyrst og fremst af meira millirennisli í KJ-21 en í öðrum holum. Sem dæmi má taka að KJ-14, sem var frekar fljót að taka við sér, hitnaði á fyrstu 12 tímunum eftir að dælingu var hætt álíka mikið og KJ-21 gerir á tveim tímum.

ÞREPAÐÆLING

Þann 14. september var holan dæluprófuð. Meðan verið var að setja niður raufaða fóðringu og þar á undan hafði ádælingum verið breytt nokkuð títt. Síðustu stöðugu ádælingu, 19,6 l/s, hafði verið haldið í um það bil klukkustund áður en mæling hófst. Áður hafði ádæling verið breytileg frá 25-45 l/s. Er mælitæki höfðu náð að jafna sig var dæling stöðvuð og fylgst með hvernig vatnsborðið í holunni lækkaði. Rúmlega 10 mín. eftir að ádæling var stöðvuð hætti vatnsborðið að lækka og um 5 mín. síðar byrjaði það að hækka. Í fyrstu var talið að þetta stafaði af millirennslu í holunni, svipuðu því sem áður hefur sést í Kröfluholum (t.d. KJ-19), en samkvæmt því hefði vatnsborðið átt að lækka aftur rúmlega hálfum tíma síðar. Þetta kom ekki fram, heldur hélt vatnsborðið áfram að hækka næstu 1,5 klukkustund. Vatnsborðshækkunin var tiltölulega jöfn, um 10 m á þessum tíma, og benti þetta til að veruleg upphitun ætti sér stað í holunni. Eftir þetta var dælt á holuna um 36,1 l/s og stóð sú ádæling í tæpar 5 klukkustundir. Þetta þrep er verulega truflað af hitaáhrifum innan og í næsta nágrenni holunnar. Truflanir af þessu tagi eru venjulega meira langvarandi en truflanir vegna rýmdar borholunnar (wellbore storage) eða allt að 10-15 sinnum lengri. Ef notuð eru meðalgildi fyrir Kröfluholum myndi það samsvara 10 til 15 klukkustundum. Þetta þýðir í reynd að ádæling þarf að vera stöðug í um 15 klukkustundir áður en kemur að þeim hluta þrepsins sem er not hæfur til mats á vatnsleiðni og öðrum eiginleikum jarðhitakerfisins. Þetta krefst þess að hvert þrep sé um 60 klst. langt svo hægt sé að meta ofangreinda eiginleika. Að lokum var dælt á holuna um 58,6 l/s en þetta ádæluprep truflaðist er öryggi sló út á bornum svo dælur og annað stöðvuðust.

Samkvæmt því sem að ofan er sagt reyndist mjög erfitt að meta vatnsleiðnina með venjulegum aðferðum vegna sterkra hitaáhrifa á mælinguna. Hægt var að fá gildi fyrir svokallaðan línulegan niðurdráttarstuðul ($B = 1,37 \text{ m}/(l/s)$). Ef geymslustuðull kerfisins er þekktur má áætla vatnsleiðnina út frá B-stuðlinum. Lauslegt mat á vatnsleiðni út frá 36,1 l/s ádæluprepinu gefur leiðnina $T = 16,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/s$, sem aftur gefur mat á geymslustuðlinum um 1×10^{-5} . Svipað gildi hefur áður

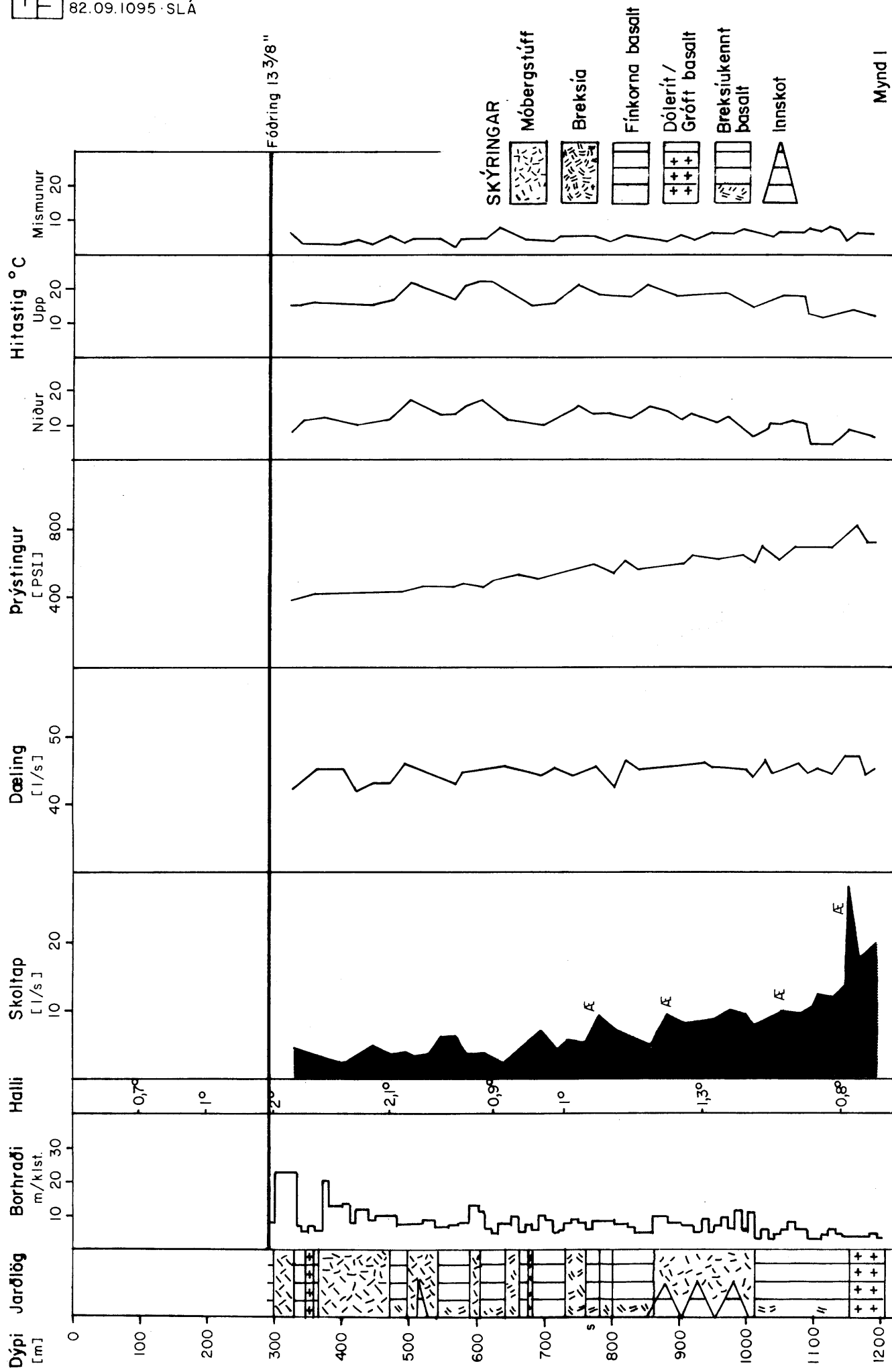
fengist fyrir efra jarðhitakerfið á gamla borsvæðinu. Samkvæmt þumal-
fingurreglu er oftast notað gildið 1×10^{-4} fyrir geymslustuðulinn.
Ef þessi gildi eru notuð ásamt B-stuðlinum fæst vatnsleiðnin $10,8 \times 10^{-4}$
 m^2/s , eða $9,4 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$. Samkvæmt áður fenginni reynslu er vatns-
leiðni metin úr frá B-stuðlinum fyrir Kröfluhólur um 2-3 sinnum hærri
en leiðni fengin með venjulegum aðferðum. Því er talið líklegt að
vatnsleiðnin fyrir hólunum KJ-21 sé um það bil $3,5 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$. Þetta
er allt að tvöfalt hærri en almennt gerist fyrir Kröfluhólur.

TAFLA 1 KRAFLA, HOLA KJ-21. MÆLINGAR Í BORUN 293 - 1200 m DÝPI.

Dagur	Hvað mælt	Dýpi	Ástand holu	Tilgangur	Athugasemdir
82.09.12	Híti, CCL	0 - 1191 m	Tap 38 l/s	Upphitun - æðar	Mælt í stöngum
82.09.12	"	0 - 1182 "	Ádæling 48 l/s	"	" " "
82.09.13	"	0 - 1198 "	Tap meira en 60 l/s	"	Eftir upptekt
82.09.13	Vídd	0 - 1195 "		Skápar	
82.09.13	Viðnám	0 - 1195 "		Jarðlög	
82.09.13	N-N og nat γ	0 - 1190 "		"	
82.09.13	nat γ	0 - 1160 "		"	Endurt. - nýr mælir
82.09.14	Híti	0 - 1160 "	Hætt að dæla í 1/2 st. fyrir mælingu	Upphitun æðar	

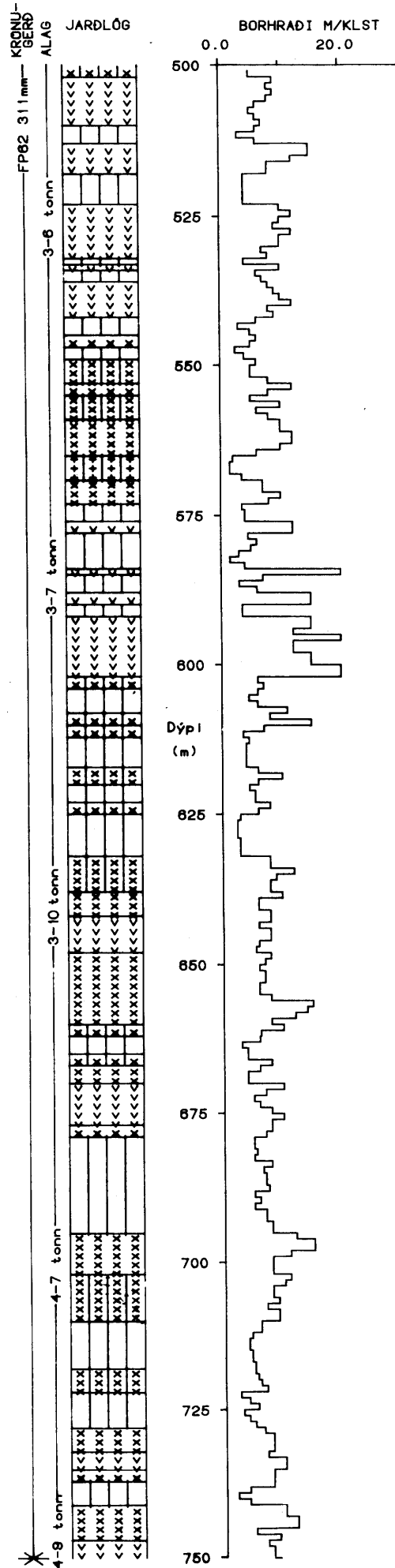
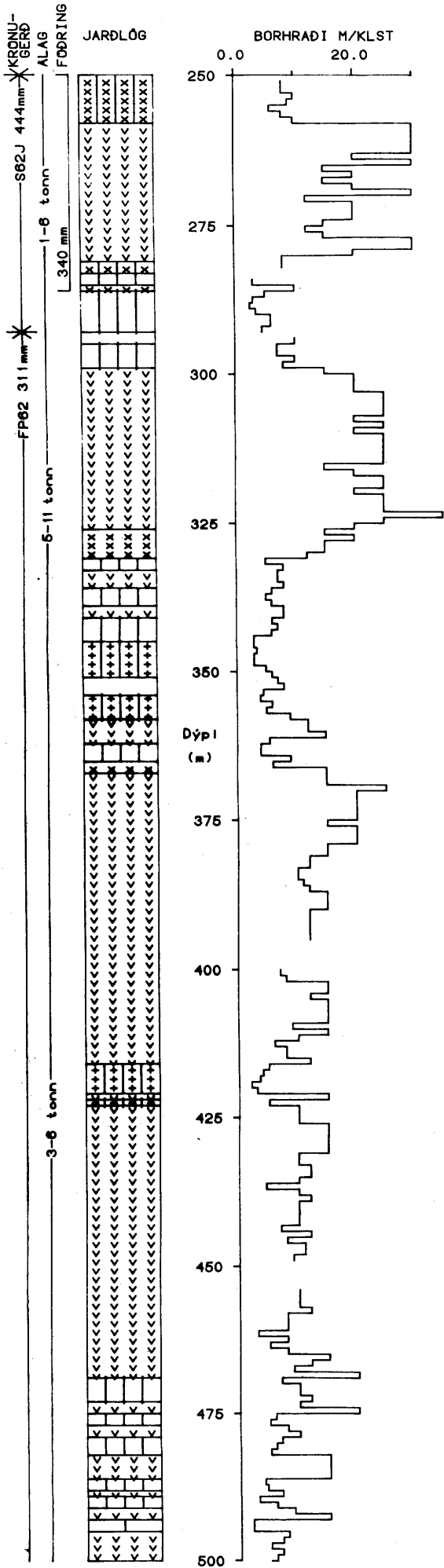


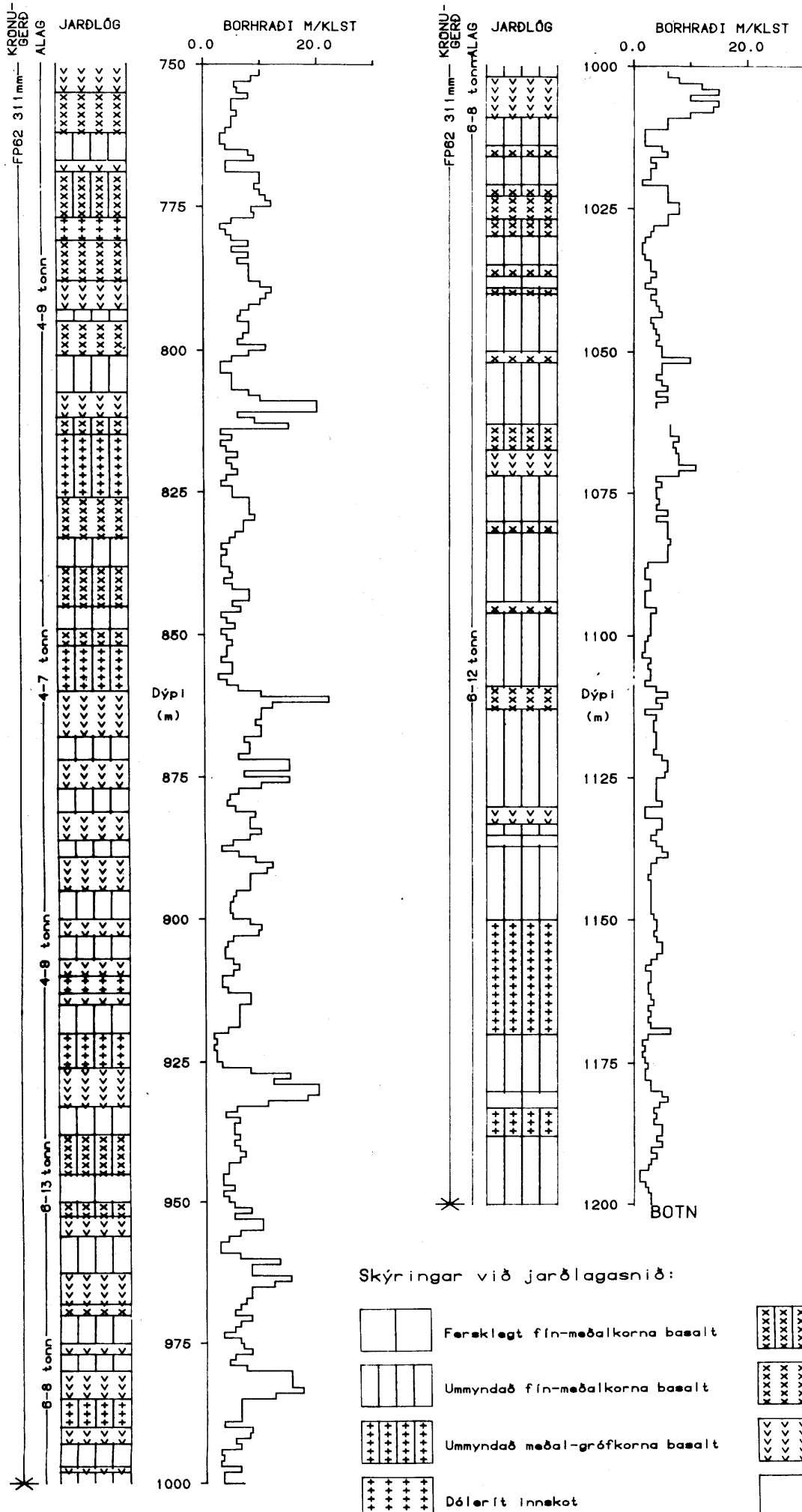
JHD:BJ:6607:ÁG/GÓF
82.09.1095:SLÁ



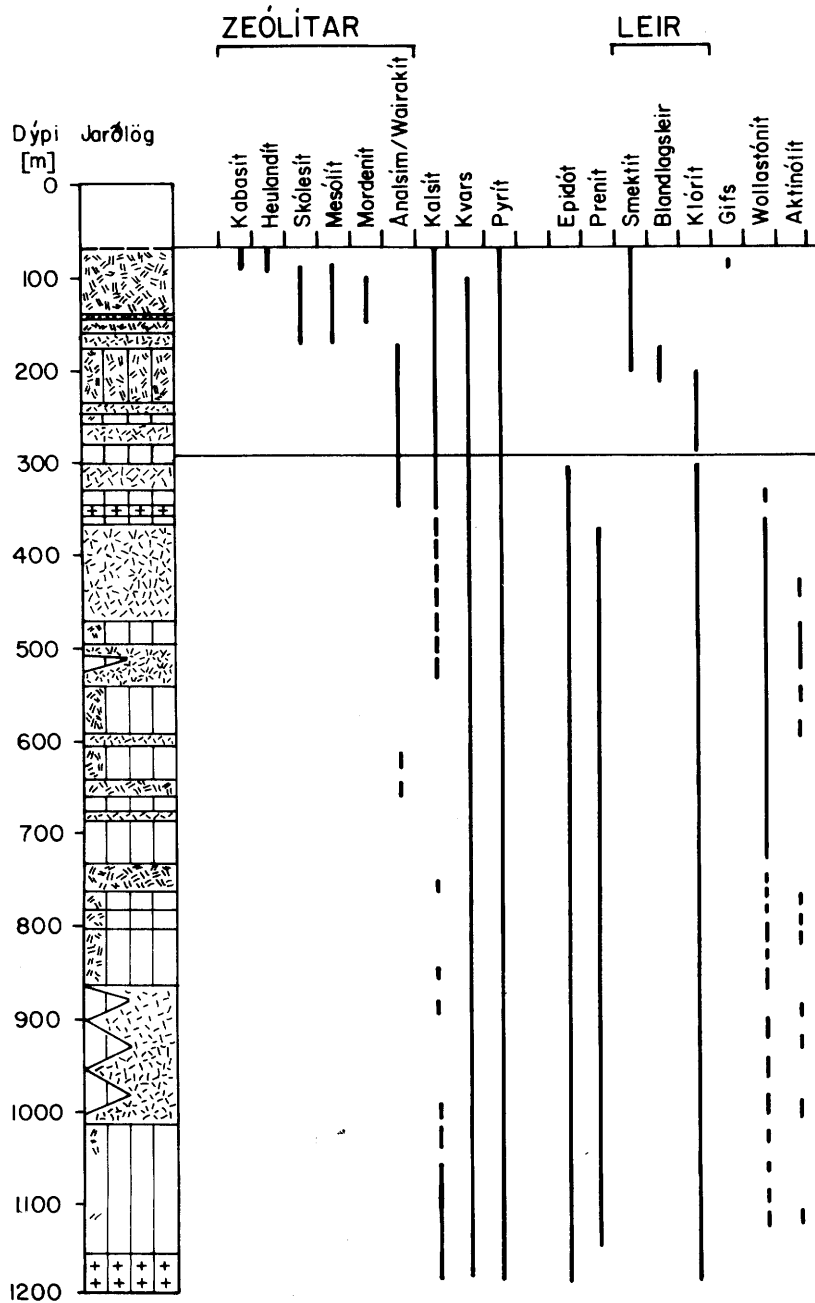
Krafla KJ-21

Mynd 2 a












KRAFLA KJ-21
DREIFING UMMYNDUNARSTEINDA



SKÝRINGAR

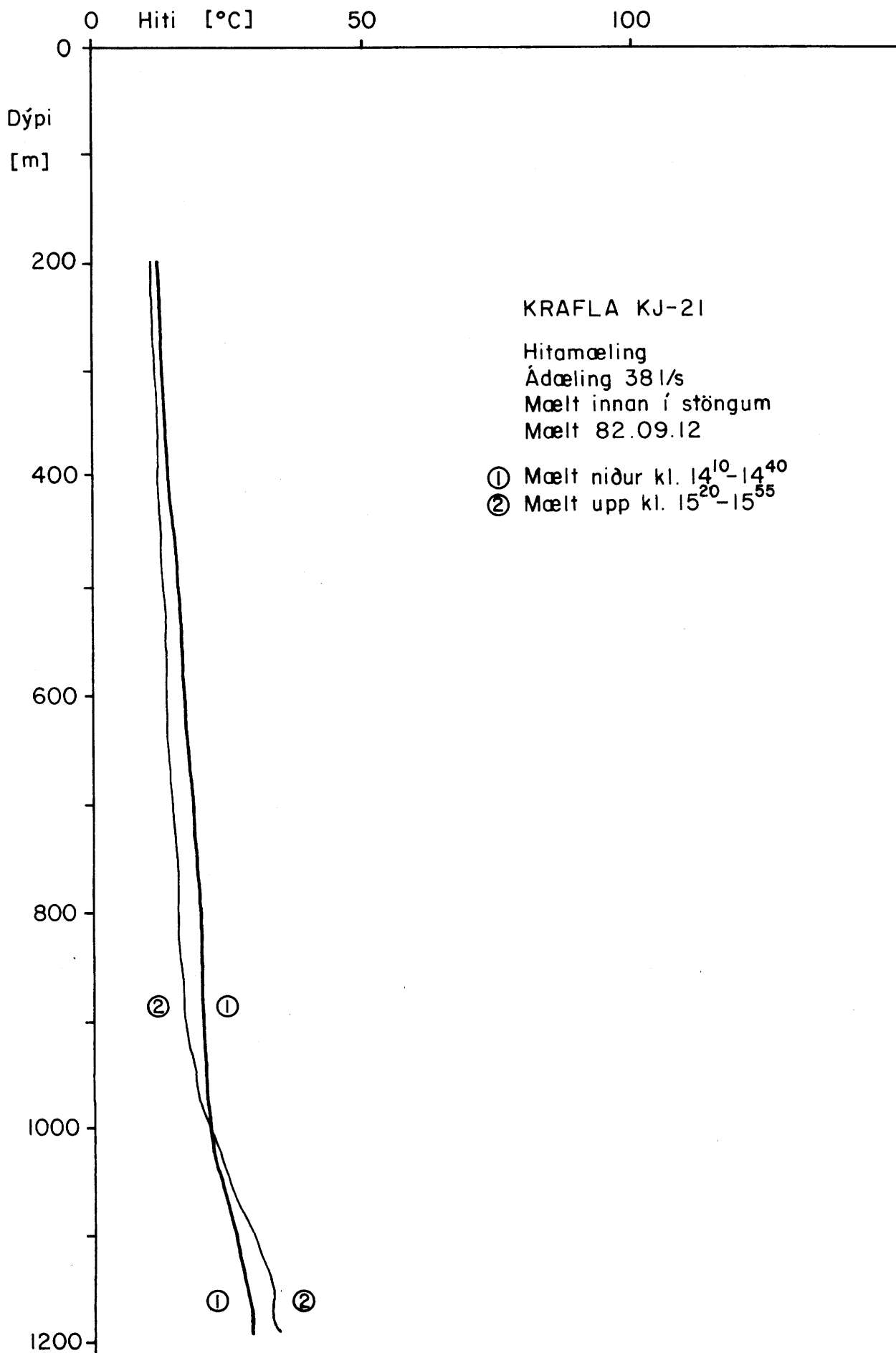
- | | | | |
|---|-----------------|---|-------------------------|
|  | Móbergstúff |  | Ummyndað glerjað basalt |
|  | Breksía |  | Breksíukennt basalt |
|  | Fínkorna basalt |  | Dólerít, gróft basalt |
| | |  | Innskot |



KRAFLA HOLA KJ-21

Dýpi 1200 m

Hitamælingar við borlok



KRAFLA KJ-21

Hitamæling

Ádæling 38 l/s

Mælt innan í stöngum

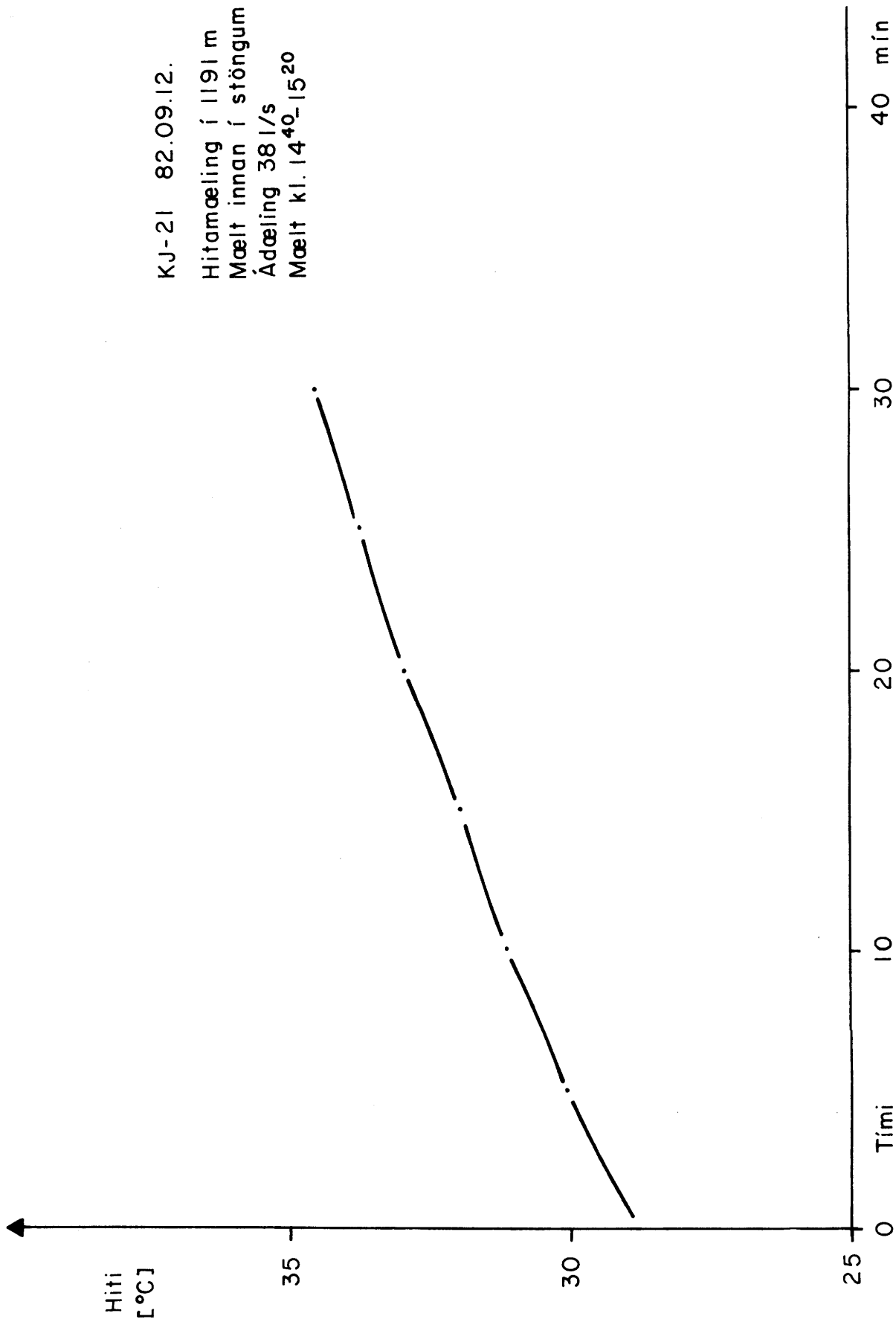
Mælt 82.09.12

- ① Mælt niður kl. 14¹⁰-14⁴⁰
- ② Mælt upp kl. 15²⁰-15⁵⁵

KRAFLA HOLA 21

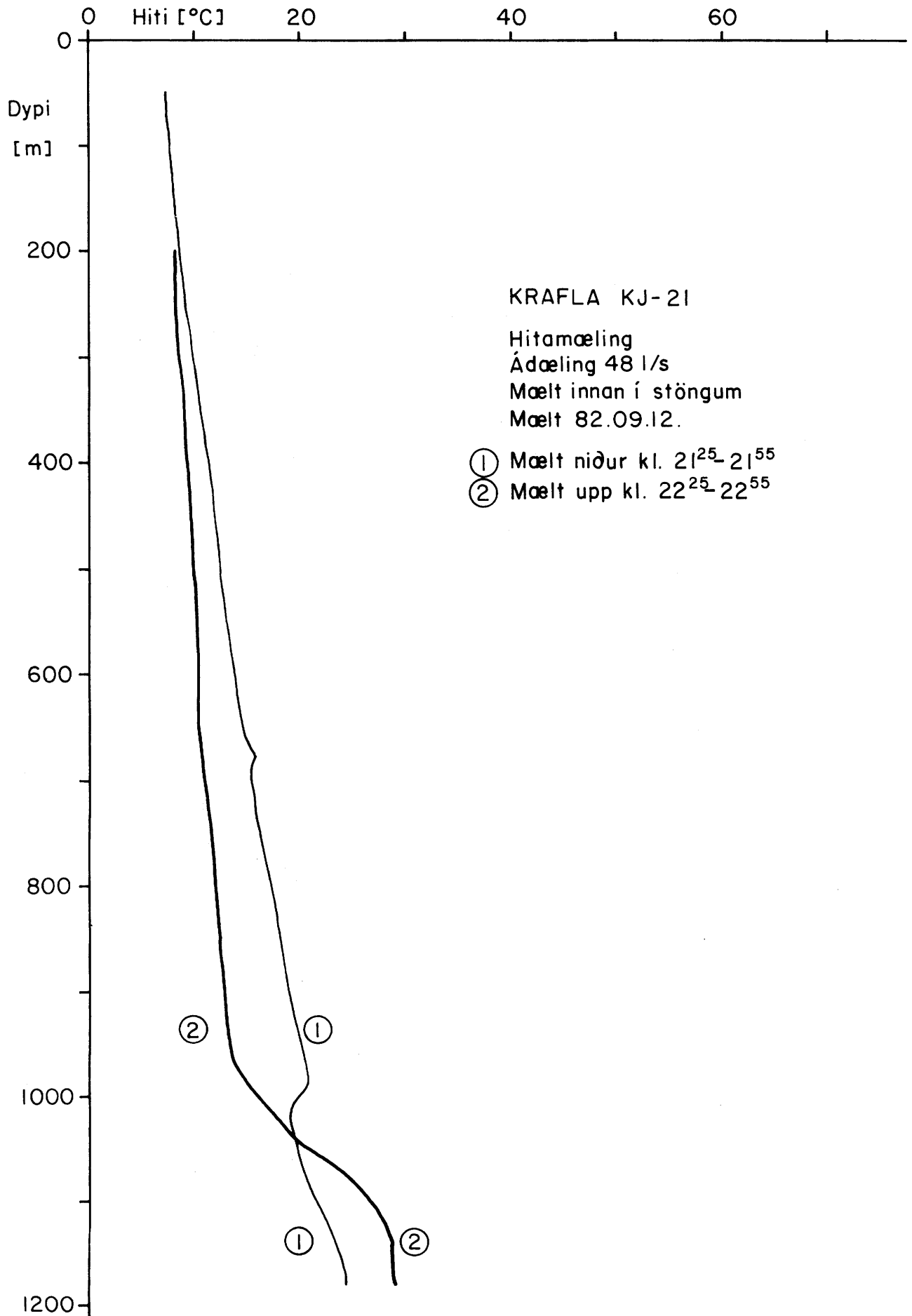
Upphitun í botni

KJ-21 82.09.12.
Hitamæling í 1191 m
Mælt innan í stöngum
Ádæling 38 l/s
Mælt kl. 14⁴⁰-15²⁰





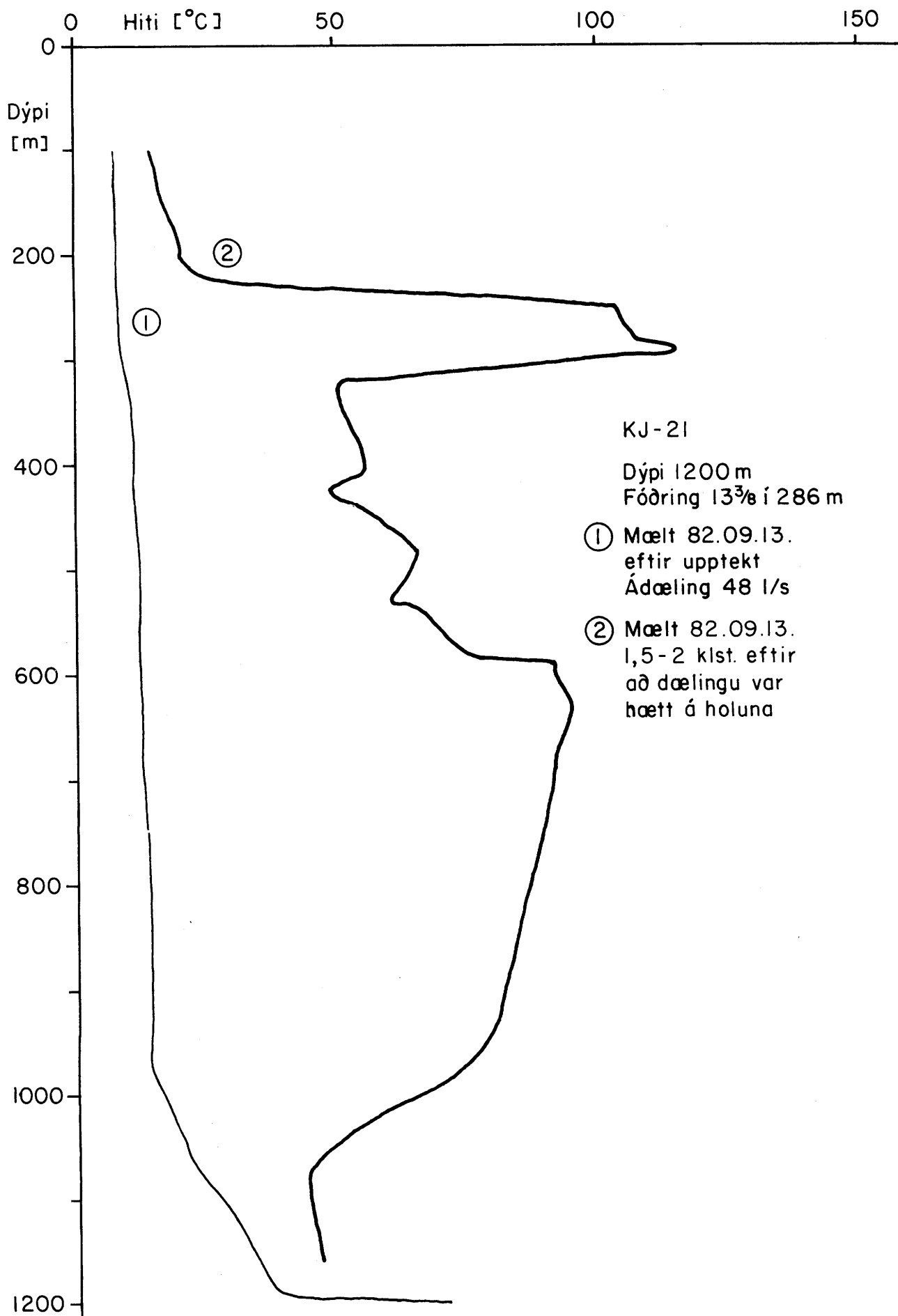
KRAFLA HOLA KJ-21
Dýpi 1200 m
Hitamælingar við borlok





KRAFLA HOLA KJ-21

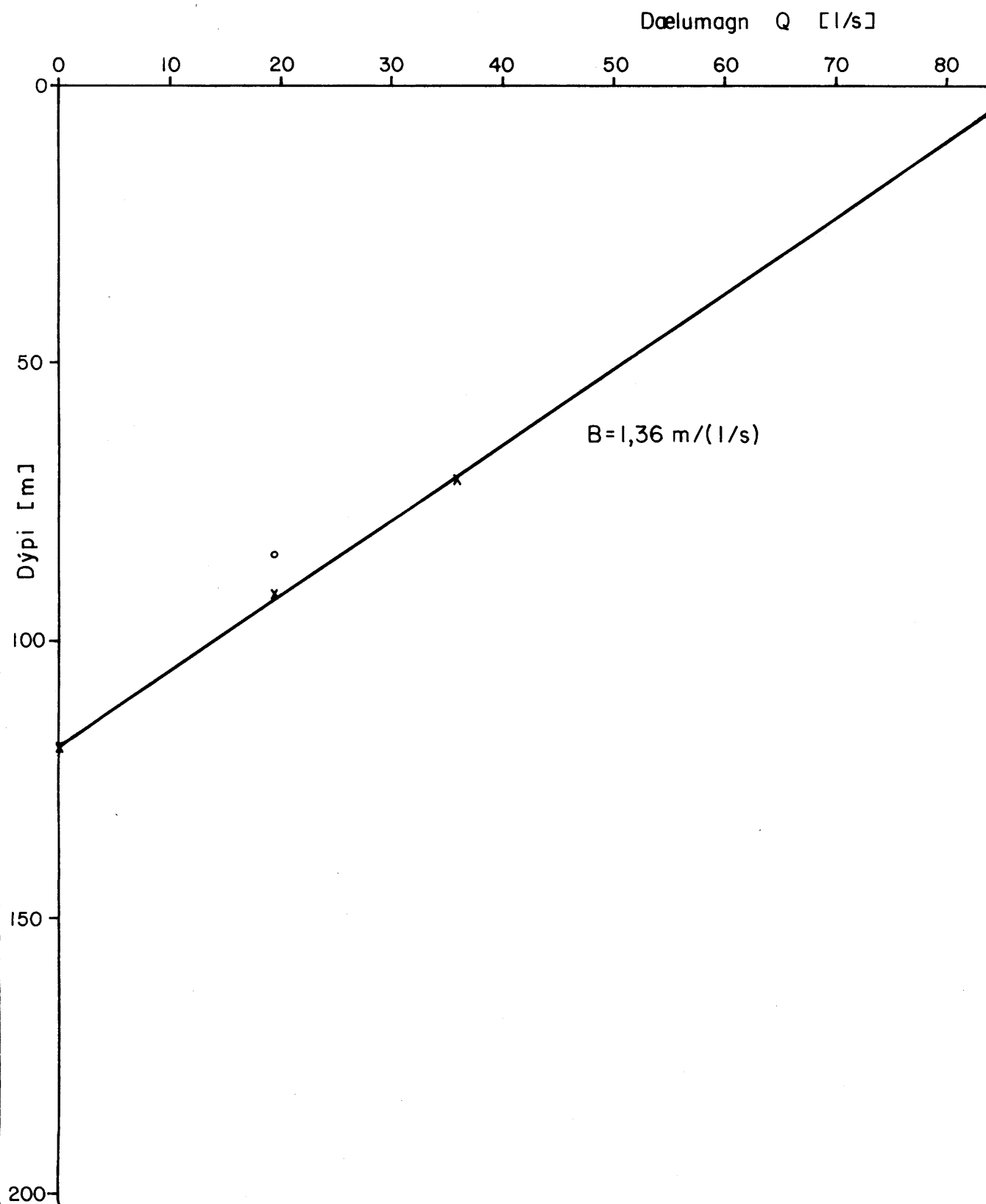
Hitamælingar við borlok





KRAFLA KJ-21

þrepadaeling 14-09-1982





KRAFLA KJ-21 prepaðæling 14-09-1982

