



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

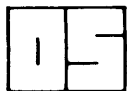
Ásgrímur Guðmundsson
Hilmar Sigvaldason

NESJAVELLIR, HOLA NG-10

Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar

OS-86020/JHD-04
Reykjavík, febrúar 1986

Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ásgrímur Guðmundsson
Hilmar Sigvaldason

NESJAVELLIR, HOLA NG-10

Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar

OS-86020/JHD-04
Reykjavík, febrúar 1986

Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur

ÁGRRIP

Hola NG-10 var staðsett undir Stangarhálsi í 199 m h.y.s. innarlega í Nesjavalladal. Borunin stóð yfir frá 22. september til 6. nóvember 1984 og tók samtals 45 verkdaga. Borað var fyrir 340 mm öryggisfóðringu niður á 199 m dýpi, fyrir 244 mm vinnslufóðringu niður á 596 m dýpi og vinnsluhluta niður á 1798 m dýpi, en hann var fóðraður með 178 mm raufuðum leiðara.

Jarðlagastaflinn sem holan sker er í meginatriðum á þessa leið: Í efstu 550 m er móberg ráðandi berggerð. Þar neðan við eru basalt-hraunlög einkennandi. Á fáeinum stöðum sést þar í móbergslinsur, sem geta verið vísbendingar um móbersmyndanir, að einhverju leyti huldar innskotum, þ.e. frá 1040-1180 m, 1420-1580 m og svo í neðstu 200 metrunum. Innskot sáust ekki í efstu 600 metrunum, en þar neðan við jókst tíðni þeirra með dýpi. Neðan 1300 m dýpis sáust fyrst ísúr - súr innskot og eru þau tíð þaðan niður undir botn holunnar.

Póruhluti mældist hæstur í móberginu, en er svipaður í basaltinu og ísúra - súra berginu. Viðnám er hátt í efstu 400-500 metrunum, en þar er berg nánast óummyndað. Þar neðan við og niður á 1150 m dýpi mældist viðnám undir 20 ohmm, en frá 1150 m og niður að botni fer viðnám hækkandi.

Ummyndun er lítil sem engin í efstu 400-500 metrunum, en þar neðan við er ummyndun lýsandi fyrir hækkandi hitastig í holunni. Á 1000 m dýpi er komið niður úr zeólíta-smektítbeltinu í blandlagaleirsteindabeltið og á 1130 m dýpi er komið niður úr blandlagaleirsteindabeltinu í klórít-epidótbeltið, sem gefur til kynna hita yfir 230-250°C.

Vatnsæðar eru átta talsins þar af fjórar í vinnsluhluta holunnar, þ.e. á 1510 m, 1700 m, 1750 m og 1770 m dýpi. Allar teljast þær gjöfular.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	2
1 INNGANGUR	5
2 ÁGRIP AF BORSÖGU	7
3 JARÐLÖG	12
3.1 Jarðlagaskipan	12
3.2 Innskot	24
3.3 Póruhluti	26
3.4 Viðnám	27
3.5 Samanburður á jarðlagasniði og jarðlagamælingum	30
3.6 Tenging jarðlaga	31
4 UMMYNDUN	35
4.1 Greiningaraðferðir	35
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda	35
4.3 Magn ummyndunarsteinda	38
4.4 Ummyndunarhiti	39
4.5 Samanburður við næstu holur	41
5 VATNSÆÐAR	43
6 NIÐURSTÖÐUR	46
HEIMILDIR	48
ENGLISH SUMMARY	49

MYNDIR

	Bls.
1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum	6
2 Framvinda borunar	10
3 Frágangur holu NG-10	11
4 Jarðlagasnið og borholumælingar	13
5 Dreifing innskota og mælingar	25
6 Dreifing poruhluta í bergtegundum	28
7 Dreifing poruhluta eftir dýpi	29
8 Dreifing 16" viðnáms	32
9 Dreifing 64" viðnáms	33
10 Einfaldað jarðlagasnið, ummyndunarsnið og jarðlagamælingar	34
11 Dreifing ummyndunarsteinda	36
12 Hlutfallslegt magn ummyndunarsteinda	37
13 Hitastigsákvarðandi steindir	39
14 Berghiti	40
15 Samanburður á ummyndun í NG-10, NG-6 og NG-7	42
16 Staðsetning vatnsæða	43
17 Hitamælingar	45

TÖFLUR

1 Borholumælingar	9
2 Samanburður þóruhluta NG-7 og NG-10	27
3 Meðaltalsviðnám í bergtegundum (ohmm)	27

1 INNGANGUR

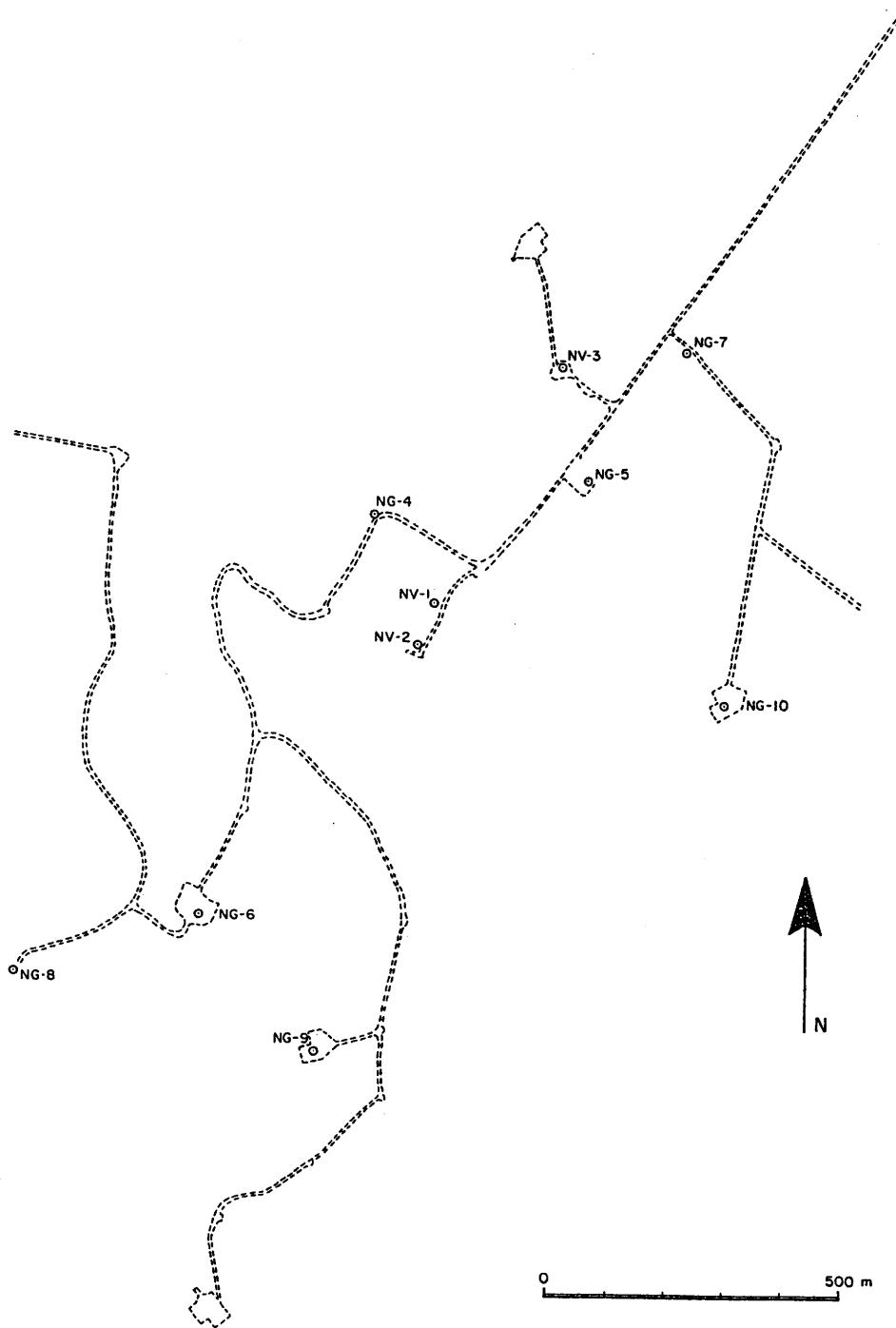
Skýrsla þessi er um jarðlög og vatnsæðar, sem hola NG-10 skar, og er unnin samkvæmt samningi Orkustofnunar við Hitaveitu Reykjavíkur. Aður hafa verið gefnar út þrjár áfangaskýrslur (Hilmar Sigvaldason o.fl. 1985a, Jens Tómasson o.fl. 1985 og Hilmar Sigvaldason o.fl. 1985b). Þar var fjallað um borun holunnar og tekin saman gögn og upplýsingar sem til féllu á þeim tíma. Hér á eftir verður birt úrvinnsla á þeim gögnum er varða jarðlagaskipan, ummyndun og vatnsæðar.

Hola NG-10 var þriðja og síðasta holan, sem boruð var á Nesjavöllum árið 1984. Hún var staðsett austan til og innarlega í Nesjavalladalnum, í útjaðri jarðhitasvæðisins (mynd 1). Markmiðið með staðsetningunni var að sjá hversu langt jarðhitasvæðið teygir sig til norðausturs.

Ásamt höfundum unnu eftirtaldir aðilar við gerð skýrslunnar: Hjalti Franzson, Ómar Bjarki Smáráson og Jens Tómasson við svarfgreiningu, Gyðríður Jónsdóttir og Benný Baldursdóttir við þunnsneiðagerð, Erla og Vigdís Harðardætur sáu um röntgenvinnu og við borholumælingar Guðjón Guðmundsson, Guðni Guðmundsson, Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson. Verkefnisstjóri var Valgarður Stefánsson. Benedikt Steingrímsson, Hjalti Franzson og Baldur Hafstað lásu yfir handritið og bentu á margt sem betur mátti fara.

JHD-BJ-8715-VS
85.II.-1550-00

STAÐSETNING BORHOLA Á NESJAVÖLLUM



Mynd 1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum

2 ÁGRIP AF BORSÖGU

Hola NG-10 var eins og áður segir þriðja og síðasta holan, sem boruð var á Nesjavöllum árið 1984. Hinn 22. september var Gufubor fluttur frá holu NG-9 og fjórum dögum síðar var byrjað að bora. Verkið tók alls 45 verkdaga og lauk því 6. nóvember (mynd 2). Borverkinu var skipt niður í þrjá áfanga, þ.e borun fyrir öryggisfóðringu (Hilmar Sigvaldason o.fl. 1985a), borun fyrir vinnslufóðringu (Jens Tómasson o.fl. 1985) og borun vinnsluhluta (Hilmar Sigvaldason o.fl. 1985b). Lokið var við holuna 6. nóvember eins og áður er sagt, þegar hún hafði náð 1798 m dýpi. Hér á eftir verður stiklað á stóru um framvindu verksins. Á mynd 3 eru sýnd helstu atriði varðandi hönnun holunnar, þ.e. fóðringardýpi, fóðringar, vinnsluhluta, hallamælingar og vatnsæðar.

Höggborshola var 43ja m djúp og gekk borun með 444 mm krónu hægt niður úr henni. Berg var nánast ferskt og hrungjarnt og þegar komið var í 123ja m dýpi var hætt að bora vegna mikils botnfalls. Steypt var úr 13 tonnum af sementi í botnfallið og skápa og var yfirborð steypunnar á 84 m dýpi. Þegar fyrra bordýpi var náð voru sömu vandamál uppi á teningnum, þar sem borinn hafði leitað út úr steypunni á um 100 m dýpi. Steypt var því á nýjan leik, en nú úr 8 tonnum sements og hörðunartími stytur úr 12 í 6 tíma. Borun steypu gekk vel og er henni var lokið var blandað gel til að auðvelda eftirleikinn. Fóðringardýpi varð 199 m og var því náð að morgni 3. október. Eftir upptekt borstrengs var holan hita- og jarðlagamæld (tafla 1) síðan var hún fóðruð með 340 mm fóðringu niður á tæplega 194 m dýpi. Verkáfanganum lauk með steypingu fóðringar, en til þess voru notuð 30 tonn af sementsblöndu og meðaleðlisþyngd var $1,65 \text{ g/cm}^3$.

Þann 6. október hófst borun fyrir vinnslufóðringu með 311 mm krónu. Sama dag tapaðist allt skolvatn ($>40 \text{ l/s}$) á 252ja m dýpi. Borað var niður á 266 m dýpi og síðan undirbúin steyping til að þétta æðina, en vatnsborð var á 65 m dýpi. Borstrengurinn var hafður niðri og steypt í gegnum hann. Að steypingu lokinni var honum lyft upp í öryggisfóðringu til að koma í veg fyrir að hann steyptist fastur. Alls þurfti þrjár steypingar til að þétta æðina og voru notuð til þess 19 tonn af sementsblöndu. Ekki tókst að lyfta strengnum eftir síðustu steypinguna og steyptist hann fastur. Það tókst að koma á dælingu og var hægt að skola hluta steypunnar upp til yfirborðs, en strengurinn var jafnfastur sem áður. Með hjálp sprenginga náðist að skrúfa strenginn í sundur ofan við efri rýmara, en niðri í holunni urðu eftir rýmari, álagsstöng, tengistykki og króna. Til losunar var settur niður "jar" (hamar sem lemur upp á við þegar togað er) að kvöldi dags og tengdur við það sem niðri var. Lamið var alla nóttina þar til

jarinn var orðinn máttlaus eftir að strengurinn hafði mjakast upp um rúman metra. Þá þurfti aftur að skrúfa í sundur strenginn niðri í holunni. Reynt var að skrúfa í sundur neðan við efri rýmara með hjálp spřenginga, en strengurinn losnaði í sundur á sama stað og áður. Næst var settur niður "bömper" (lemur bæði upp og niður þegar togað er) en ekki komst hann lengra niður en á 210 m dýpi og var þá ljóst að steypan hafi náð þangað upp. Ákveðið var að bora steypuna út með fóðurróri og fóðurrörskrónu og var holan rýmd á þann hátt niður á efri rýmara. Síðan var settur niður "bömper" og hann skrúfaður við leifarnar niðri í holunni. Eftir minni háttar barsmíðar losnaði strengurinn og þann 10. október var búið að taka allt upp. Fljótlega var sett niður á ný til borunar, en nú með einum rýmara, þar sem hinn skemmdist. Borun gekk áfallalaust niður í 598 m dýpi, sem varð fóðringardýpi. Sami háttur var viðhafður og við lok borunar fyrir öryggisfóðringu, þ.e. holan var mæld (tafla 1) og síðan sett niður 244 mm vinnslufóðring, sem náði niður á rúmlega 593ja m dýpi. Þann 16. október var fóðringin steipt og voru notuð til þess tæp 58 tonn af sementsblöndu, rúm 46 tonn neðan frá, og þar sem steypa kom ekki upp voru notuð 11,5 tonn ofan frá. Meðaleðlisþyngd var $1,75 \text{ g/cm}^3$.

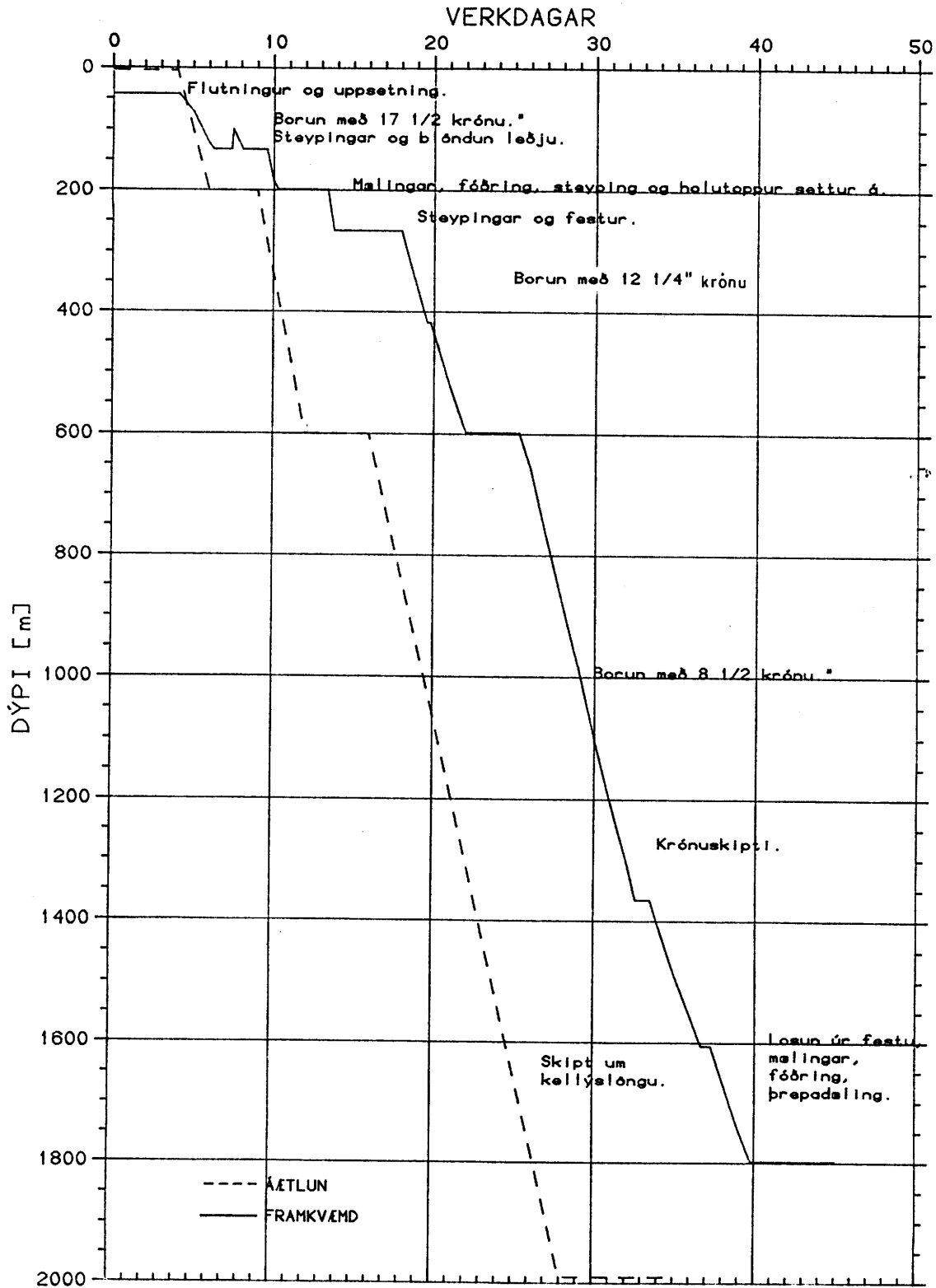
Borun vinnsluhluta NG-10 hófst nærri miðnætti 17. október (25. verkdagur) og var notuð til þess verks 216 mm króna. Verkið gekk áfallalaust fyrir sig og var borun hætt 1. nóvember, þegar dýpið var 1798 m. Tvisvar sinnum var stoppað áður en lokadýpi var náð. Skipta þurfti um krónu, þegar dýpið var við 1366 m og einnig olli það lítilsháttar töfum þegar kellyslinga sprakk. Holan var nánast þétt niður undir 1500 m, en þaðan og niður að endanlegum botni opnaðist holan vel. Þegar taka átti borstreng upp festist hann. Eftir u.þ.b. 8 klst. tilraunir bormanna tókst að losa strenginn. Í þeim átökum losnaði borstrengurinn frá blökkinni, og féll niður á borpallinn án þess þó að valda slysum. Eftir að borun var lokið var dagskráin sem hér segir: hitamælingar í borstreng og fylgst með upphitun, borstrengur tekinn upp, hita- og jarðlagamælingar (tafla 1), raufaður leiðari settur niður og hola þrepaðeld. Að lokum var mastur borsins fellt á 45. verkdegi og þar með var lokið borun holu NG-10, þann 6. nóvember 1984 eins og áður segir.

TAFLA 1 Mælingar í NG-10 Nesjavöllum

Dags.	Tími	Hvað mælt	Dýptar- bil (m)	Aths.
840929	13:10-13:30	Hiti-dT-CCL	0-122	Æðar
"-	13:30-14:00	Vídd	0-122	Skápar
841003	14:10-14:30	Hiti-dT-CCL	0-193	Upphitun
"-	14:40-15:00	Vídd	0-191	Skápar
"-	15:10-16:00	N-N+Gamma	0-193	Jarðlög
"-	16:00-16:30	Viðnám	0-193	- " -
841007	15:25	Back-off	228	Losun á borstreng
841008	22:35	- " -	226	- " -
841015	01:15-05:00	Hiti-dT-CCL	0-578	Upphitun
"-	11:30-12:00	- " -	0-596	- " -
"-	12:00-13:30	Vídd	0-595	Skápar
"-	13:30-15:00	N-N+Gamma	0-598	Jarðlög
"-	15:00-16:00	Viðnám	0-598	- " -
841017	18:00-20:00	CBL	0-569	Steypugæði
841026	00:00-01:20	Hiti-dT-CCL	0-1150	Upphitun
841102	13:30-18:00	- " -	0-1745	- " -
841103	20:50-22:30	- " -	0-1776	- " -
"-	22:35-01:00	Vídd	0-1776	Skápar
841104	01:00-04:00	N-N+Gamma	0-1776	Jarðlög
"-	04:00-06:30	Viðnám	0-1776	- " -
841105		Þrýstingur	0-1710	Þrepaðaling
841106		Hiti-dT-CCL	0-1777	- " -
841114		- " -	0-550	Upphitun
"-		Am.hiti	0-1758	- " -
841120		Hiti-dT-CCL	0-560	Vatnsborð 186,2 m
"-		Am.hiti	0-1755	- " -
"-		Am.þrýstingur	0-1755	- " -
841129		Hiti-dT-CCL	0-547	Vatnsborð 172,0 m
"-		Am.hiti	0-1757	- " -
"-		Am.þrýstingur	0-1757	- " -
841214		Hiti-dT-CCL	0-545	Vatnsborð 165,5 m
"-		Am.hiti	0-1757	- " -
"-		Am.þrýstingur	0-1757	- " -
850109		Hiti-dT-CCL	0-543	Vatnsborð 155,8 m
"-		Am.hiti	0-1757	- " -
"-		Am.þrýstingur	0-1757	- " -
850218		Hiti-dT-CCL	0-540	Vatnsborð 148,6 m
"-		Am.hiti	0-1757	- " -
"-		Am.þrýstingur	0-1757	- " -

JHD-BJ-8715 ÁsG
85.04.0522 T

NESJAVELLIR HOLA NG-10 Framvinda borunar



Mynd 2 Framvinda borunar

JHD-BJ-8715 AsG.
85.04.0520

NESJAVELLIR HOLA NG-10

Staðsetning: Hnit $x=658689,6$ $y=403810,3$ Hæð yfir sjó=199 m

Fjarlægðir: Drifborð- kjallarabrún 2,5 m, kjallarabrún- kragi 2,6

Höggberstfóðring: Utanmál 470 mm, veggþykkt 8 mm

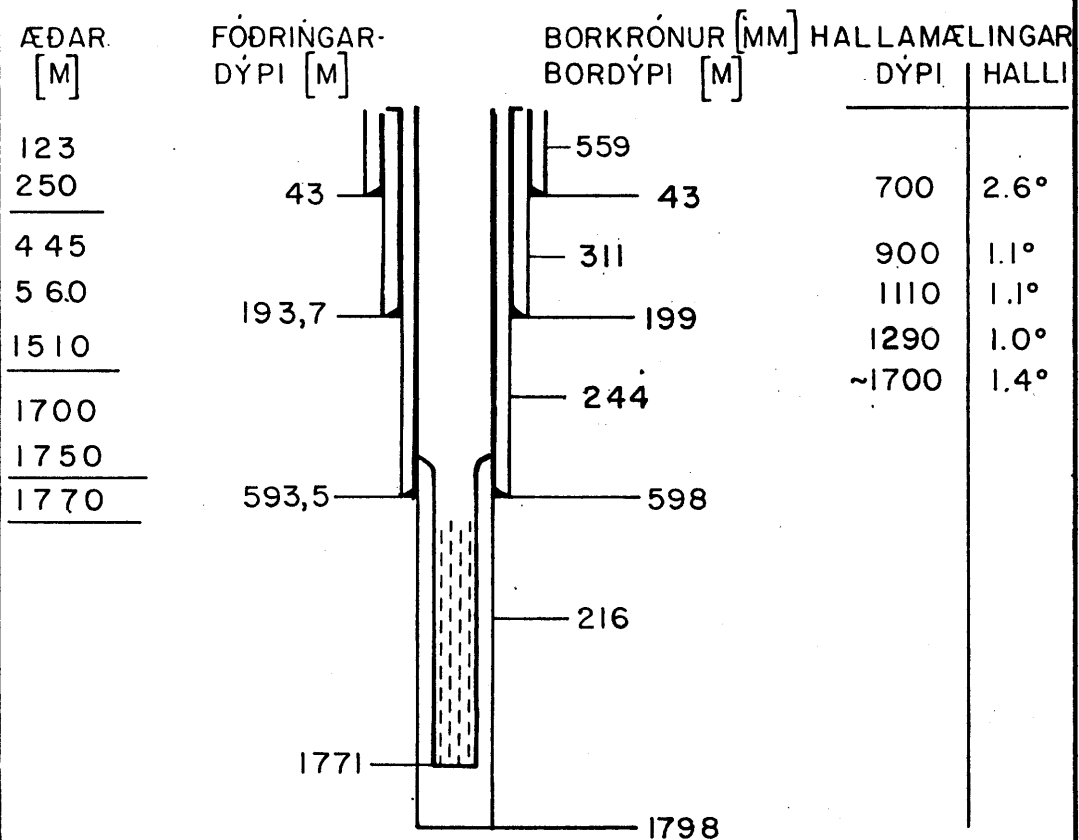
Öryggisfóðring: API 13^{3/8}, K-55 BTC 68 # og 61 #

Vinnslufóðring: API 9^{5/8}, K-55 BTC 40 #

Leiðari: API 7", K-55 skrúfuð

Öll rör raufuð

Hengistykki 547 m frá kraga



Dýptartölur eru miðaðar við drifborð Gufubors

Mynd 3 Frágangur holu NG-10

3 JARÐLÖG

Hola NG-10 var staðsett og boruð innarlega á lágsléttu Nesjavalladalsins að austanverðu undir brekkurótum Stangarháls (mynd 1). Hæð hennar yfir sjávarmáli er 199 m eða ívið meiri en holu NG-4, en til samanburðar má geta þess að holur NG-5 og NG-7 eru í 188 og 185 m h.y.s. Jarðhitaummerki á yfirborði eru engin sjáanleg í næsta nágrenni holunnar.

3.1 Jarðlagaskipan

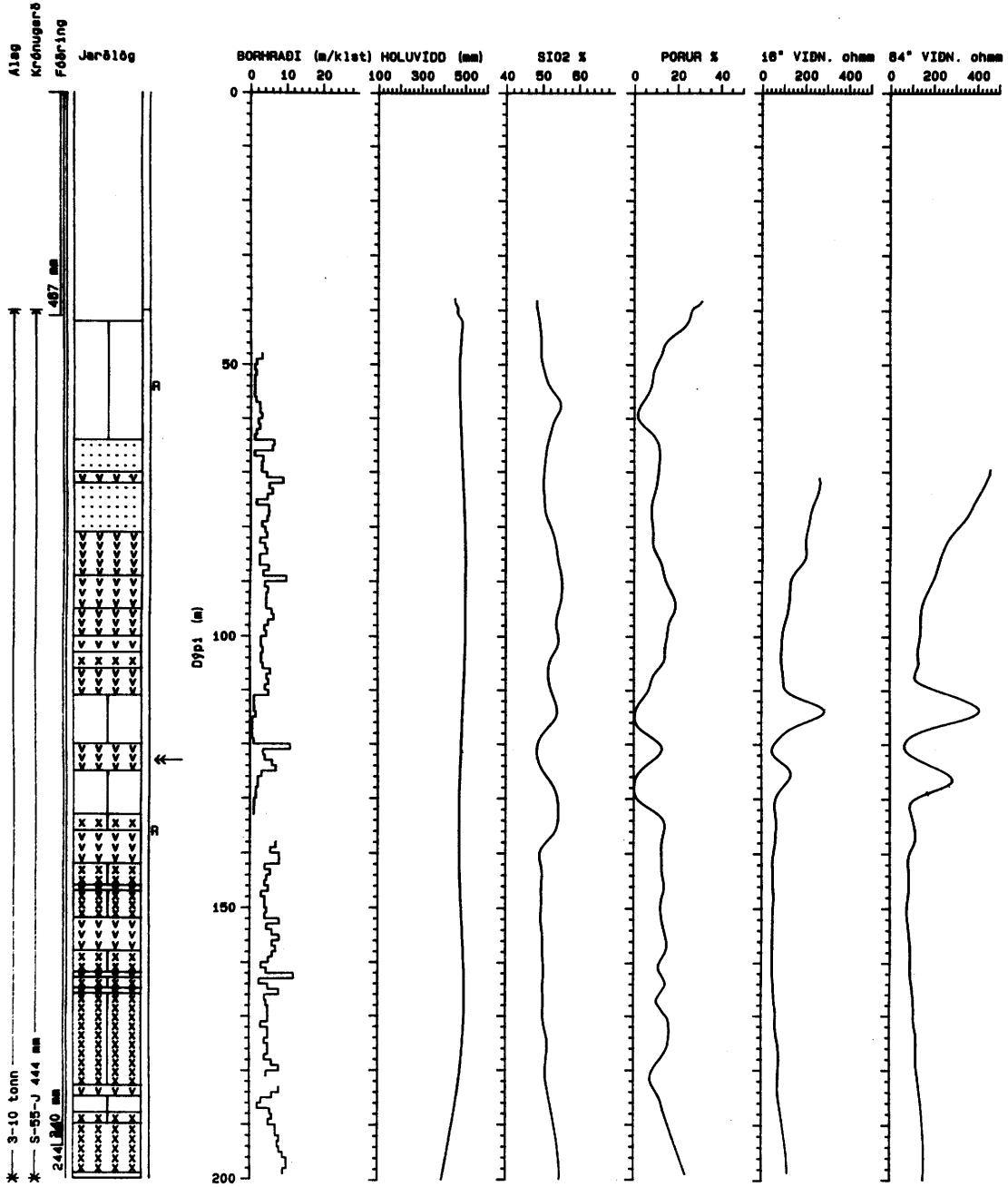
Á mynd 4 (10 blöð) er sýnt í hvers konar berg hola NG-10 var boruð. Ásamt jarðlagasniði eru sýnd eftirtalin atriði: borhraði, vídd holunnar, viðnám í holuveggjunum miðað við 16" og 64" þvermál frá holumiðju, nifteindadreifing umreiknuð í póruhluta og náttúruleg geislavirkni bergsins umreiknuð í SiO₂. Við flokkun á jarðlögum er reynt að skipta þeim upp eftir myndunaraðstæðum. Þannig er þeim skipt upp í tvo meginflokka, annars vegar upphleðslueiningar, sem hlaðast upp á yfirborð, og hins vegar innskot, sem eru ávallt yngri en grannbergið. Hér á eftir verður reynt að flokka lögin niður í einsleitar myndanir og bera þær saman við nærliggjandi holur.

Myndun 1 nær frá rúmum 40 m, þar sem byrjað var að greina svarf úr holunni, og niður í 142ja m dýpi. Það mætti jafnvel skipta þessu enn frekar og setja efstu mörkin við ferska basaltið, sem nær niður í 64 m dýpi og flokka það til hraunlagamyndunar og/eða bólstrabergsmyndunar (0-64 m). Neðan við 64 m er ferskt gler ráðandi berggerð. Niður í 81 m dýpi eru seteinkenni sjáanleg. Í neðri hlutanum eru tvö 9 m þykk fersk þóleiðbasalt hraunlög, sem hugsanlega mætti flokka sér.

Myndun 2 nær frá 142 m niður á 250 m dýpi. Í meginatriðum er hún samsett af fersku basaltgleri og hlutkristölluðu basalti. Plagíóklasdílar sjást öðru hvoru, en ekki er hægt að segja að þeir séu einkennandi fyrir myndunina. Frá 180 m dýpi sjást auk plagíóklas, pyroxen og ólivíndílar í þunnsneið. Ennfremur sést kalsít myndað þar á kostnað glersins, en þó aðeins að litlu leyti. Leirskán sést víða í blöðróttu glerinu, að öðru leyti sjást engar holufyllingar. Frá 210-230 m er túff einkennandi og sjást þar m.a. seteinkenni, en þau eru ekki sýnd á jarðlagasniðinu. Þrjár þunnsneiðar voru gerðar frá þessu dýptarbili, við 146 m, 180 m og 250 m. Allar bentu til þess að samsetning bergsins væri af ólivín-þóleið gerð.

JHD-8M-8715 HS/AsG
85.04.0515 T

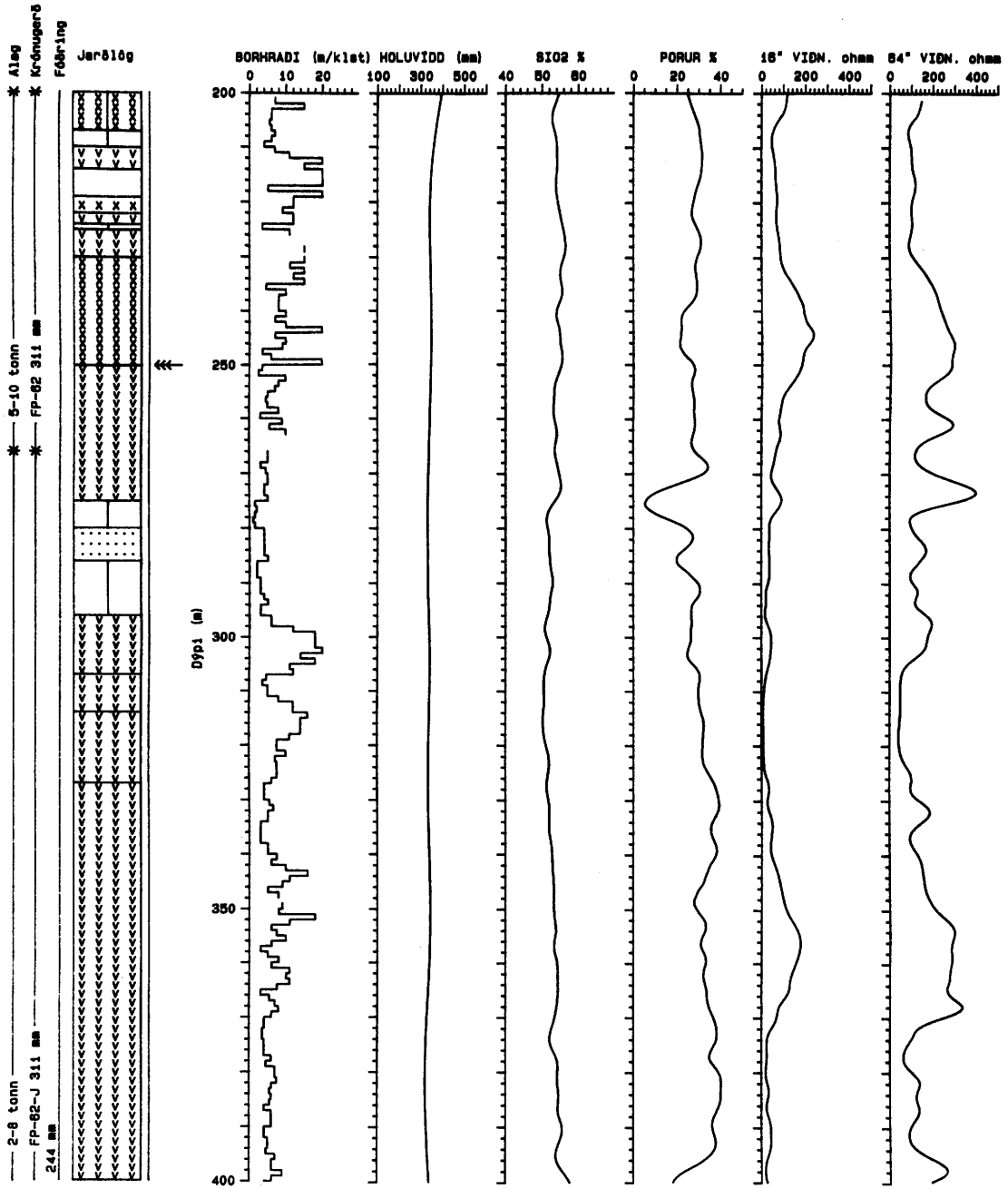
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARÐLAGASNIÐ OG BORHOLUMELINGAR



Mynd 4 Jarðlagasnið og borholumælingar

JHD-BM-8715 HS/AsG
85.04.0515 T

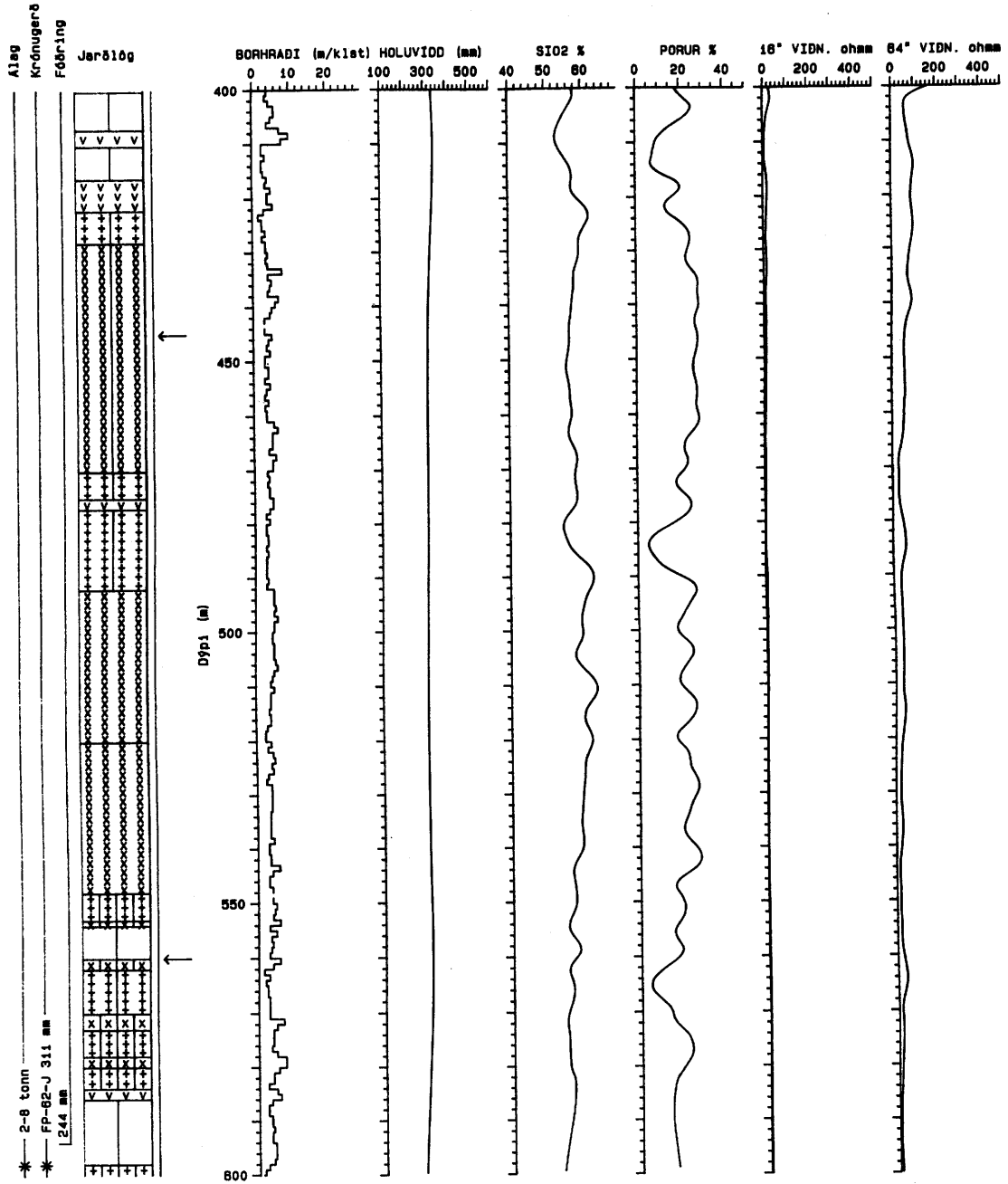
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARDLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/AsG
85.04.0515 T

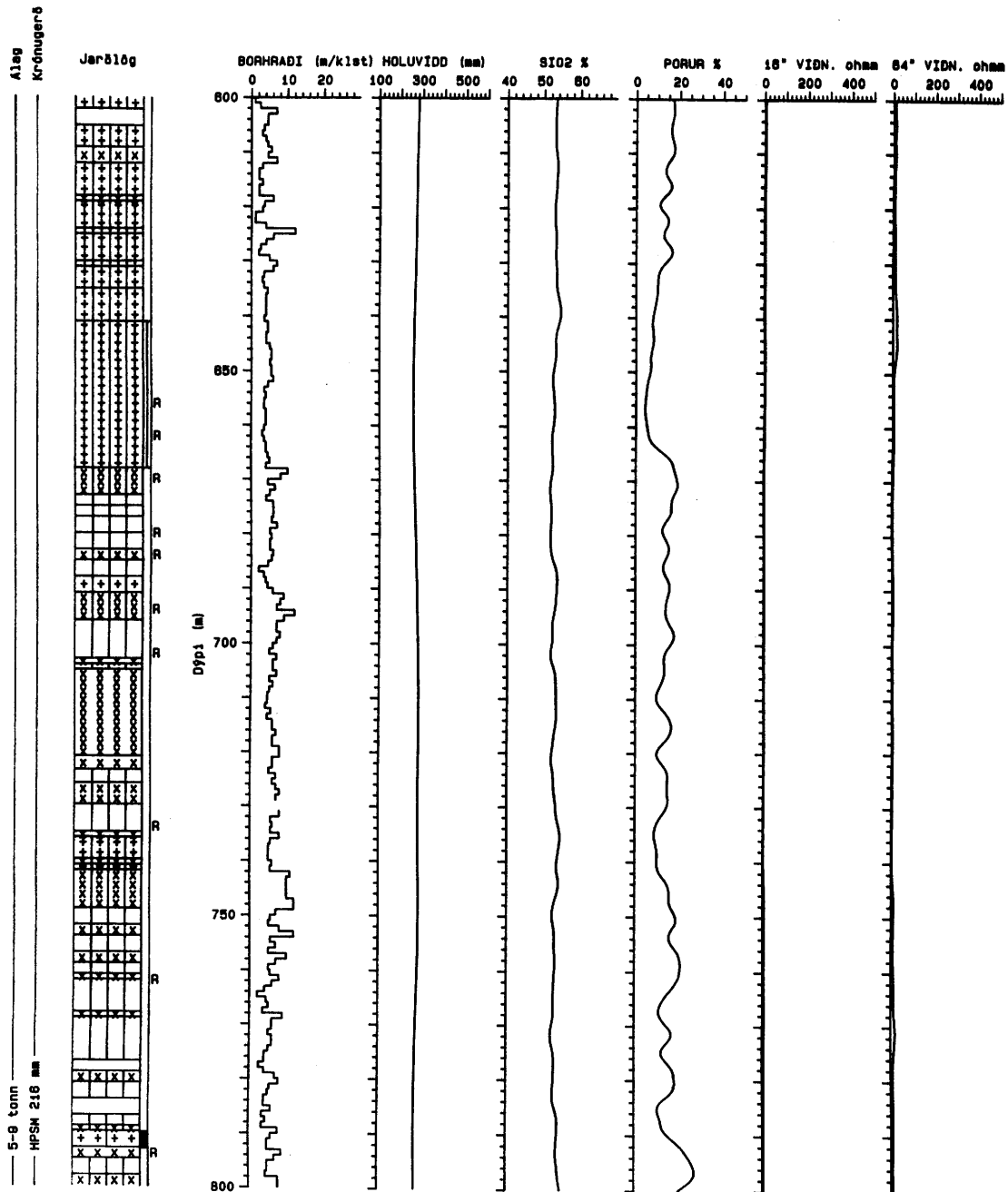
NESJAVELLIR HÖLA NG-10 JARDLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/AsG
85.04.0515 T

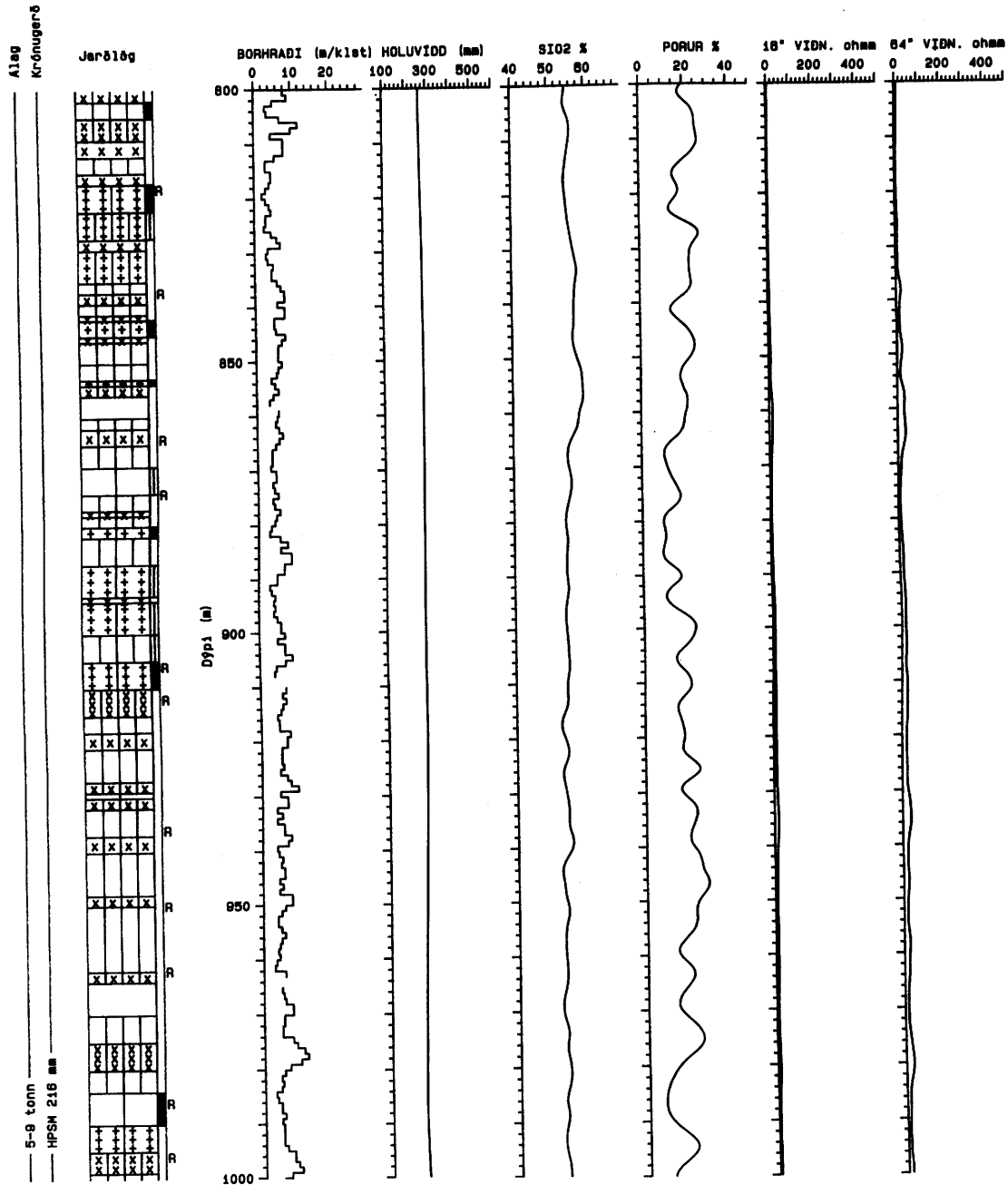
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARDLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/Asg
85.04.0515 T

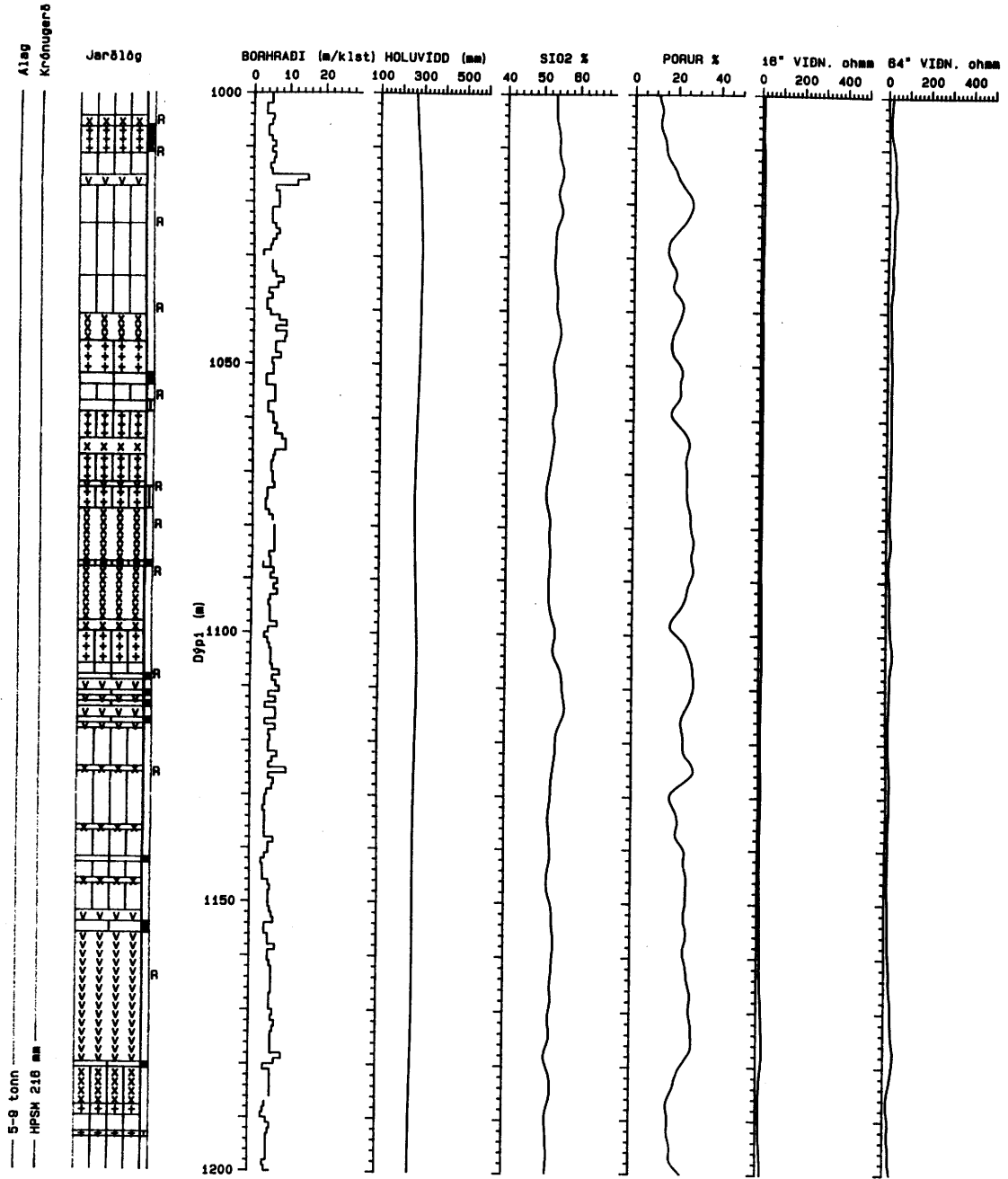
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARDLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/AsG
85.04.0515 T

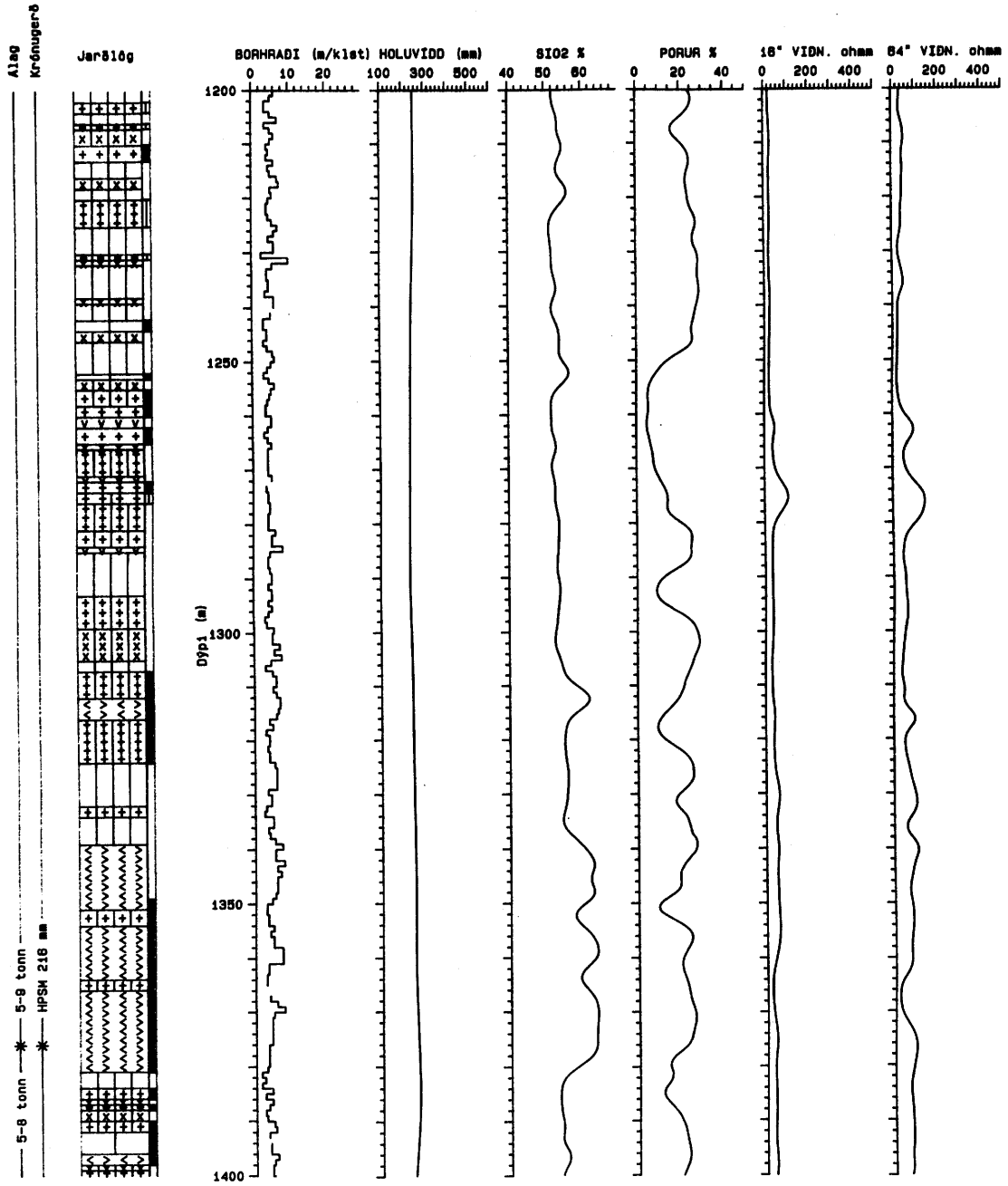
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARDLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-8M-8715 HS/Ae8
85.04.0515 T

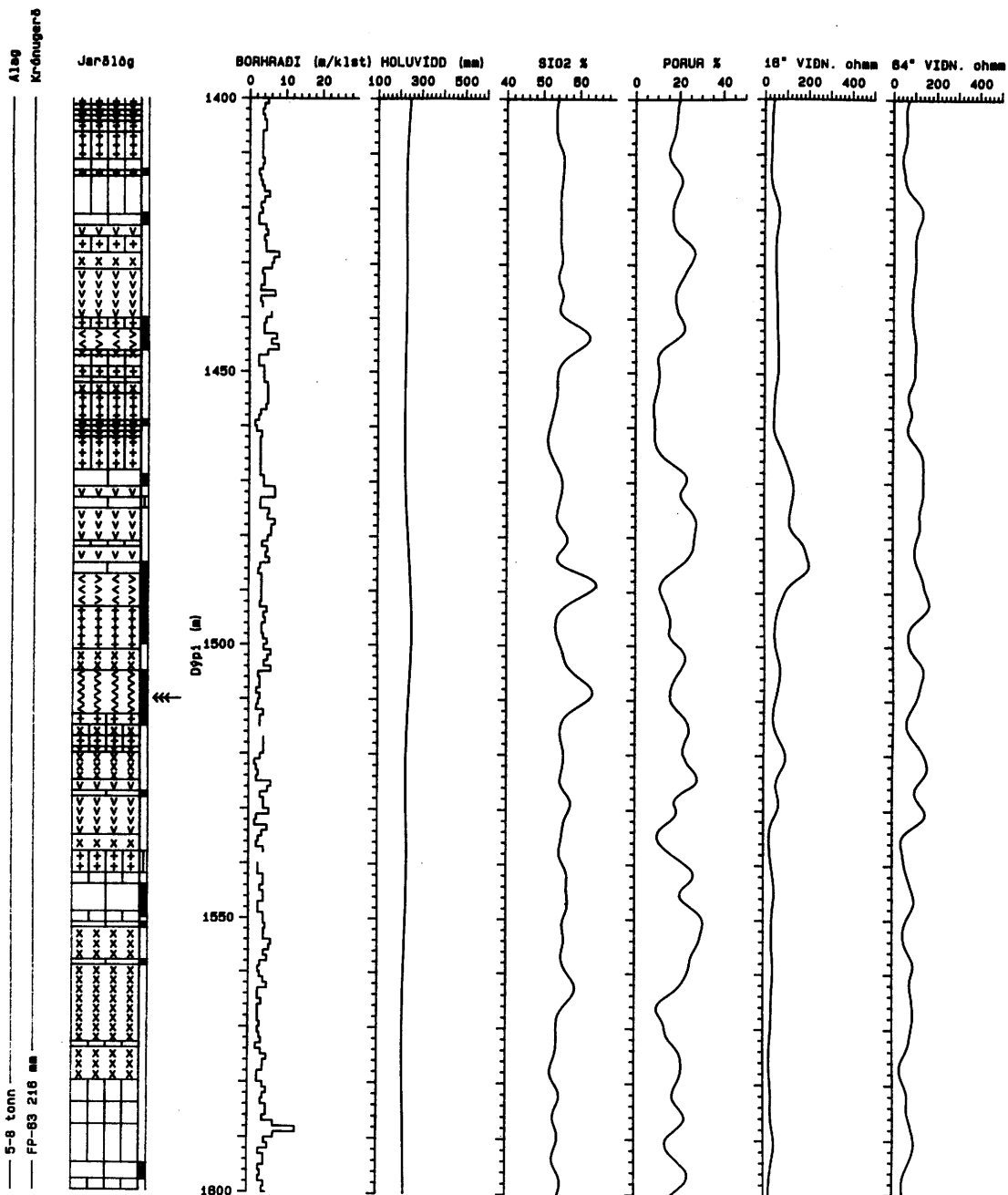
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARDLAGASNID OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-8M-8715 HS/Asg
85.04.0515 T

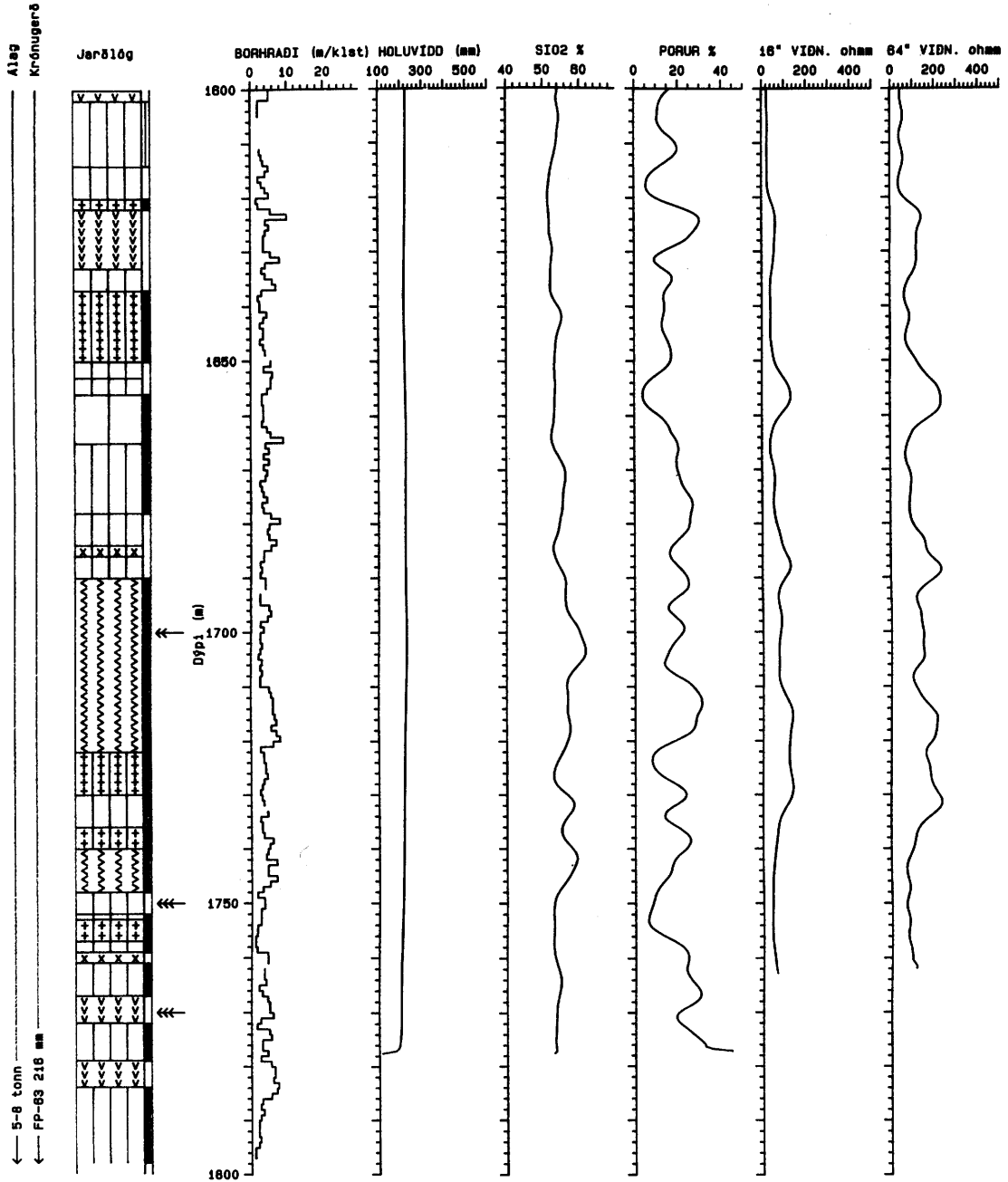
NESJAVELLIR HOLA NG-10 JARÐLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/AsG
85.04.0515 T















NESJAVELLIR HÓLA NG-10 JARÐLAGASNIÐ OG BORHOLUMÆLINGAR



Mynd 4 Frh.

JHD-BM-8715 HS/As6
85.04.0515 T

Skýringar við jarðlagasnið

	Fersklegt fin-meðalkorna basalt		Ummyndað glerjað basalt
	Ummyndað fin-meðalkorna basalt		Basaltrík breksía
	Fersklegt meðal-grófkorna basalt		Túff
	Ummyndað meðal-grófkorna basalt		Isúrt grófkornótt berg
	Dólerít innskot		Finkornótt set
	Fersklegt glerjað basalt		Svarf vantar
	Líklega innskot	R : Aberandi oxun	
	Innskot	<--- Merkjanleg vatnsæð	
		<<--- Samleg vatnsæð	
		<<<--- Góð vatnsæð	

Mynd 4 Frh.

Myndun 3 nær frá 250 m niður á 400 m dýpi. Fersklegt basaltgler einkennir þessa myndun, en víða er leirmyndun hafin í því og það orðið tvíbrjótandi á að horfa í smásjá. Frá 274 m og niður á 296 m voru greind tvö ferskleg basalhraunlög aðskilin af túffi með seteinkennum. Þrátt fyrir að basaltgler sé einkennandi þá eru víða í því hálf- til velkristölluð basalhraunlög eða eitlar og má ráða útfrá borhraða hvar þau eiga heima í sniðinu. Í svarfgreiningu sáust plagióklasdýlar annað slagið niður á 274ra m dýpi.

Myndun 4 nær frá 400 m niður á 548 m dýpi. Einkennandi berggerð eru basaltríkar breksíur. Bergið er mjög glerjað og meira ummyndað en ofar í holunni. Í efstu 28 metrunum, frá 400-428 m eru þrjú basalthraunlög aðskilin af holufylltu túffi (=gler). Neðsta hraunlagið er plagióklasdílótt og er pyroxen þar farinn að ummyndast í leir. Breksían frá 428-470 m er að mestu laus við holufyllingar, en bergið er mjög gropið. Frá 470-492 m eru tvö meðalgófkornótt ólivín-þóleiít hraunlög. Þunnt túfflag aðskilur þau. Frá 492 m niður á 548 m dýpi eru basaltbreksíur með þunnum velkristölluðum bergeitlum og er þessi kafli að því leyti frábrugðinn því sem fyrir ofan er, að magn holufyllinga eykst og þá fyrst og fremst zeólíta. Í þunnsneið af bergi frá 516 m dýpi virðist berggerðin vera af ólivín-þóleiít samsetningu.

Allur kaflinn, sem hér að ofan hefur verið lýst flokkast sem móberg.

Myndun 5 nær frá 548 m niður á 668 m dýpi. Einkennandi fyrir myndunina eru ólivín-þóleiít hraunlög, að jafnaði grófkornótt eða meðalgrófkornótt. Lítið sem ekkert sést af ólivíni og víða er bergið það ummyndað að aðeins plagióklas er eftir af frumsteindunum. Neðst í þessum hluta er 27 m þykkt innskot. Ekki er alveg ljóst hvort rétt sé að flokka þetta dýptarbil sem sérstaka myndun, enda kemur það í ljós hér á eftir, að skilin í neðri hluta holunnar verða ekki eins skörp og í efstu 600 metrunum.

Frá 668 m niður á 1041 m dýpi eru hraunlög einkennandi, en ekki er rétt að skilgreina þetta bil sem eina sérstaka myndun. Niður í u.þ.b. 780 m dýpi eru þóleiíthraunlög ráðandi, en þar neðan við eru ólivín-þóleiíthraunlög einkennandi. Milli hraunlaganna eru oftast oxuð kargalög og í sumum tilfellum túffkennt set. Á jarðlagasniði er sýndur til hliðar við það bókstafurinn R og stendur hann fyrir oxun. Það gefur til kynna hvar oxun er mest áberandi í holunni, en tilgreinir ekki hvern einasta oxunarblett. Samvæmt því virðist þetta dýptarbil skera sig nokkuð úr hvað oxun varðar. Stígandi í ummyndun er ákaflega hægur og magn ummyndunarsteinda er mest bundið við þann hluta bergsins sem ummyndast auðveldlegast þ.e.a.s. glerið. Þar er jafnan groppóttasti hluti bergsins og því móttækilegastur fyrir ummyndun. Það er ekki fyrr en í þessum kafla að fyrstu háhita-steindirnar sjást (mynd 11).

Frá 1041 m niður á 1180 m er mikið af túffi og basaltbreksíum. Ef til vill er hér um að ræða sérstaka móbergsmyndun. Efri hlutinn ein-kennist af basaltbreksíum, en neðri hlutinn aftur á móti af túffi. Rétt neðan við miðbik þessa kafla, frá 1118 m í 1152 m, eru 5 basalt-hraunlög aðskilin af túffi. Á þessu dýptarbili verða miklar breyt-ingar í ummyndun á þann hátt að zeólítar nánast hverfa, en háhita-steindir eins og epidót, prenit o.fl. taka við (mynd 11). Annað sem vert er að veita athygli er að innskotafjöldi hefur aukist til muna frá því sem áður hefur verið og hefur það vafalaust haft áhrif á ummyndun bergsins. Eðlilegt er að búast við auknum innskotapéttleika með dýpi og móbergsmyndanir virðast móttækilegri fyrir innskot heldur en hraunlagamyndanir.

Frá 1180 m niður á 1420 m dýpi gæti verið samfelld hraunlagamyndun, en innskotafjöldi útilokar fullyrðingar þar að lútandi. Flest hraun-laganna reyndust vera ummynduð fín-meðalkornótt með samsetningu póleiíts. Ólivín-póleiít er oftast tilgreint á jarðlagasniðinu sem meðal-grófkornótt basalt, ef ekki er tekið fram að um innskot sé að ræða. Að minnsta kosti 40% af því bergi sem skorið var á þessum kafla er innskotsberg.

Frá 1420 m niður í 1580 m eru túff og basaltbreksíur ráðandi ef inn-skotin eru undanskilin. Hugsanlega er hér um að ræða móbergsmyndun sundurskorna af innskotum. Ófarlega í þessu dýptarbili eru nokkur grófkornótt hraunlög sýnd á jarðlagasniði, en ekki er útilokað að þar sé um innskot að ræða. Í tengslum við ísúr innskot á liðlega 1500 m dýpi er gjöfufullt, sem stjórnar þrýstingi holunnar. Eins og greini-legt er á jarðlagasniðinu þá er erfitt að tala um ákveðnar upphleðslu-einingar þegar komið er niður á þetta dýpi og innskot nálgast það að vera allt að 100% jarðlaganna. Samt sem áður gefa túfflög eins og á 1622-1633, 1767-1772 og 1779-1784 m til kynna leifar móbergsmyndana.

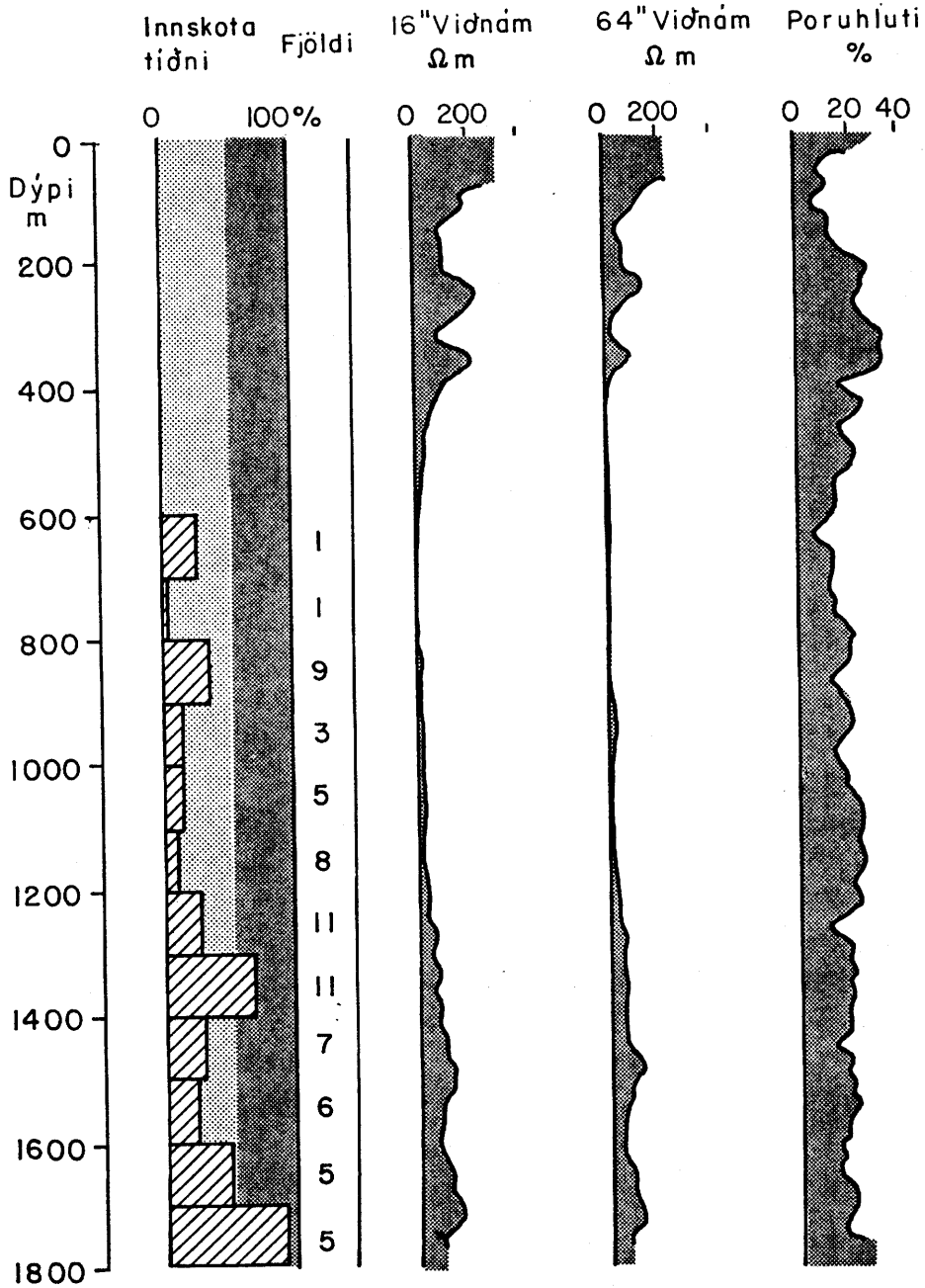
3.2 Innskot

Samhliða jarðlagasniði á mynd 4 er merkt hvaða lög teljast til inn-skota og þá um leið hvaða berggerð er um að ræða. Fernskonar inn-skotsgerðir sáust, þ.e. fínkornótt fersklegt basalt, fínkornótt ummyndað basalt, grófkornótt basalt eða dólerít og díórít. Það síðastnefnda er ísúrt eða á mörkum þess að vera ísúrt og súrt, en það þýðir að kísilsýruinnihald sé yfir 60%. Á mynd 5 er sýnd dreifing innskota með dýpi. Annars vegar er sýnt hvað innskotin eru stór hluti þess bergs er borað var í og hins vegar hve mörg innskot sjást á hverju dýptarbili. Samhliða dreifingu innskota niður holuna eru sýnd meðaltalsgildi viðnámsmælinga og þórhlutu fyrir hverja 50 m. Sæmileg fylgni er með tíðni innskota niður holuna og viðnámi.



JHD-BJ-8715. AsG.
85.04.0516. SyJ.

NESJAVELLIR NG-10 Dreifing innskota



Mynd 5 Dreifing innskota og mælingar

Í efstu 600 metrunum sjást engin innskot og á því dýptarbili eru engin ummerki um tilvist háhitasvæðis sjáanleg. Það má skýra að einhverju leyti með fjarveru innskota, ef gengið er út frá þeirri forsendu að því sem næst lóðrétt innskot eða sprungur tengdar þeim leiði jarðhitavökvann í efri jarðlög eða til yfirborðs. Af því má ráða að lítið sé um lóðrétt innskot, sem ná upp í eða upp úr móbergskaflanum í efstu 600 metrunum, í næsta nágrenni holu NG-10.

Á mynd 5 sést hvernig innskotum fjölgar neðan 600 m dýpis. Þrátt fyrir það eru ekki merkjanlegar neinar vatnsæðar í tengslum við þau fyrr en á liðlega 1500 m dýpi. Ummyndun fer greinilega vaxandi samfara aukinni tíðni innskota og eru miklar sprungufyllingar að jafnaði í tengslum við þau. Þýrít sést yfirleitt í námunda við innskot, sem bendir til að einhver lekt hafi verið tengd þeim. Fyrsta vatnsæðin sem skorin var í vinnsluhluta holunnar á 1510-1515 m var á mótum díórítinnskots og túfflags. Tvær aðrar stórar æðar voru skornar dýpra, einnig í tengslum við díórítinnskot, á 1700 og 1750 m dýpi. Það er vert í náinni framtíð að skoða nánar samband vatnsæða og ákveðinna gerða innskota, þar sem ekki er óalgengt að æðar tengjast súrum eða ísúrum innskotum á háhitasvæðum.

3.3 Þóruhluti

Aðferðinni sem notuð er til að reikna út þóruhluta bergs er lýst í skýrslu um holu NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983) og kennd við nifteindadreifingu. Nifteindamælingin er notuð til að reikna út vatnsinnihald bergsins og er því nauðsynlegt að taka tillit til holuvíddar þegar það er reiknað út. Við útreikninga á vatnsinnihaldi ber að hafa í huga að hann er byggður á kvörðunum sem unnar hafa verið fyrir holuvíddir minni en 9" (229 mm). Kvarðanir fyrir víðari holur eru síðan byggðar á þessum kvörðunum (með framreikningi) og eru frekar óvissar. Þóruhluti er notaður í þessari skýrslu sem vatnsinnihald en þar sem nifteindamælingin gerir ekki greinarmun á hvort vatnið er bundið í ummyndun, í þorum í berginu eða í holunni sjálfri kann hann að virðast nokkuð hár. Á mynd 4 er útreiknaður þóruhluti sýndur ásamt öðrum mælingum. Á myndinni sést að þóruhluti mælist á bilinu 0-40%. Ef lítið er nánar á dreifingu þóruhluta kemur í ljós að hann er að meðaltali 19,4 +/- 8,0% fyrir alla holuna (mynd 6a), en í basalti er meðaltalið 18,6 +/- 7,1% (mynd 6b), í súru bergi er það 19,8 +/- 6,2% (mynd 6c), en hæst í móbergi 25,1 +/- 8,2% (mynd 6d). Ef NG-10 er borin saman við NG-7, sem næst henni stendur af þeim holum sem í hefur verið mældur þóruhluti, kemur í ljós að mæld gildi liggja um 1-3,5% hærra í NG-10 (tafla 2), en innbyrðis hlutfall er nokkuð jafnt nema í basalti.

TAFLA 2. Samanburður poruhluta NG-7 og NG-10

	Basalt	Móberg	Ísúrt - súrt berg	Öll holan
NG-10	18,6	25,1	19,8	19,4
NG-7	15,2	22,6	18,7	17,7

Ef litið er á poruhluta í neðri hluta holunnar (mynd 7 a,b og c) sést að hann er um 18,8% fyrir dýptarbilið 500-1250 m en 18,3% á bilinu 1250-1777 m. Í efsta hlutanum eru aftur á móti tveir toppar í poruhlutadreifingunni, við 13% (basalt) og 27% (móberg). Skýringin á því hvað þetta er ólíkt meðaltalsgildum fyrir holuna er líklega vegna þess, að basaltið er lítið ummyndað í efsta hlutanum en í móberginu eru litlar sem engar holufyllingar og poruhluti því hár. Hafa skal í huga, að mælingin sem notuð er við að finna poruhluta gefur til kynna vatnsmagn í berginu.

3.4 Viðnám

Viðnámsmælingar eru til af dýptarbilinu 70-1760 m og eru þær sýndar á mynd 4. Viðnámsmælingarnar sýna mjög lágt viðnám á dýptarbilinu 500-1250 m en fyrir ofan og neðan þetta dýptarbil er viðnámið mun hærra. Þessu svipar mjög til viðnámsdreifingarinnar í NG-7 en þar var mjög lágt viðnám á dýptarbilinu 450-900 m. 64" viðnámið mælist 1,2-2 sinnum hærra í allri holunni heldur en 16" viðnámið en þar er um að ræða áhrif holunnar, en einnig eru þessar mælingar óleiðréttar fyrir viðnámi borholuvökvans. Þessar leiðréttingar eru í vinnslu. Ef litið er á dreifingu viðnáms á bergtegundir kemur eftirfarandi í ljós

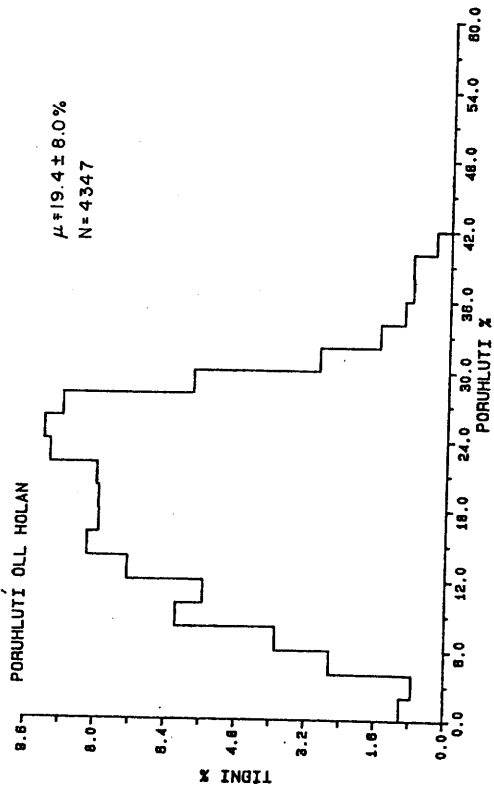
TAFLA 3. Meðaltalsviðnám í bergtegundum (ohmm)

	Basalt	Móberg	Ísúrt - súrt berg	Öll holan
16"	24,5	52,5	65,8	38,4
64"	45,5	108,3	108,4	71,1

JHD-BM-8715 HS
86.02.0130 T

Mynd 6o

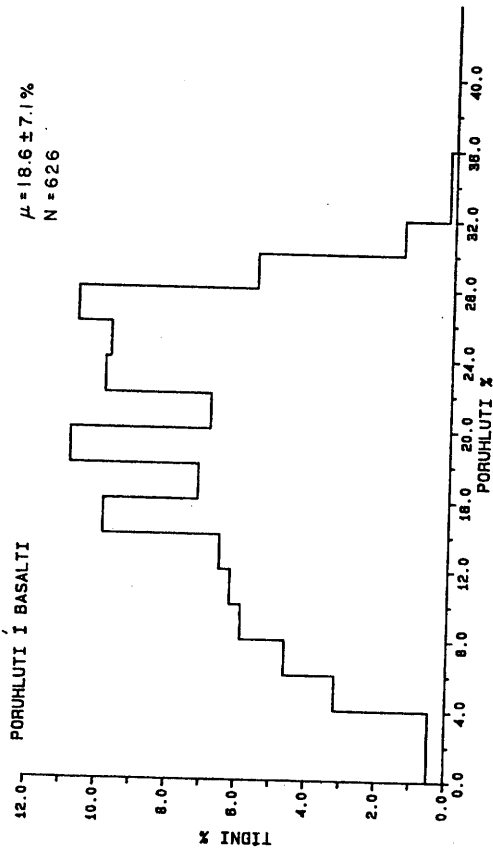
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BM-8715 HS
86.02.0130 T

Mynd 6b

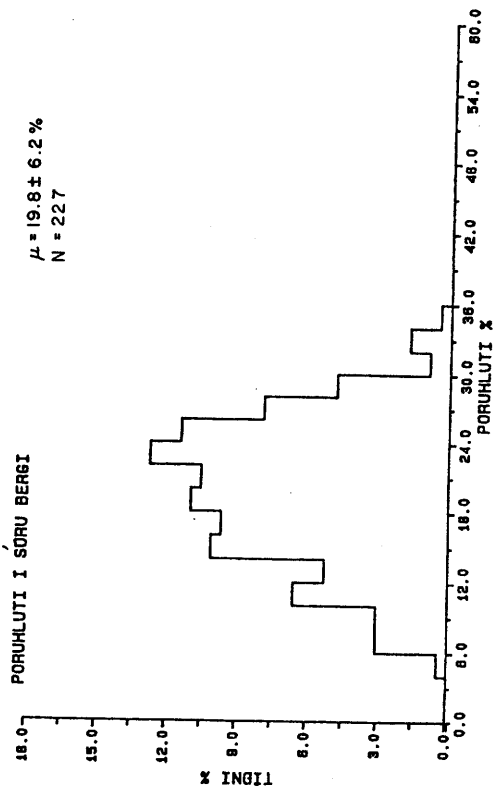
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BM-8715 HS
86.02.0130 T

Mynd 6c

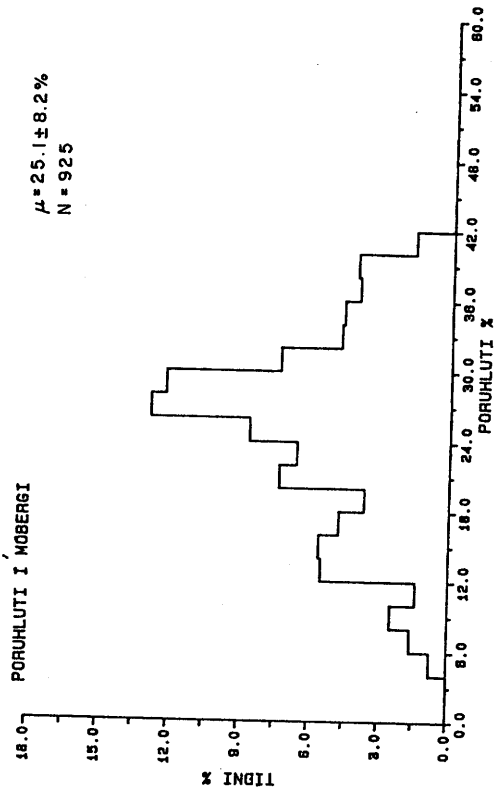
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BM-8715 HS
86.02.0130 T

Mynd 6d

NESJAVELLIR NG-10

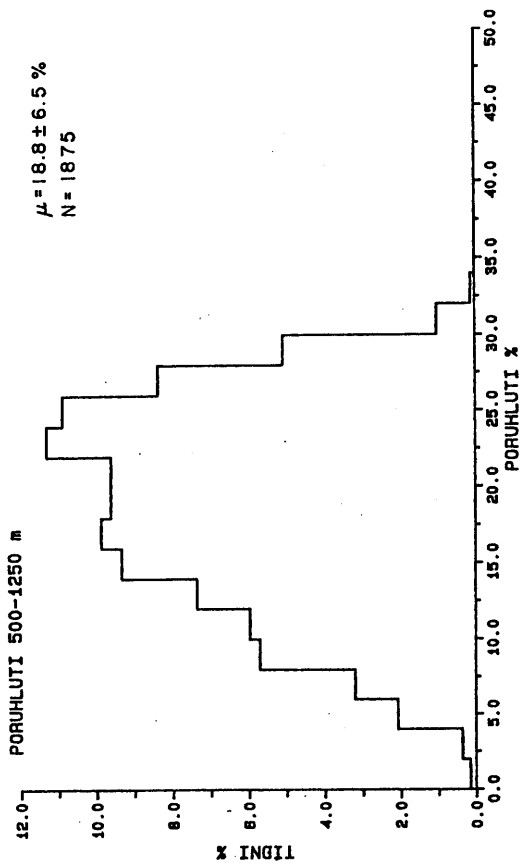


Mynd 6 Dreifing poruhluta í bergtegundum

JHD-BM-8715 HS
86.02.0131 T

Mynd 7a

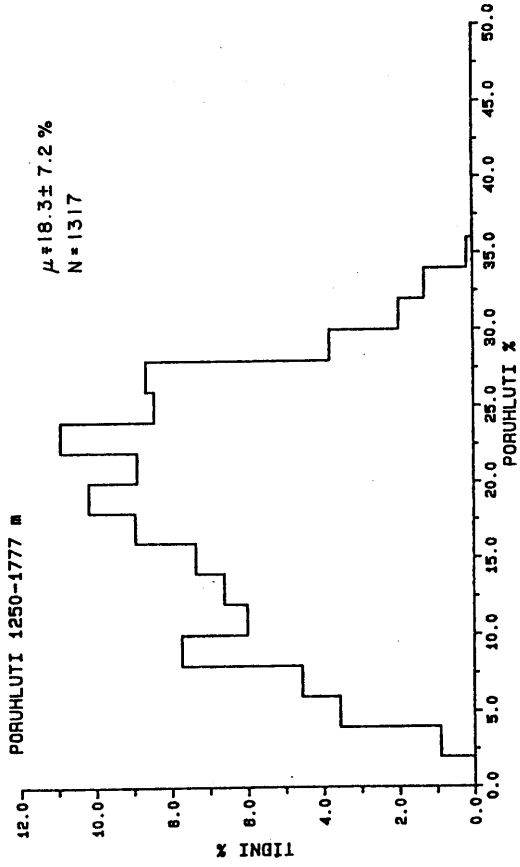
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BM-8715 HS
86.02.0131 T

Mynd 7b

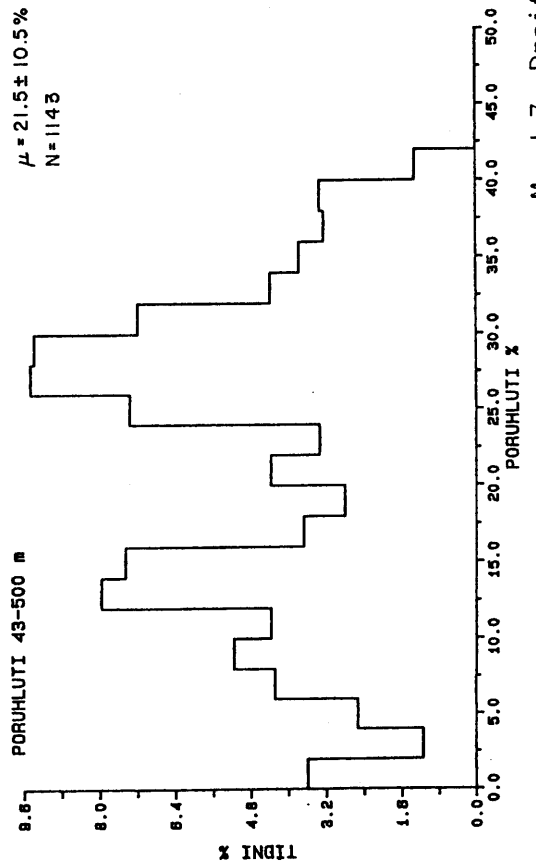
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BM-8715 HS
86.02.0131 T

Mynd 7c

NESJAVELLIR NG-10



Mynd 7 Dreifing poruhluta eftir dýpi

Súra bergið hefur að jafnaði hæsta viðnámið enda er þar nær undan-
tekningalaust um innskot að ræða. Eins og áður sagði er mjög lágt
viðnám á dýptarbilinu 500-1250 m. Ástæðan fyrir þessu lága viðnámi er
ummyndunin en hún byrjar í ca 500 m en fyrir ofan 500 m er hún engin
og engin jarðhitamerki að sjá. Fyrir neðan 1250 m hækkar viðnám aftur
en á þessu dýpi hækkar tíðni innskota verulega. Mynd 8 a,b og c sýnir
dreifingu 16" viðnáms niður holuna og mynd 9 a,b og c dreifingu 64"
viðnáms.

Móbergið sýnir óvenjuhátt meðaltalsviðnám og ræður þar mestu lítil sem
engin ummyndun í efstu 400-500 m.

3.5 Samanburður á jarðlagasniði og jarðlagamælingum

Á mynd 10 eru dregnar saman helstu upplýsingar um jarðlög þau sem hola
NG-10 sker. Þar er teiknað upp einfaldað jarðlaga- og ummyndunarsnið
samhliða 50 m meðaltalsgildum þeirra jarðlagamælinga sem gerðar voru.
Einstökum mæliferlum og jarðlagasniði hefur verið lýst hér á undan að
víddar- og gammamælingum (SiO₂) undanskildum.

Víddarmælingin sýnir lítið útvaskaða holu sem stendur að mestu krónu-
mál.

Gammamælingin er nokkuð sveiflukennd. Ekki er hægt að nota hana beint
til ákvörðunar á kísilsýruinnihaldi bergsins, þar sem greinilegt er að
hún sýnir að jafnaði of há gildi. Hún sýnir aftur á móti vel afstæðar
breytingar. Rétt er að benda á áður en lengra er haldið, að mat á
kísilsýruinnihaldi skv. gammamælingu er eingöngu bundið við kristallað
berg. Í efri hluta holunnar, frá u.þ.b. 350-600 m dýpi, sýnir mæli-
ferillinn nokkuð áberandi útslag, þ.e. í neðri hluta móbergsmýndunar-
innar. Ekki liggur önnur tiltæk skýring þar á, en að meiri útskolun
hafi átt sér stað í berginu á þessum kafla en fyrir ofan. Einnig er
rétt að benda á, að á 400-500 m dýpi verður fyrst vart við ummyndunar-
steindir svo heitið getur eins og fram kemur í 4. kafla. Frá 800 í
900 m dýpi er vægt útslag á gammaferlinum, en á því dýptarbili fjölgar
innskotum verulega (mynd 5) og líklega tengt útskolun í berginu af
þeirra völdum. Í neðri hluta holunnar eru öll útslög gammaferilsins á
móts við ísúr innskot.

Póruhluti og viðnám eru nokkuð há í efstu 400 metrunum. Að jafnaði er
hár póruhluti vísbending um lágt viðnám á jarðhitasvæðum, en hér
háttar þessu á annan veg. Eins og kemur fram á jarðlagasniði er
móberg ráðandi berggerð á þessu dýptarbili og ummyndun er þar lítil.
Þessi litla ummyndun er líkast til skýringin á háum gildum viðnáms og
póruhluta. Viðnám er síðan undir 20 ohmm niður í 1150 m en þar neðan

við fer það hægt stígandi. Frá 1500 og niður á rúmlega 1600 m dýpi er viðnámslægð og getur það verið vísbending um móbergsmyndun, en túff og breksiúlög eru nokkuð tíð á þessum slóðum.

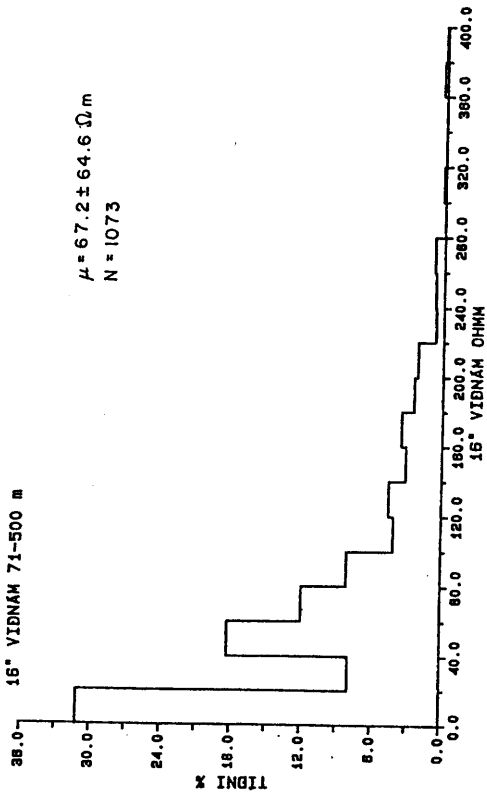
3.6 Tenging jarðlaga

Erfitt er að tengja jarðlög milli hola vegna breytilegrar ummyndunar frá einni holu til annarar. Líkastar hvað ummyndun snertir eru NG-7 og NG-10, en þrátt fyrir það er nokkur munur á jarðlögum ef tekin eru fyrir mjög afmörkuð dýptarbil og borin saman. Móbergsmyndun 4 sem lýst er í skýrslu um NG-7 (Hjalti Franzson og Hilmar Sigvaldason 1985) er mjög plagíóklasdílótt og er hún á tæplega 250-290 m dýpi. Sama myndun sést líklega á 250-275 m dýpi í NG-10. Í grófum dráttum er móberg einkennandi fyrir báðar holurnar niður á liðlega 550 m dýpi. Frá um 830-940 m er móberg og þá aðallega móbergsset í holu NG-7, sem ekki sést í holu NG-10. Túff sést í báðum holunum á um 1150 til 1230 m dýpi og sést það um 30 m neðar í holu NG-7. Ísúr til súr innskot sjást annað veifið í báðum holunum frá u.þ.b. 1300 m dýpi og niður. Meðal annars er ein sterkasta æðin í báðum holunum tengd ísúru innskoti á um 1510 m dýpi.

JHD-BH-8715 HS
88.02.0132 T

Mynd 8a

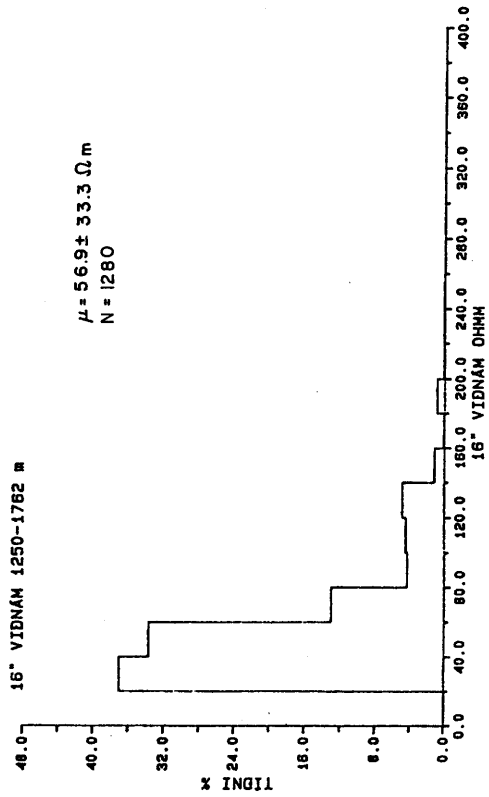
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BH-8715 HS
88.02.0132 T

Mynd 8c

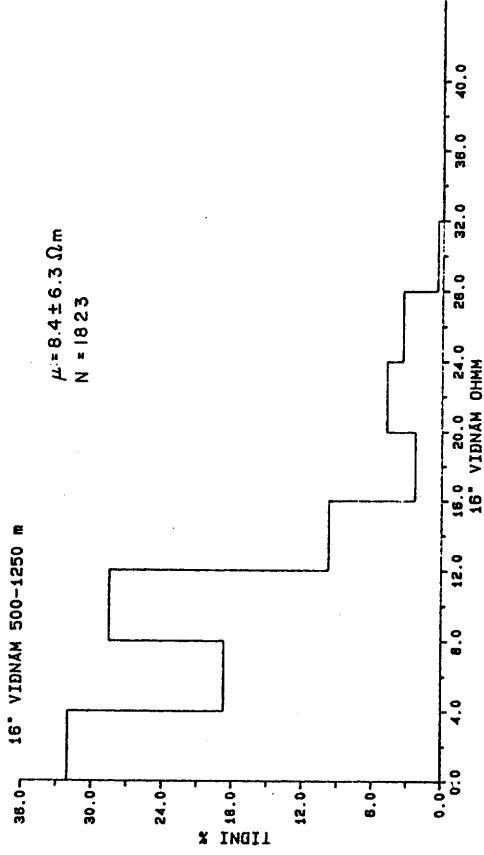
NESJAVELLIR NG-10



JHD-BH-8715 HS
88.02.0132 T

Mynd 8b

NESJAVELLIR NG-10



Mynd 8 Dreifing 16" viðnáms

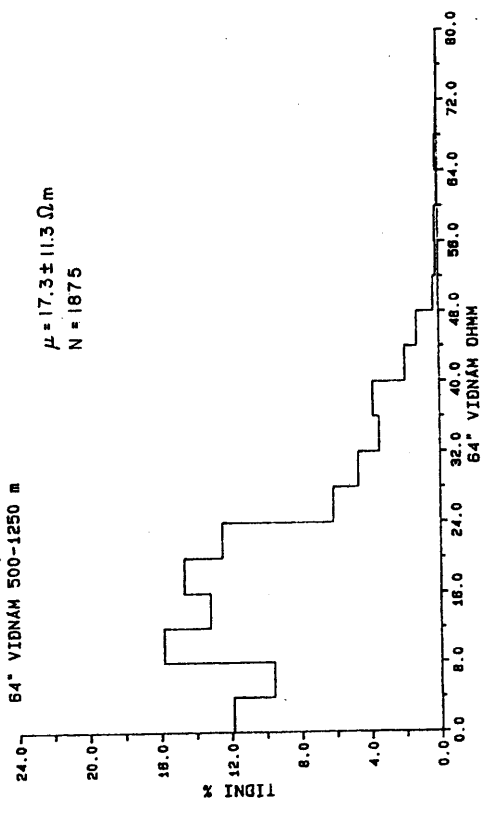
Mynd 9b

JHD-BK-8715 HS
86.02.0133 T

NESJAVELLIR NG-10

64" VIDNAM 500-1250 m

$\mu = 17.3 \pm 11.3 \Omega m$
N = 1875



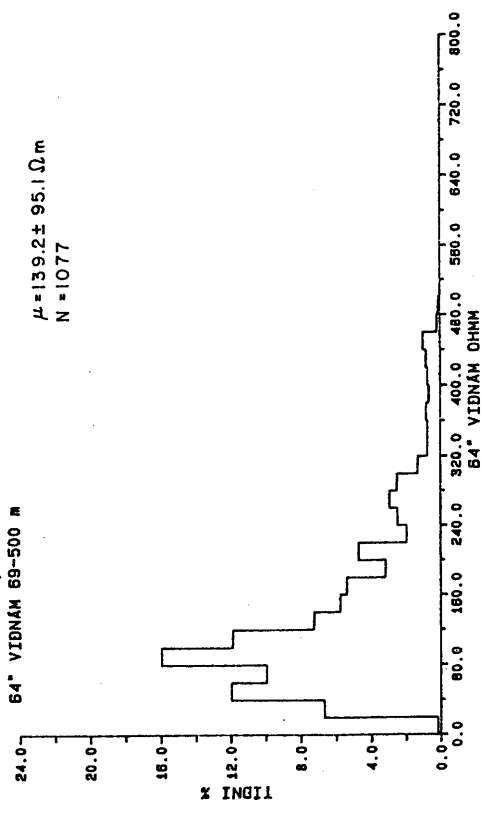
Mynd 9a

JHD-BK-8715 HS
86.02.0133 T

NESJAVELLIR NG-10

64" VIDNAM 69-500 m

$\mu = 139.2 \pm 95.1 \Omega m$
N = 1077



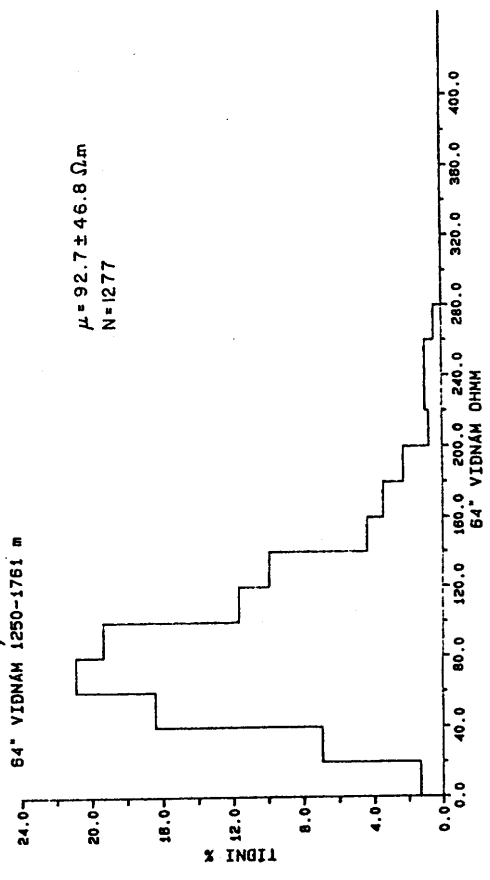
Mynd 9c

JHD-BK-8715 HS
86.02.0133 T

NESJAVELLIR NG-10

64" VIDNAM 1250-1761 m

$\mu = 92.7 \pm 46.8 \Omega m$
N = 1277

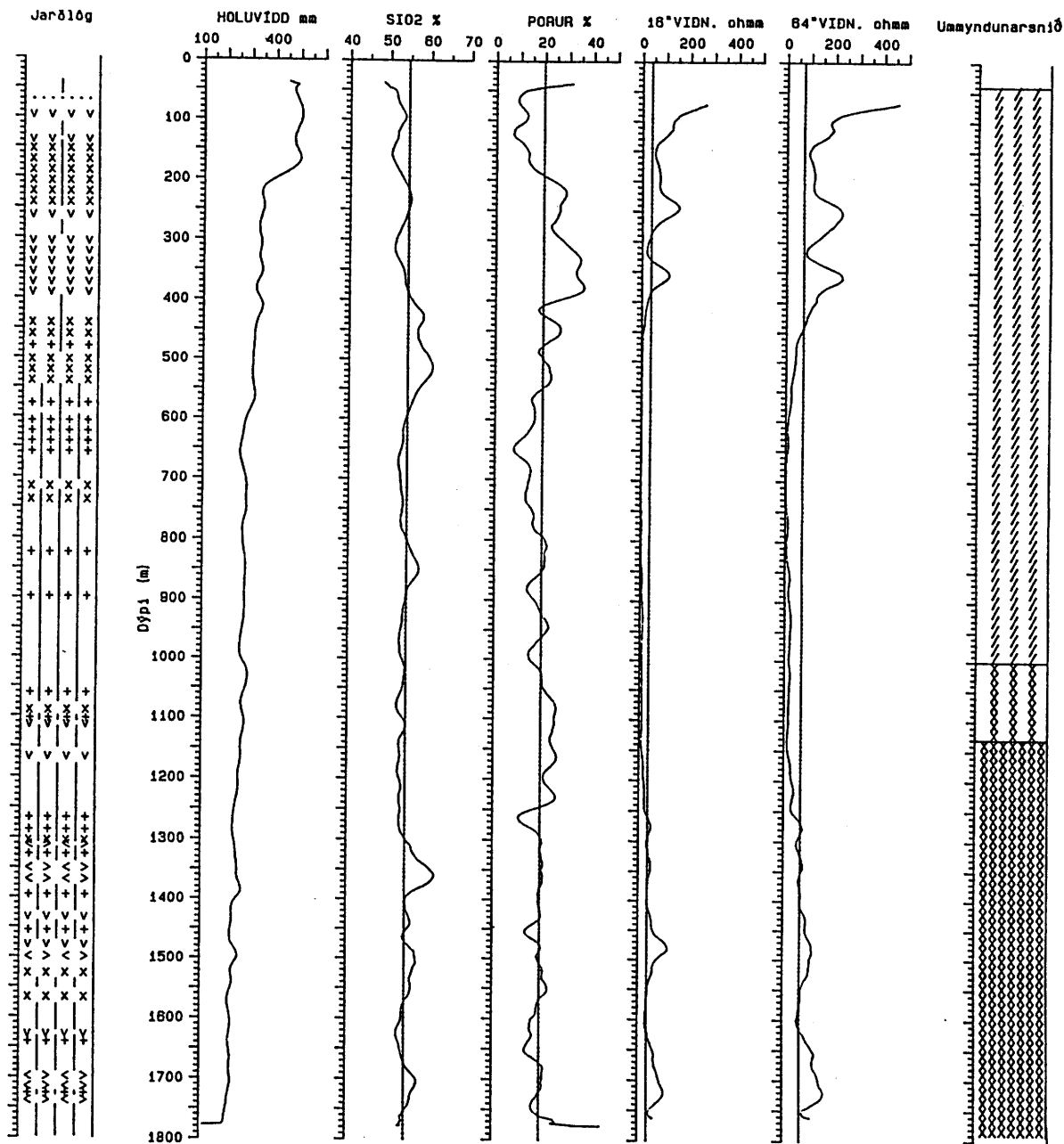


Mynd 9 Dreifing 64" viðnáms

JHD-BJF-8715 Ásg
86.02.0123 T

NESJAVELLIR HOLA NG-10

Jarðlagasnið, borholumælingar og ummyndunarsnið



Sjá skýringar á mynd II

Mynd 10 Einfaldað jarðlagasnið, ummyndunarsnið og jarðlagamælingar

4 UMMYNDUN

4.1 Greiningaraðferðir

Ummyndunarsteindir eru greindar á þrjá mismunandi vegu eins og tíðkast hefur undanfarin ár við rannsóknir á háhitasvæðum:

1. Ummyndunarsteindir voru greindar í svarfi með svarfsmásjá samhliða borun. Það gefur að jafnaði nokkuð góða yfirsýn yfir ummyndunarmunstur svæðisins sem borhola sker.
2. Ummyndunarsteindir voru greindar í þunnsneiðum með bergfræðismásjá. Á þann hátt fást áreiðanlegar greiningar á öllum steindum nema leirsteindum. Auk þess eru þunnsneiðar notaðar til að meta ummyndunarstig frumsteinda bergsins.
3. Ummyndunarsteindir voru greindar í XRD-tæki. Með þeirri aðferð fást áreiðanlegar upplýsingar um gerð leirsteinda auk þess sem aðferðin er almennt örugg við steindagreiningu.

Ofangreindar aðferðir hafa verið notaðar undanfarin ár á Nesjavöllum og gefist vel. Steindir voru flokkaðar með tilliti til myndunarhitastigs og á þann hátt metinn hitinn í jarðhitageyminum. Einnig var reynt að meta innbyrðisafstöðu steinda innan steindasamfélaga og fá þannig út hvaða steindir eru líklegastar til að vera í jafnvægi við ríkjandi ástand. Í jarðlögum í næsta nágrenni holu NG-10 virðast steindasamfélög ummyndunar vera tiltölulega einföld og í megindráttum sýna þau stighækkandi hita niður holuna.

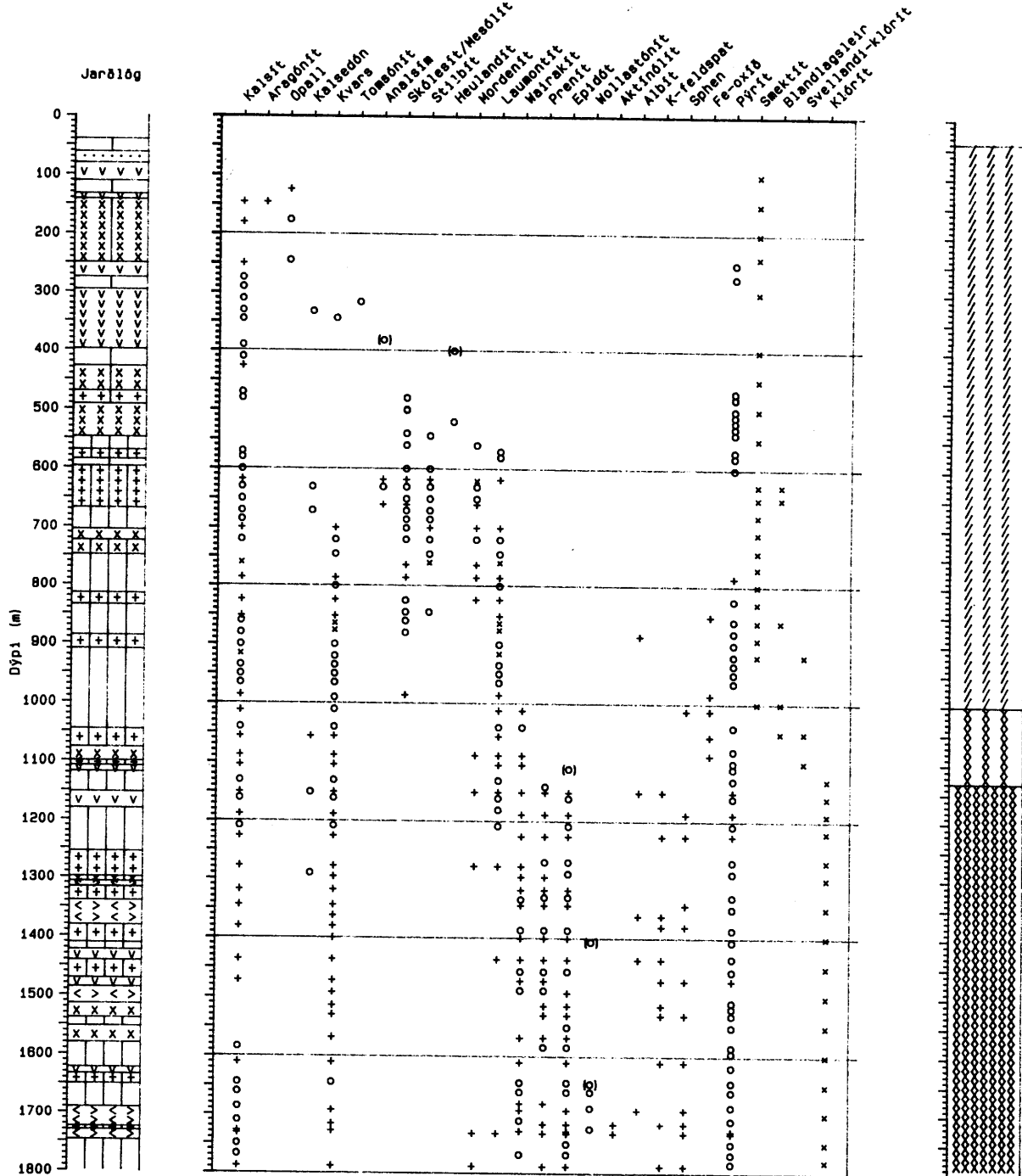
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda

Á mynd 11 er sýnd dreifing ummyndunarsteinda og á hvern hátt þær voru greindar. Samhliða því er sýnt einfaldað jarðlagasnið og skipting niður í ummyndunarbelti. Ekki er tilgreint hvort steindir sáust sem sprungufyllingar, blöðrufyllingar eða hvort þær höfðu yfirtekið ákveðnar frumsteindir. Erfitt er að skera úr um tvö fyrrgreindu atriðin vegna smæðar svarfsins, en yfirtaka ummyndunarsteinda á kostnað frumsteinda sést að jafnaði vel í þunnsneiðum.

Dreifing ummyndunarsteinda í jarðlagastaflanum, sem holað er, gefur nokkuð góða mynd af jarðhitakerfinu á þessum stað óháð myndunar- aðstæðum steindanna. Lítið er um ummyndunarsteindir í efstu 400-500 metrunum. Vottur er af kalsíti, aragóníti, ópál og kalsedon.

JHD-BJ-8715 ÁsG
85.04.0509 T

NESJAVELLIR HOLA NG-10 DREIFING UMMYNDUNARSTEINDA



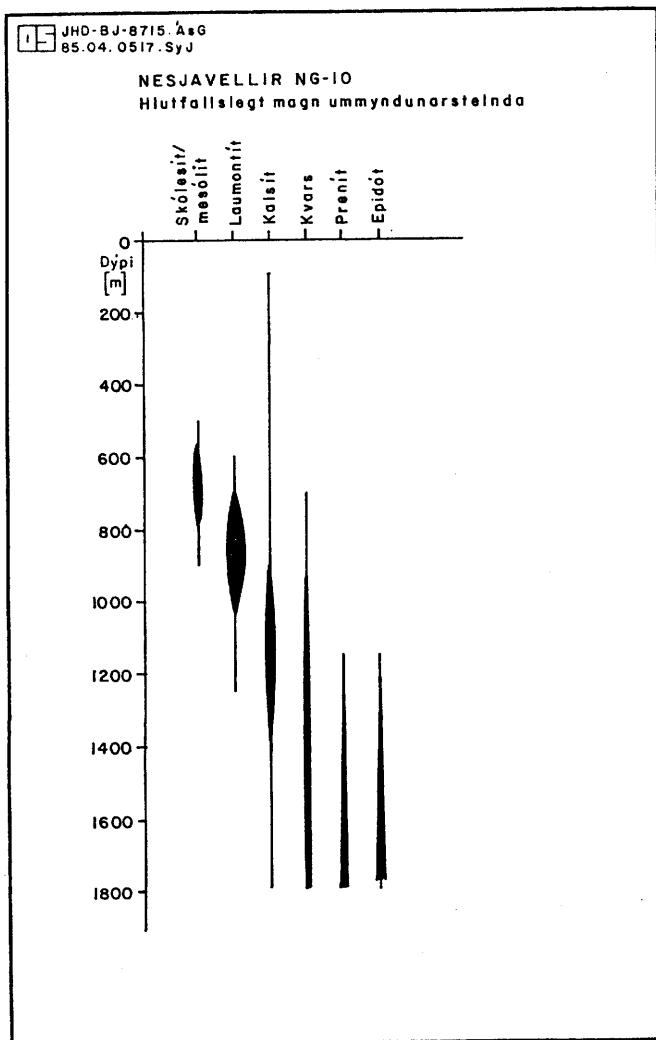
Skýringar:

- | | | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Fersklegt fin-meðalkorna basalt | Umyndað glerjað basalt | Blandlagsleirsteindabelti |
| Umyndað fin-meðalkorna basalt | Basaltrik breksía | Ísart grófkornótt berg |
| Fersklegt meðal-grófkorna basalt | Töff | Finkornótt set |
| Umyndað meðal-grófkorna basalt | Smektit/zedlítabelti | Klórlít/epidótbelti |
| Fersklegt glerjað basalt | | |
- x : Greint með XRD + : Greint í þunnslát o : Greint í stórum smáslát

Mynd 11 Dreifing ummyndunarsteinda

Pýrít sést fyrst í tengslum við vatnsæð á 250 m dýpi og smá dreif af því þar næst fyrir neðan. Á u.þ.b. 350 m dýpi er vísbending um zeólítana analsím og tomsonít. Leirskán sést víða í blöðrum í annars fersku glerríku berginu og var greind sem smektít. Á 250 m dýpi sést í þunn sneið að leirmyndun er greinilega hafin og víða er glerið tví-brjótandi. Ennfremur sést kalsít myndast á kostnað glersins.

Á tæpum 500 m eru ummyndunarsteindir farnar að sjást í ríkari mæli og þá fyrst og fremst zeólítar. Þeir eru einkennandi niður á 900-1000 m dýpi. Í grófum dráttum er stöðugleikamunstur zeólítanna á þann veg að vatnsinnihald þeirra minnkar með hækkandi hita. Á mynd 12 er reynt að meta magn dreifingu þeirra steinda, sem mest kveður að. Þar sést m.a. að skólesít/mesólít er ríkjandi steind frá 600-750 m, en þar tekur laumontít við og ræður ríkjum niður í tæplega 1000 m dýpi. Vísbending um hækkandi hitastig er á 700 m dýpi með tilkomu kvars, sem verður ráðandi á u.þ.b. 900 m dýpi. Aðrar steindir á ofangreindu dýptarbili



Mynd 12 Hlutfallslegt magn ummyndunarsteinda

falla vel að þessu mynstri. Þó koma fram undantekningar í leir-steindum á 620-650 m, 860 m og 920 m dýpi, en nánar verður vikið að því hér á eftir.

Á um 1000 m dýpi koma fyrstu svonefndu háhita-steindir í ljós að kvarsí undanskildu þ.e. wairakít, blandlagaleir og svellandi klórít. Auk þess verða þær breytingar, að kvars og kalsít verða að magni til ráðandi steindir frá u.þ.b. 950 m dýpi. Umfang kalsíts minnkar verulega neðan 1400 m dýpis, en breytist lítið niður á 1800 m dýpi.

Næstu eftirtektarverðu breytingar eru á um 1100 m dýpi. Þar sést klórít í fyrsta skipti og síðan samfellt niður.

Á svipuðum slóðum var talið að epidót sæst í fyrsta skipti, en það sést með vissu á um 1150 m dýpi ásamt preníti. Á mynd 11 sést að epidót, prenít og kvars eru ráðandi steindir frá 1200 m og niður holuna. Wollastónít var talið sjást á 1400 m dýpi og næst á 1650 m og síðan öðru hvoru niður úr. Það sást ekki í þunnsneiðagreiningum. Aktínólít sást á liðlega 1700 m dýpi í díórítinnskotum.

Ummyndun frumsteinda gaf samskonar mynd og sprungu- og blöðrufyllingar höfðu gert. Ummyndun plagióklasdíla fylgir nokkuð vaxandi hita með dýpi. Á um 800 m dýpi sást smektít myndast á þeirra kostnað. Á um 900 m dýpi voru það laumontít og albít ásamt smektíti. Á liðlega 1000 m bættust kalsít og blandlagaleir í hóp þeirra steinda, er ryðja plagióklasdílum úr vegi. Síðan sást frá 1200-1400 m dýpi hvernig epidót, prenít, kvars og kalsít mynduðust á kostnað plagióklasdíla. Pýroxendílar ummynduðust að jafnaði yfir í leir nema ef vera skyldi í díórítinu á 1700 m og þar fyrir neðan, en þar virtist aktínólít myndast á þeirra kostnað. Ólivín var að mestu horfið neðan við 500 m dýpi.

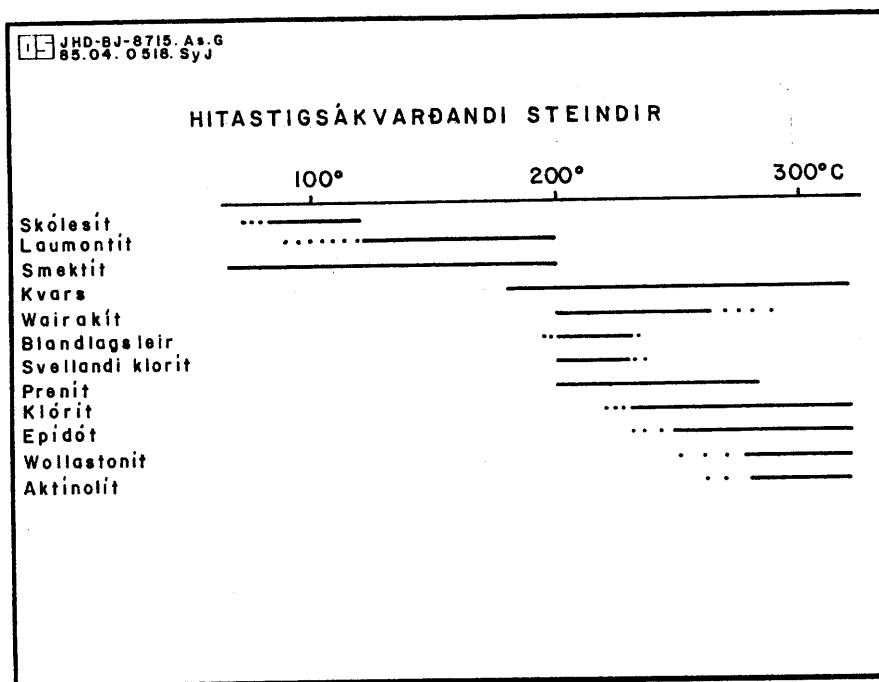
4.3 Magn ummyndunarsteinda

Magn ummyndunarsteinda er fyrst og fremst háð hitastigi, vatnsleiðni og berggerð. Glerjað berg ummyndast ávallt fyrst og geta því móbergs-lög sum hver náð að ummyndast algjörlega og er það háð hitastigi hvort og hvaða steindir myndast hverju sinni. Glerjuð, blöðrótt basaltlög og kargalög eru, þar sem hiti er fyrir hendi, mjög rík af ummyndunarsteindum. Einnig geta ummyndun og útfellingar verið tengdar sprungum og þá kallaðar sprungufyllingar. Sprungur eru mjög tíðar í íslensku bergi. Það má skipta þeim í tektónískar sprungur og kælispungur. Þær fyrrnefndu eru tengdar innskotum og brotahreyfingum, en þær síðar-nefndu kólnun bergs, svo sem stuðlun hraunlaga og innskota, eða samdrætti sprungna meðfram innskotum. Algengast er að vatnsæðar tengist einhverskonar sprunguvirkni. Útfrá ofangreindri lýsingu má skýra á nokkuð einfaldan hátt magn og gerð útfellinga í næsta nágrenni holunnar.

Efstu 400-500 metrarnir eru tiltölulega lítið ummyndaðir þrátt fyrir mikið magn glers á þessu dýptarbili. Hiti er einfaldlega ekki nægilega hár til þess að ummynda bergið frekar eða auka magn holufyllinga. Neðan við 500 m fer ummyndun hægt vaxandi, nokkurn veginn í beinu sambandi við hækkandi hita (mynd 14). Neðan við 1000 m dýpi er hiti kominn yfir 200°C og allt gler þar fyrir neðan ummyndað. Auk þess fer magn sprungufyllinga vaxandi með aukinni tíðni innskota.

4.4 Ummyndunarhiti

Hér á undan hefur verið rakið hvernig dreifingu ummyndunarsteinda er háttað í næsta nágrenni holunnar, en hér á eftir verður nánar tekið fyrir upplýsingagildið sem tilvist ákveðinna ummyndunarsteinda geymir. Stöðugleiki ummyndunarsteinda er fyrst og fremst háður hitastigi. Flestar upplýsingar, sem liggja fyrir um ummyndunarhita, eru fengnar með samanburði ummyndunarsteinda og hitastigs frá allmörgum jarðhitasvæðum. Á mynd 13 eru sýndar þær steindir, sem mest er vitað um á líðandi stundu, og sýnt á hvaða hitabili þær eru stöðugar. Ennfremur sést hvaða steindir eru stöðugar saman og geta myndað steindasamfélög. Steindasamfélög hafa verið notuð til að skipta jarðhitasvæðum niður í belti með tilliti til hita og dýpis. Slík beltaskipting er sýnd hægra megin við dreifingu ummyndunarsteinda á mynd 11 fyrir holu NG-10. Beltin bera nöfn þeirra steinda, sem eru nokkurs konar einkennissteindir fyrir ákveðin hitabil.

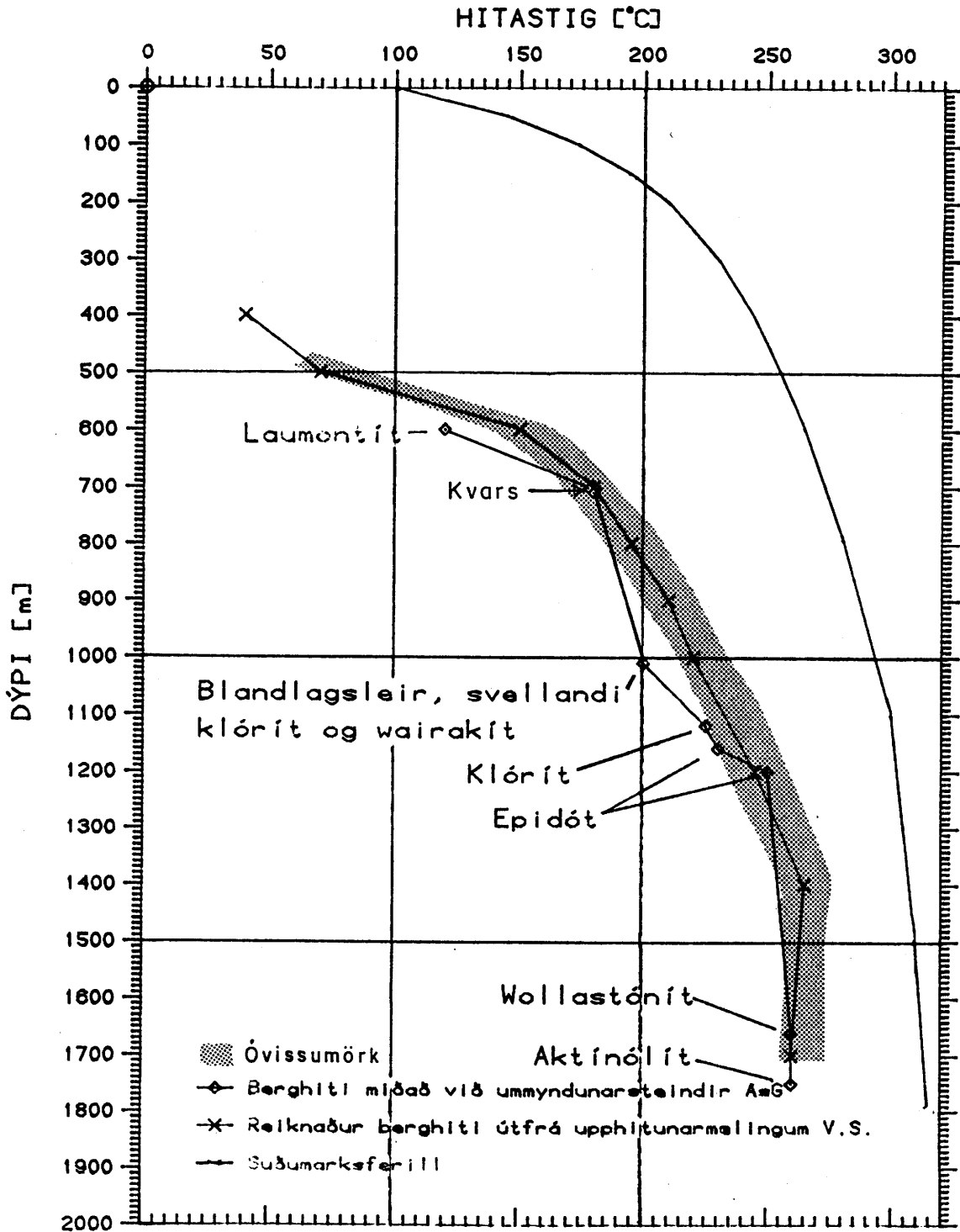


Mynd 13 Hitastigsákvarðandi steindir

Smektít/zeólíta-beltið nær niður á 1000 m dýpi. Leirsteindin smektít og zeólítar eru einkennandi fyrir það og eru þessar steindir stöðugar upp í allt að 200°C hita. Laumontít er hitapolnast allra zeólítanna að wairakít undanskildu og er stöðugt upp að 200°C. Á þremur stöðum innan smektít/zeólíta-beltisins sáust leirsteindir, sem gefa til kynna hærri hita en þarna er samkvæmt beltaskiptingunni, þ.e. á 620-650 m, 860 m og 920 m dýpi. Í öllum tilfellum voru steindirnar við innskot og má hugsanlega skýra þessi frávik á þann hátt, að svæðið fari hitnandi. Slík hitnun hefst líklega í tengslum við innskot eða sprungur, sem ná niður í jarhitageyminn og veita upp heitum straumum í átt til yfirborðs.

15 JHD-BJ-8715 AsG
85.04.0510 T

NESJAVELLIR HOLA NG-10 BERGHITI



Mynd 14 Berghiti

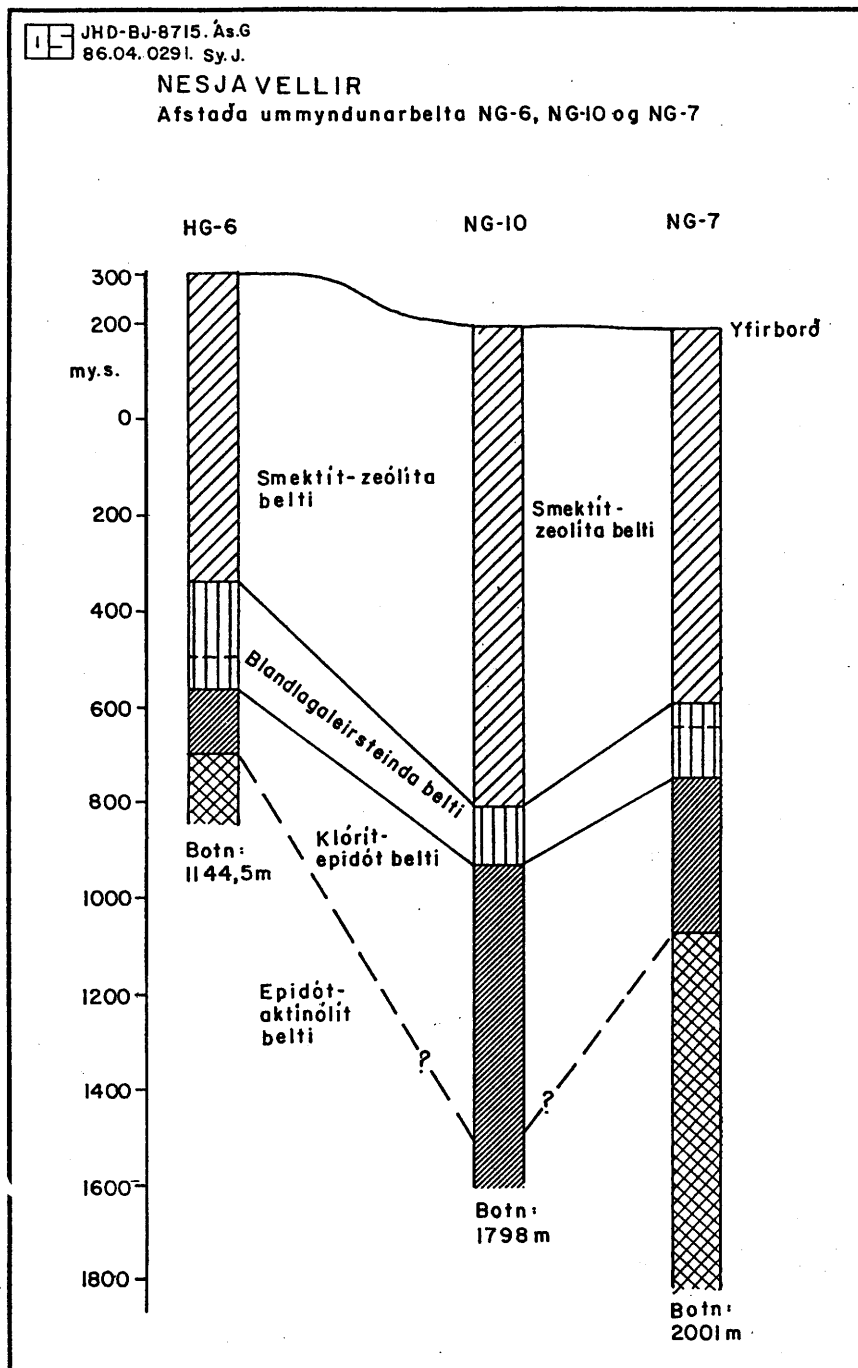
Frá 1000 m niður á 1130 m dýpi er blandlagaleirsteindabeltið afmarkað. Einkennissteind er blandlagaleir eins og nafnið gefur til kynna. Hún er stöðug á hitabilinu u.þ.b. 200-230°C. Svipað er að segja um svellandi klórít, en stöðugleikasvið þess er ívið hærra, þar sem það sést iðulega á eftir blandlagaleir. Wairakít er talið myndast við eða yfir 200°C og því notadrjúgt við ákvörðun á efri mörkum umrædds beltis. Prenít sést oftast fyrst innan blandlagaleirsteindabeltisins.

Frá 1130 m niður á botn holunnar í 1798 m dýpi er klórít/epidótbeltið. Klórít og epidót eru einkennissteindir þess. Klórít myndast við 220-230°C og er stöðugt upp fyrir 300°C. Epidót myndast við 230°C, en verður ekki afgerandi steind fyrr en við 250°C og er stöðugt upp fyrir 300°C. Mörkin milli klórít/epidótbeltisins og blandlagaleirsteindabeltisins eru dregin þar sem epidót og klórít sjást fyrst saman.

Á mynd 14 er teiknaður líklegur berghitaferill út frá þeim upplýsingum, sem ummyndunarsteindir gefa. Þar eru tilgreindar nokkrar steindir, sem gefa nokkuð ákveðna vísbendingu um hitastig. Einnig er sýndur reiknaður berghitaferill útfrá upphitunarmælingum úr holunni. Nokkur munur er á ferlunum frá 700 niður í 1100 m dýpi, en það má skýra að einhverju leyti með því, að myndunarhitastig steindanna sýnir að jafnaði lágmarksgildi. Einnig má geta þess að kvars sést myndast á kostnað laumontíts á tæplega 900 m dýpi. Það gefur til kynna, að hitastigið gæti legið nær 200°C en sýnt er á mynd 14. Ennfremur gefur tilvist blandlagaleirs ofan við 1000 m dýpi vísbendingu um hærri hita á þeim kafla eða bendir til hitapúlsa í tengslum við nærliggjandi innskot.

4.5 Samanburður við næstu holur

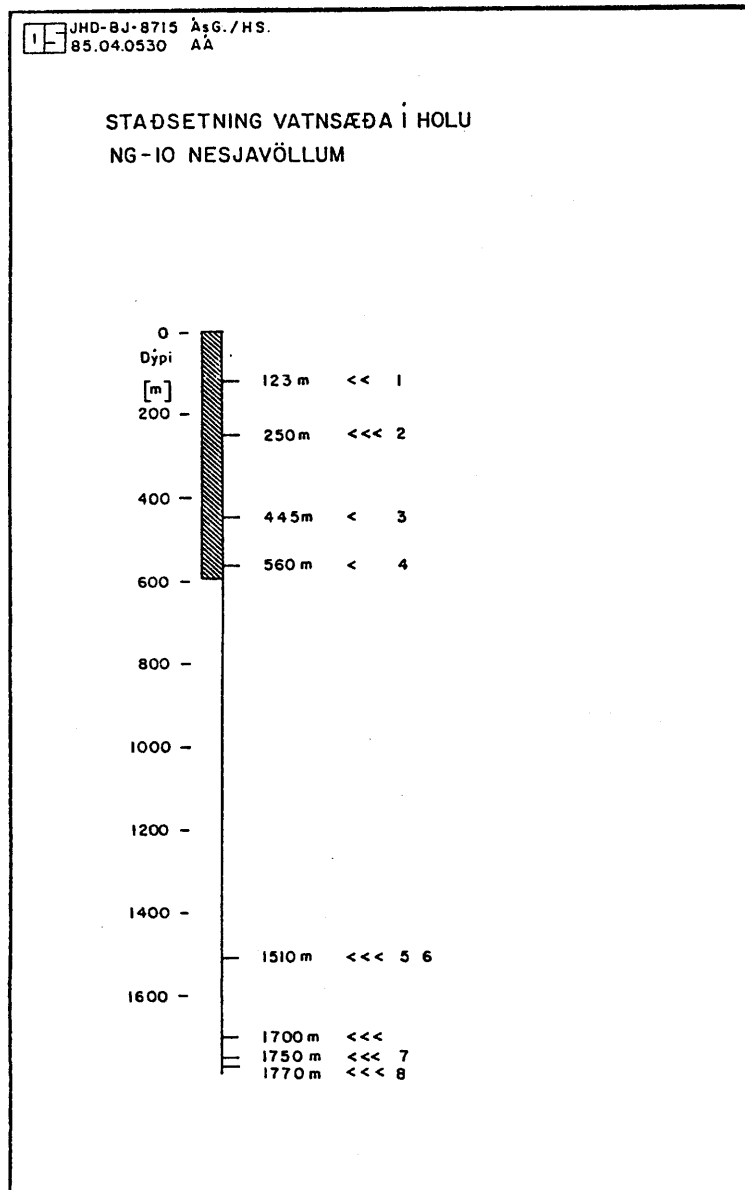
Ef ummyndnarbelti hola NG-7 og NG-6 eru borin saman við holu NG-10 þá kemur fram nokkuð bratt fall til norðausturs í ummyndun og er það sýnt á mynd 15. Fallið er mjög bratt frá holu NG-6. Þar eru efri mörk blandlagaleirsteindabeltisins 400 m ofar en í NG-10, þegar tillit hefur verið tekið til hæðar yfir sjó. Í NG-7 er ofangreint ummyndunarbelti 200 m hærra en í NG-10. Ekki er munurinn á klórít/epidótbeltinu milli hola eins mikill. Í holu NG-6 er það um 300 m ofar og í NG-7 um 200 m ofar en í NG-10. Klórít/aktínólít-belti var ekki greint í NG-10, en í NG-7 nær það frá 1260 m niður í 2000 m dýpi.



Mynd 15 Samanburður á ummyndun í NG-10, NG-6 og NG-7

5 VATNSÆÐAR

Vatnsæðar í holu NG-10 eru merktar inn á myndir 3, 4 og 16. Í holunni sáust 8 æðar og eru fjórar þeirra ofan við neðri enda vinnslu-fóðringar, sem er á tæplega 600 m dýpi. Hér á eftir verður gerð grein fyrir hvar, hvernig og við hvaða aðstæður æðarnar sáust.



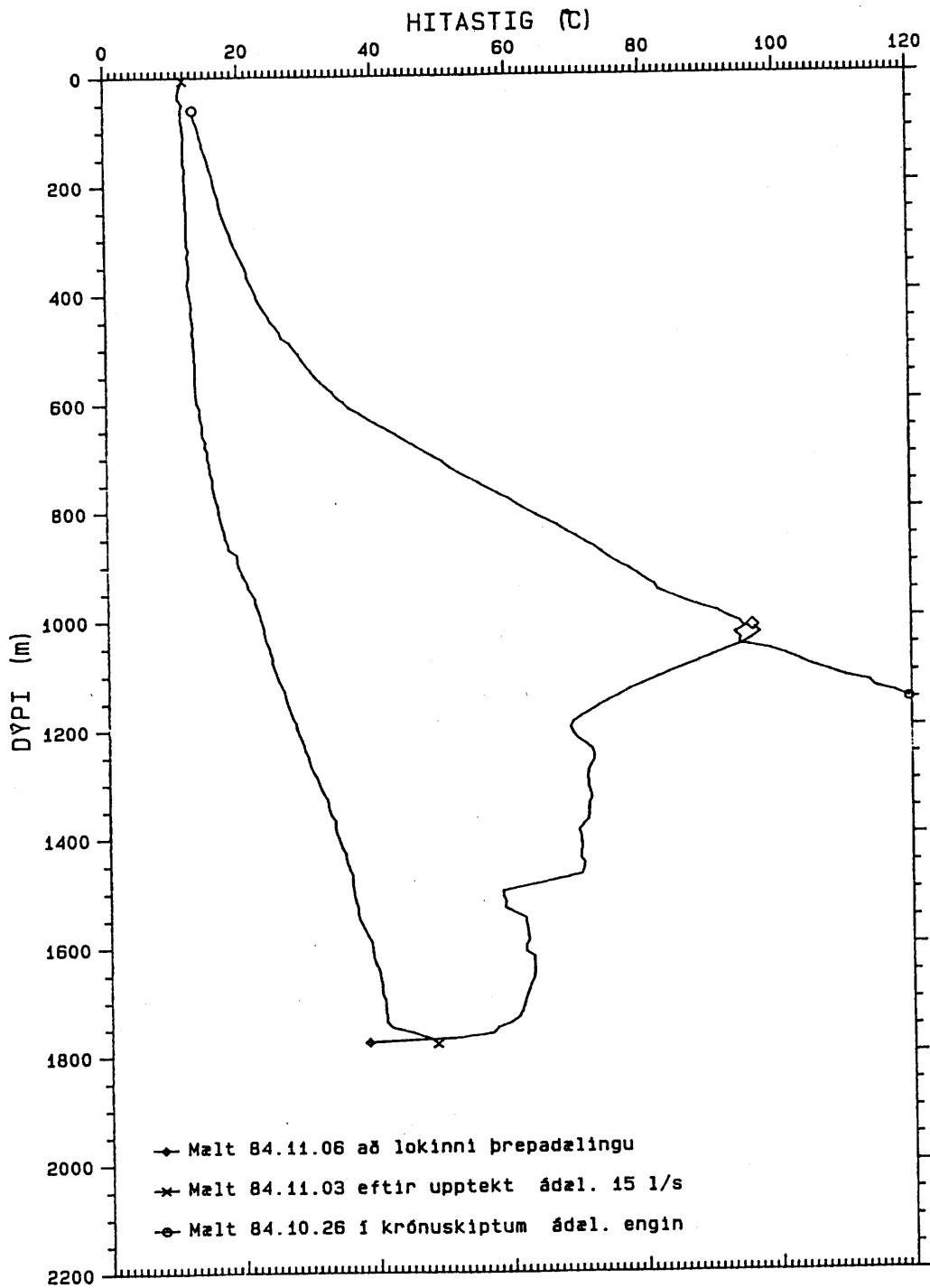
Mynd 16 Staðsetning vatnsæða

1. 123 m. Á þessu dýpi jókst skoltap úr 3 l/s í 9 l/s, auk þess varð vart við aukið botnfall í holunni. Mjög stór skápur er við æðina. Æðin er milli tveggja ferskra hraunlaga í nánst fersku gleri og þar af leiðandi ekki talin tengjast jarðhitakerfinu.

2. 252 m. Á þessu dýpi tapaðist allt skolvatn (> 40 l/s) og var vatnsborð á 65 m þegar 256 m voru boraðir. Steypt var í æðina og þurfti þrjár steypingar til þess áður en hægt var að bora dýpra. Ekki varð vart við hana í hitamælingum síðar. Æðin kom fram í nánast fersku móbergi. Það síðasta sem kom upp af svarfi áður en skolvatn tapaðist var nánast svartur leir alsettur örsmáum pýrít-kristöllum.
- 3-4. 445 og 560 m. Æðarnar sáust í hitamælingum (sjá mynd 17), sem gerðar voru eftir að borun fyrir 244 mm vinnslufóðringu lauk í 598 m dýpi. Ekki varð vart við neinar skoltapsbreytingar við þessar æðar. Enda tóku þær við litlu vatnsmagni í ádælingu eftir að borun fyrir vinnslufóðringu lauk. Báðar æðarnar sáust í breksíu. Við efri æðina var bergið lítið sem ekkert ummyndað, en við neðri æðina voru zeólítar og kalsít.
5. 1510 m. Í rúmlega 1500 m dýpi jókst skoltap um 7-8 l/s. Æðin sést vel á hitamælingu, sem gerð var eftir þrepaðælingu, þegar holan var að byrja að hitna upp. Æðin virðist vera á mótum dólerítsinnskots og breksíu, en þar skammt ofan og neðan við eru díórítinnskot. Ummyndunarsteindir gáfu til kynna hita yfir 250°C.
6. 1700 m. Æðin sést í skoltapsaukningu sem nam um 13 l/s. Hún kemur ekki fram í hitamælingum, þar sem æðin í 1750 m skyggir á hana. Æðin er líklega tengd sprungum í díórítinnskoti og ummyndunarhiti gefur til kynna hærri hita en 250°C.
7. 1750 m. Á hitamælingu, sem gerð var eftir upptekt á borstreng sést að æðin tekur við ádælingu. Miklar sveiflur eru í skoltapi neðan við 1700 m dýpi og því hugsanlegt að fleiri æðar séu þar til staðar. Æðin kemur inn í holuna neðan við díórítinnskot í ummynduðu basalhraunlagi. Ummyndun bendir til hita hærri en 250°C.
8. > 1750 m. Niðurstöður þrepaðælingar eftir að borun lauk benda til þess að sterkasta æð holunnar sé undir botnfalli. Það getur fallið saman við skoltapsmælingar, en miklar sveiflur voru í þeim síðustu 100 metrana.

JHD-BM-8715 HS
86.02.0134 T

NESJAVELLIR NG-10 HITAMÆLINGAR



Mynd 17 Hitamælingar

6 NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður, sem draga má af rannsóknum á jarðlögum, mælingum, ummyndun og vatnsæðum á holu NG-10, eru eftirfarandi:

1. Jarðlagastaflinn sem holan sker er í megin atriðum á þessa leið: Í efstu 550 m er móberg ráðandi berggerð. Þar neðan við eru basalt hraunlög einkennandi. Á fáeinum stöðum sést þar í móbergslinsur, sem geta verið vísbendingar um móbersmyndanir að einhverju leyti huldar innskotum þ.e. frá 1040-1180 m, 1420-1580 m og svo í neðstu 200 metrunum. Innskot sáust ekki í efstu 600 metrunum, en þar neðan við jókst tíðni þeirra með dýpi. Neðan 1300 m dýpis sáust fyrst ísúr - súr innskot og eru þau tíð þaðan niður undir botn holunnar. Á 250 - 270 m dýpi er dílótt móberg sem gæti verið sama lag og greint er í holu NG-7 sem móbergsmýndun 4 og er á svipuðu dýpi. Á um 1500 m dýpi er stór æð í tengslum við díórítinnskot bæði í NG-10 og NG-7, sem bendir til þess að nánast lárétt díórítinnskot liggi milli holanna. Lítið er um aðrar beinar tengingar á milli hola.
2. Ekki tókst vel til með gamma-mælingar í NG-10 vegna bilunar í mælipróbu og sýnir útreiknuð kísilsýra því of há gildi. Hins vegar kemur gamma-mælingin að góðum notum við nákvæma staðsetningu á ísúrum - súrum berglögum í vinnsluhluta holunnar. Nifteindamælingin er notuð til að reikna vatnsinnihald bergsins. Hún gerir ekki greinarmun á vatni, sem bundið er í ummyndun, vatni í porum í berginu eða í holunni sjálfri. Því er nauðsynlegt að taka tillit til holuvíddar þegar poruhluti er reiknaður út. Við útreikning á poruhluta út frá nifteindamælingu er stuðst við kvörðun sem gerð var fyrir holur allt að 9" víðar (229 mm). Kvarðanir fyrir víðari holur eru síðan byggðar á fyrrnefndum kvörðunum (með framreikningi) og eru því nokkuð óvissar. Á 200 m-400 m reiknast nokkuð hár poruhluti, en á þessu dýptarbili eru allmargir skápar og kann það að hafa áhrif til hærri poruhluta, þó að ekki séu þessir skápar djúpir. Ætlunin er að afla kvarðana fyrir víðari holur en það er allstórt verkefni. Viðnám lækkar verulega þegar komið er niður í ummyndunina (500 m) en hækkar aftur þegar innskotum fer að fjölga neðan 1100 m.
3. Ummyndun er lítil sem engin í efstu 400-500 metrunum, en þar neðan við er ummyndun lýsandi fyrir hækkanði hitastig í holunni. Á 1000 m dýpi er komið niður úr zeólíta-smektítbeltinu í blandlagaleirsteindabeltið, en hitabil blandlagaleirsteindabeltisins eru 200-230°C. Á 620-650 m, 860 m og 920 m sést blandlagaleir sem gefur til kynna hitatoppa og í öllum tilfellunum í tengslum

við innskot. Á 1130 m dýpi er komið niður úr blandlagaleir-
steindabeltinu í klórít-epidótbeltið, sem gefur til kynna hita
yfir 230-250°C. Tilvist aktínólíts á 1700 m dýpi er vísbending
um að minnsta kosti 280°C hita þar og líklega niður á botn holu.
Ef ummyndun í holum NG-6 og NG-7 er borin saman við NG-10 þá
kemur skýrt fram bratt fall frá NG-6 að NG-10, t.d. byrjar bland-
lagaleirsteindabeltið um 450-500 m neðar í NG-10, en um 200 m
neðar miðað við NG-7.

4. Vatnsæðar eru átta talsins þar af fjórar í vinnsluhluta holunnar,
þ.e. 1510 m, 1700 m, 1750 m og 1770 m dýpi. Allar teljast þær
gjöfular.

HEIMILDIR

Hilmar Sigvaldason, Ásgrímur Guðmundsson, Héðinn Ágústsson, Hjalti Franzson og Sigurður Benediktsson 1985a: NESJAVELLIR, HOLA NG-10 - FYRSTI ÁFANGI: BORUN Í 199 m OG STEYPING 13 3/8" FÓÐRINGAR. Orkustofnun, OS-85002/JHD-01 B, 14 s.

Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Ásgrímur Guðmundsson, Ómar Bjarki Smáráson, Ómar Sigurðsson, Héðinn Ágústsson og Valgarður Stefánsson 1985b: NESJAVELLIR, HOLA NG-10 - ÞRIÐJI ÁFANGI: BORUN VINNSLUHLUTA HOLUNNAR. Orkustofnun, OS-85006/JHD-03 B, 33 s.

Hjalti Franzson og Hilmar Sigvaldason 1985: NESJAVELLIR HOLA NG-7 - JARÐLÖG UMMYNDUN OG VATNSÆÐAR. Orkustofnun, OS-85124/JHD-18, 80 s.

Jens Tómasson, Ásgrímur Guðmundsson, Hilmar Sigvaldason, Sigurður Benediktsson og Héðinn Ágústsson 1985: NESJAVELLIR, HOLA NG-10 - ANNAR ÁFANGI: BORUN FRÁ 198 Í 598 m OG STEYPING 9 5/8" FÓÐRINGAR NIÐUR Í 596 m DÝPI. Orkustofnun, OS-85005/JHD-02 B, 17 s.

Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson 1983: NESJAVELLIR, HOLA NG-6 - BORUN, RANNSÓKNIR OG VINNSLUEIGINLEIKAR. Orkustofnun, OS-83023/JHD-04, 100 s.

ENGLISH SUMMARY

This report deals with geological and geophysical investigation on the rocks penetrated by well NG-10 at the NESJAVELLIR high-temperature area in Southwest Iceland.

The well was drilled from September 22 to November 6, 1984. The drilling took a total of 45 days and the well reached the depth of 1798 m. The drilling carried out in three stages: a) 13 3/8" (340 mm) safety casing was sunk down to 194 m, b) 9 5/8" (244 mm) production casing was sunk down to 594 m, and c) 7" (178 mm) slotted liner was placed in the production part of the hole.

The rocks penetrated by this well are classified into three main groups, i.e. hyaloclastites, basaltic lava flows and intrusives. Hyaloclastites formed under water or in subglacial eruptions are dominant down to 550 m depth. Basaltic lavas dominate below 550 m. Traces of hyaloclastite appear at some depth intervals in the basaltic pile, e.g. at 1040-1180 m, 1420-1580 m and below 1600 m depth, but they are more or less hidden by high intensity of intrusive rocks. Intrusives are absent in the uppermost 600 m, but their intensity increases gradually from 600 m to the bottom of the well. Fine grained basalt and dolerite intrusives are the most common rock type, but below 1300 m depth intrusives of intermediate to rhyolitic composition are seen.

The lithological logs are extremely useful in the interpretation of the subsurface geology. Several logs were carried out in well NG-10, such as neutron - neutron, gamma ray and resistivity. Down to 500 m depth the resistivity shows high values, and high porosity is recorded in the neutron - neutron logs. It is explained by lack of alteration. Below 500 m in the geothermal reservoir the resistivity values are a degree lower (10 ohm), but in the epidote - chlorite alteration zone and where the intrusives intensity get higher, it goes up again. The correlated neutron - neutron log shows an average porosity of 19.4% for the well. Because of equipment failure in the gamma ray log, all gamma values were too high. Relative values were nevertheless useful in locating the intermediate - silicic rocks.

Alteration is absent in the uppermost 400 - 500 meters and secondary minerals are scarce. The alteration minerals are used to estimate the rock temperature in the geothermal reservoir, and in this case it shows a good correlation with the calculated rock temperature from the warming up period of the well. The smectite-zeolite zone extends down to 1000 m depth and the characteristic minerals are smectite,

scolesite/mesolite, stilbite, laumontite and calcite. The mixed-layer zone extends from 1000 - 1130 m depth. The location of that zone is due to the appearance of mixed-layer and swelling chlorite and the correlated temperature is to be estimated 200-230°C. Quartz was recorded at about 700 m depth and was seen scattered down to 900 m, whereas in the mixed-layer zone it is quite abundant. Wairakite first appears at 1000 m depth and was seen continuously below that depth. The top of the epidote-chlorite zone is located 1130 m depth where these two minerals were identified together and the correlated temperature is estimated at 230-250°C. It extends from 1130 m and down to the bottom of the well. Besides chlorite and epidote, quartz, prehnite and wairakite are abundant in this alteration zone and wollastonite was identified below 1400 m depth.

The main aquifers were penetrated below 1500 m; at 1510 m, 1700 m, 1750 m and 1770 m depth, all in connection with intrusives.