



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

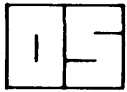
Hjalti Franzson
Hilmar Sigvaldason

NESJAVELLIR, HOLA NG-7

Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar

OS-85124/JHD-18
Reykjavík, desember 1985

Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hjalti Franzson
Hilmar Sigvaldason

NESJAVELLIR, HOLA NG-7

Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar

OS-85124/JHD-18
Reykjavík, desember 1985

Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur

ÁGRIP

Í þessari skýrslu er fjallað um jarðfræði og borholumælingarannsóknir í holu NG-7 á Nesjavöllum. Holan var boruð á tímabilinu 10. október til 17. nóvember 1983. Borverkið tók alls 39 verkdaga og varð holan 2001 m djúp. 13 3/8" öryggisfóðring nær niður í 178 m dýpi en enda 9 5/8" vinnslufóðringar var komið fyrir á um 585,7 m. Endi 7 5/8" raufaðs leiðara náði niður á um 1990 m dýpi.

Berglögum holunnar er skipt í 15 upphleðslumyndanir, en af þeim eru 10 úr móbergi og 5 hraunlagamyndanir. Innskot aukast með dýpi; engin slík lög finnast ofan 600 m, þaðan og niður á 1500 m dýpi eru þau 9-22% af berglögum holunnar, en neðan þess yfir 70%. Tvær gerðir af ísúrum innskotum fundust á 12 stöðum neðan 900 m dýpis í holunni. Samanburður berglaga NG-7 við NG-5 bendir til að NG-7 skeri misgengi með 50-100 m sigi á 800-900 m dýpi. Samræmi er gott á milli jarðlagamælinga og svarfgreiningar. Nákvæmur samanburður jarðlagagreiningar og poruhluta- og viðnámsmælinga gefur þó til kynna að mæligildin gætu einnig stjórnað af jarðhitaummyndun bergsins. Ummyndun gefur nokkuð markverðar upplýsingar um jarðhitakerfið: Samanburður í ummyndun við holu NG-6 gefur sterklega til kynna að NG-7 sé staðsett nærri útjaðri jarðhitasvæðisins. Við slíkar aðstæður má vænta lekavandamála í borunum fyrir öryggis- og vinnslufóðringum, vegna hárrar "prímerrar" lektar berglaga.

Berghiti á 500-900 m dýpi er langt ofan þeirra marka sem zeolítar eru taldir geta þrífist. Það er í samræmi við niðurstöður rannsókna í öðrum holum á svæðinu.

Tímaröðun útfellinga gefur í mörgu líka mynd og í NG-6. Ofan 1300 m er kalsít áberandi síðasta útfellingasteindin, en neðan þess tekur prenit við. Báðar þessar steindir eru yfirleitt algengar þar sem helstu vatnsæðar koma í holuna.

Tíðni sprungufyllinga í svarfsýnum var notuð til að afmarka sprungubelti í holunni. Þessi aðferð er talin vel marktæk.

Talið er líklegt að holan skeri um 20 vatnsæðar. Af þeim eru 11 ofan vinnslufóðringadýpis en 9 í vinnsluhluta holunnar. Ofan 600 m þar sem ummyndunar gætir lítið virðast vatnsæðar stjórnað af "prímerrri" lekt jarðlagastafans. Athyglisvert er að skil milli einstakra móbergsmyndana virðast hafa tiltölulega mikla lekt. Í vinnsluhluta holunnar gegnir öðru máli. Helstu vatnsæðar koma inn í holuna á 800-1300 m dýpi og virðast fylgja tveimur "lóðréttum" strúktúrum; berggangi og misgengissprungubelti. Tvær neðstu vatnsæðarnar í 1518 og 1975 m fylgja líklega jöðrum innskota.

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	3
MYNDASKRÁ	5
1 INNGANGUR	7
2 ÁGRIP BORSÖGU	9
3 JARÐLAGASKIPAN	12
3.1 Upphleðsla	12
3.1.1 Upphleðslumyndanir	12
3.1.2 Samanburður upphleðslumyndana í NG-7 og NG-5	12
3.2 Innskot	26
3.2.1 Ferskleg basaltinnskot	28
3.2.2 Ísúr innskot	28
3.2.3 Önnur innskot	29
3.2.4 Samanburður á innskotapétteleika í NG-7 og NG-5	29
3.3 Poruhluti	30
3.4 Viðnám bergs	41
3.5 Kísilsýra í bergi	45
4 UMMYNDUN	48
4.1 Inngangur	48
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda	48
4.3 Ummyndun frumsteinda og glers	53
4.4 Tímaröðun ummyndunarsteinda	55
4.5 Sprungufyllingar	58
4.6 Samanburður við holu NG-6	59
5 VATNSÆÐAR	61
6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR	69
HEIMILDASKRÁ	71
ENGLISH SUMMARY	73
VIÐAUKI A	75
VIÐAUKI B	77

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum	8
2 Borun holu NG-7	10
3 Frágangur holu NG-7	11
4 Jarðlagaskipan og mælingar	13
5 Samanburður jarðlaga í holum NG-5 og NG-7.....	23
6 Dreifing innskota	27
7 Samanburður á bergfræði og gammamælingum í ísúrum innskotum	28
8 Poruhluti á bilinu 180 - 1688 m	32
9 Poruhluti í móbergi, basalti, innskotum og súru bergi	33
10 Poruhluti í túffi, basaltríkri breksíu og í glerjuðu basalti	35
11 Poruhluti í túffsetum og basaltraunum	37
12 Poruhluti í innskotum. a) Innskot á dýptarbili 600 - 950 m. b) Önnur basaltinnskot c) Ferskleg ísúr innskot d) Grófkorna ísúr innskot	38
13 Poruhluti í fínkorna og grófkorna basaltinnskotum	40
14 Hlaupandi meðaltal (50 m) af 16" viðnámi í NG-7	42
15 16" viðnám í allri holunni	42
16 Viðnám í móbergi, basalti, innskotum og ísúru bergi ...	43
17 Hlaupandi meðaltal (50 m) af gamma geislun kvarðað á styrk SiO ₂ sem fall af dýpi	46

18	Efri hluti dreifingar af styrk SiO_2	46
19	Dreifing ummyndunarsteinda í NG-7	49
20	Breytileg kristöllun kalsíts í NG-7	50
21	Ummyndun frumsteinda og glers, fylling holrýma, fjöldi sprungufyllinga, magndreifing kalsíts, pýríts og epídóts	52
22	Líkleg tímaröðun útfellinga í NG-7	54
23	Súlurit af fjölda steinda í holrýmum sem fall af dýpi ...	57
24	Súlurit af fjölda steinda í einstökum holrýmum	57
25	Steindir í sprungufyllingum	59
26	Samánburður á ummyndun í holum NG-6 og NG-7	60
27	Staðsetning og afstæð stærð vatnsæða	62
28	Líkleg jarðfræðileg lega vatnsæða á 600-1400 m dýpi	67
29	Líklegar streymisleiðir jarðhitavökva umhverfis NG-7	68
30	Skematiskur þverskurður af holu- og sprungufyllingum (í viðauka B)	78

TÖFLUR

Bls.

1	Poruhluti í mismunandi innskotagerðum	32
2	Viðnám í mismunandi berggerðum	45
3	Vatnsæðar, forsendur og afstæð stærð	63
4	Aðferðir notaðar við greiningar á ummyndunarsteindum (í viðauka B)	79
5	Mælingar í borun og upphitun eftir borun (í viðauka B)	80

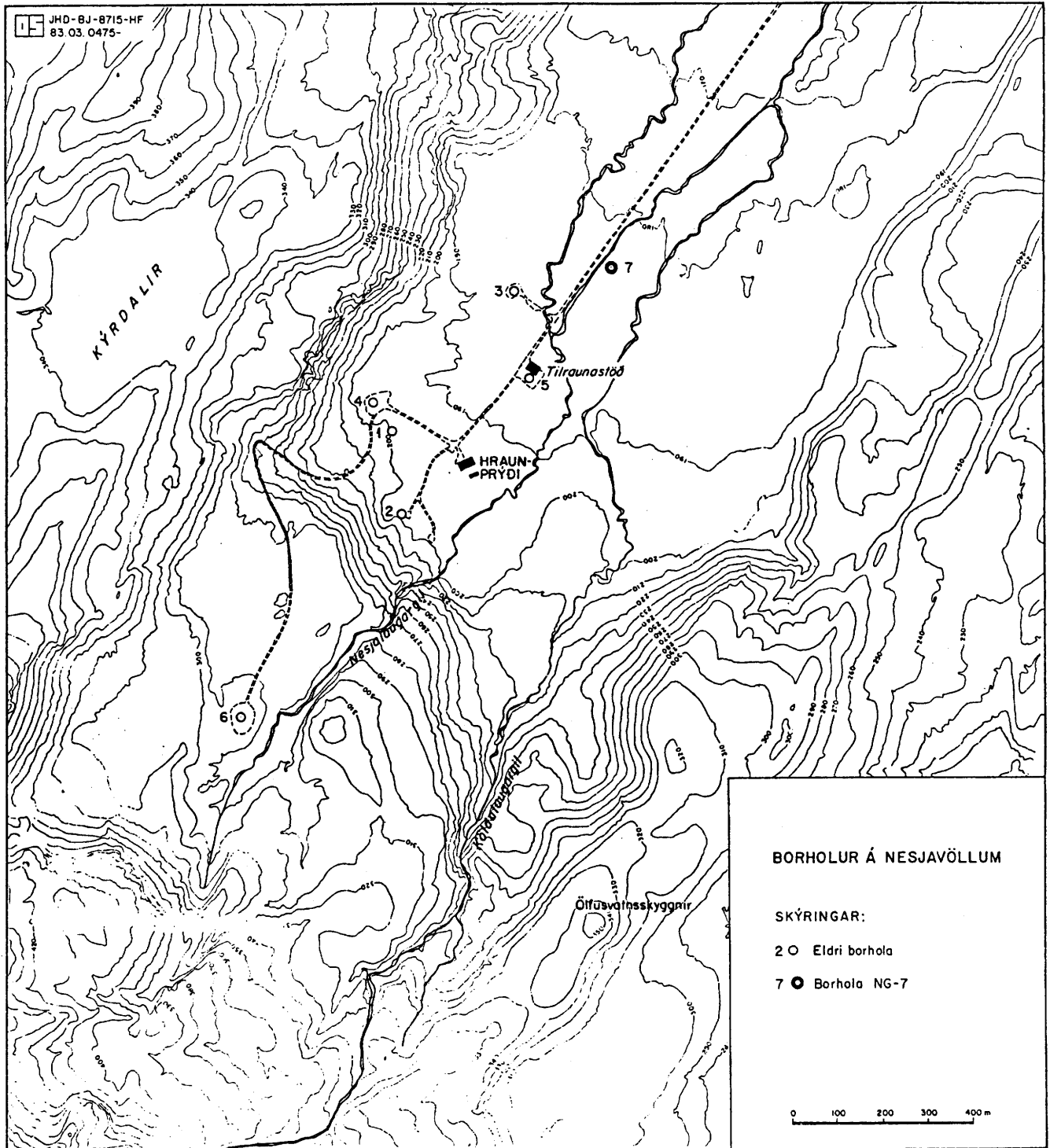
1 INNGANGUR

Þessi skýrsla fjallar um úrvinnslu jarðfræði- og jarðeðlisfræðilegra gagna og er unnin samkvæmt samningi á milli Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur.

Tilgangur borunar var tvíþættur; annars vegar að afla tilraunastöð á Nesjavöllum gufu og hins vegar að kanna ytri mörk jarðhitasvæðisins. Staðsetning holunnar er sýnd á mynd 1.

Hola NG-7 var boruð á tímabilinu frá 10. október til 17. nóvember 1983. Holan var boruð í 2001 m dýpt. Dýpt holunnar er miðuð við drifborð Gufubors en það er 5 m ofan við aðalflangs, og um 2,5 m ofan við kjallarabrún.

Auk höfunda skýrslunnar hafa nokkrir starfsmenn Jarðhitadeildar unnið að einstökum þáttum þessarar rannsóknar, og má þar nefna Valgarð Stefánsson, Jens Tómasson, Benný Baldursdóttur, Gyðríði Jónsdóttur, Hildigunni Þorsteinsdóttur, Guðlaug Hermannsson, Helgu Tuliníus og Guðjón Guðmundsson. Höfundar þakka þeim framlag þeirra. Ásgrímur Guðmundsson, Vigdís Harðardóttir og Baldur Hafstað lásu yfir handritið og bentu á margt sem betur mátti fara.



MYND 1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum

2 ÁGRIP BORSÖGU

Borverki NG-7 hefur þegar verið ýtarlega lýst í þremur áfangaskýrslum (Jens Tómasson o.fl. 1983a, Jens Tómasson o.fl. 1983b, Hjalti Franzson o.fl. 1983), og verður því hér aðeins gripið á helstu atriðum verksins.

Forborun holunnar með höggbor var framkvæmd í tveimur áföngum; fyrst 1971, og síðan sumarið 1981. Dýpi höggborsholunnar miðað við drifborð Gufubors var um 43 m. Holunni var valinn staður við veginn um 300 m norðaustan við holu NG-5 (mynd 1).

Helstu atriði borverksins eru sýnd á mynd 2, og á mynd 3 er sýndur frágangur holu og halli. Krónugerð og álag eru sýnd á mynd 4.

Borverk hófst þann 10. október og því lauk 17. nóvember 1983, og varð holan 2001 m djúp. Verkið tók alls 39 verkdaga og var 7 dögum á undan áætlun.

Fyrsti áfangi verksins eftir steypingu höggborsfóðringar var borun 17 1/2" (445 mm) holu fyrir 13 3/8" (340 mm) öryggisfóðringu. Nokkur vandkvæði komu upp í borun þessa verkhluta, vegna mikilla skápa-myndana og skoltapa. Varð af þeim sökum að steypa fjórum sinnum og voru notaðir um 52 rúmmetrar af steypu. Steyping fóðurrörs gekk samkvæmt áætlun, og voru notuð til þess 45 tonn af sementi.

Eftir að ventlum hafði verið komið fyrir á holutoppi, hófst annar áfangi með borun 12 1/4" (311 mm) holu fyrir 9 5/8" (244 mm) vinnslufóðringu niður á 593 m dýpi. Borun þessa áfanga gekk vel að því undanskildu, að borkróna stíflaðist og taka þurfti borstreng upp til að skipta um krónu. Steypa þurfti vinnslufóðringu í tveimur áfögnum; í þeim seinni var steypudælt í gegnum 8 skotgöt á um 182 m dýpi. Samtals fóru tæp 90 tonn af portland sementi í steypingu fóðringarinnar, eða rúmlega þrefalt útreiknað rúmmál holunnar utan fóðurrörs.

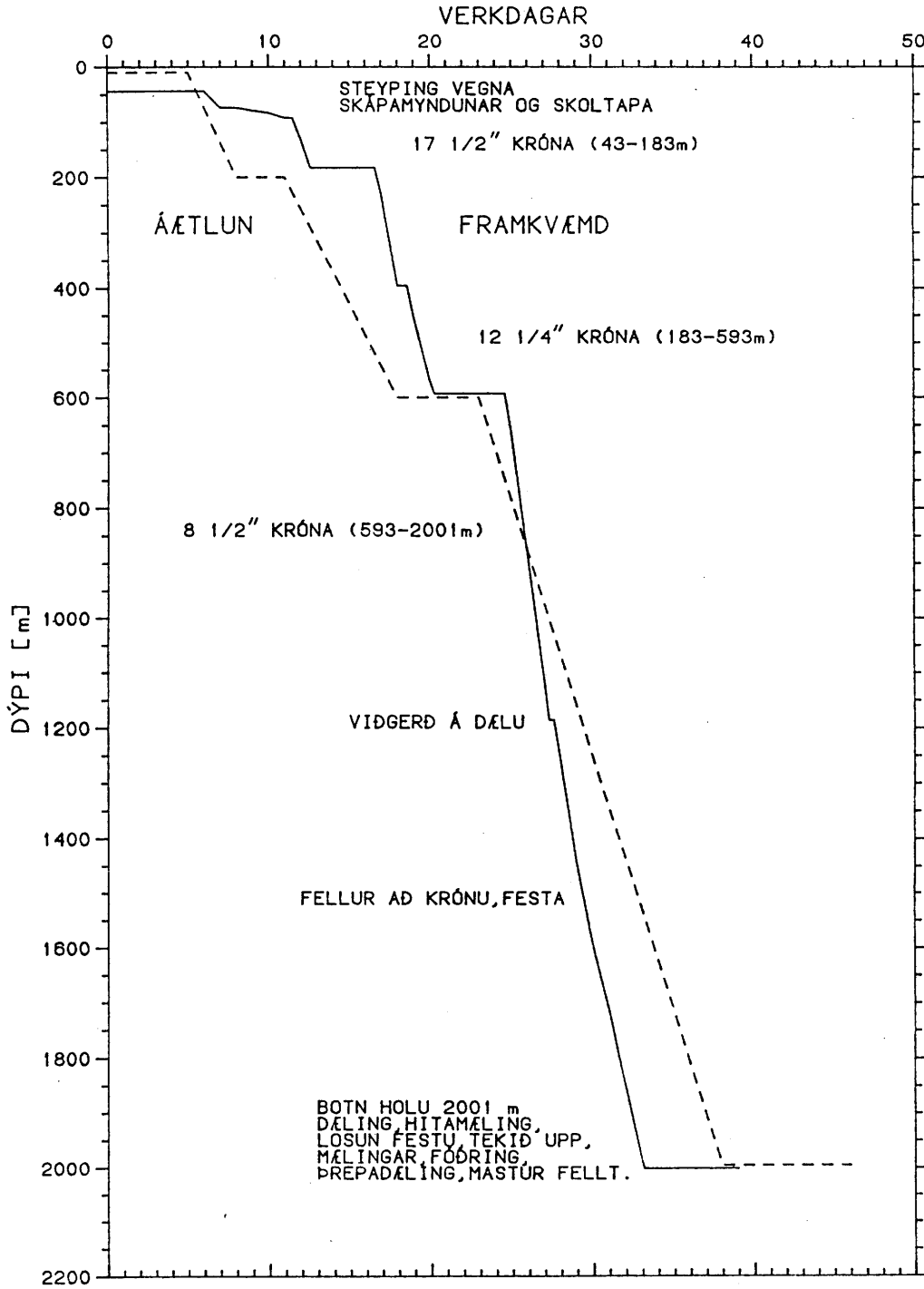
Þriðji áfangi hófst þann 2. nóvember. Borað var með 8 1/2" (216 mm) krónu. Borun í 2001 m dýpi gekk nær áfallalaust, nema stoppa þurfti tvisvar sinnum dagpart, í fyrra skiptið vegna viðgerðar á dælu, en það síðara vegna festu borstrengs í rúmlega 1500 m dýpi.

Er borun lauk var í öryggisskyni hitamælt í stöngum. Þegar taka átti upp úr holu kom í ljós að borstrengur hafði festst. Eftir nokkurra klukkustunda aðgerðir bormanna losnaði borstrengurinn og var þá tekið upp. Að borholumælingum loknum var settur raufaður 7 5/8" (194 mm) leiðari og áður en mastur var fellt, var þrepadæling gerð til að meta lekt holunnar.

JHD.BJ.8715.HF.GiGu
83.11.1625. T

BORUN HOLU NG-7, NESJAVÓLLUM

10. okt. - 17. nóv., 1983



MYND 2 Borun holu NG-7

JHD-BJ-8715 HF
84.04.0569 AA

NESJAVELLIR, HOLA NG-7 Frágangur holu

Staðsetning: Hnit $x = 658761,10$ $y = 404414,95$ Hæð yfir sjó 188 m

Fjarlægðir: Drifborð - kjallarabrún 2,5 m, kjallarabrún - krugi 2,5 m

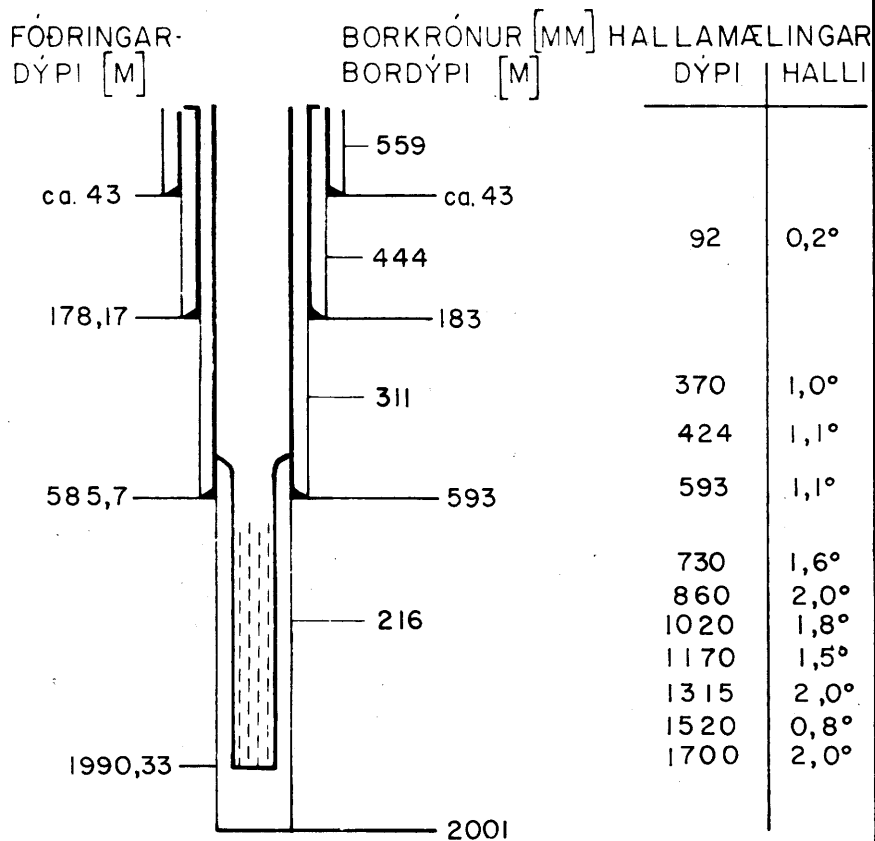
Höggbersfóðring: Utanmál 470 mm, veggþykkt 8 mm

Öryggisfóðring: API 13 3/8", 68 lbs/ft, K-55, skrúf. buttr.

Vinnslufóðring: API 9 5/8", 40 lbs/ft, K-55, skrúf. buttr.

Leiðari: API 7 5/8", Innanmál 177 mm, J-55, soðin.
Öll rörin raufuð. Hengistykki í 553,42 m

Mesta lárétta hliðrun: ≤ 50 m



MYND 3 Frágangur holu NG-7

3 JARÐLAGASKIPAN

3.1 Upphleðsla

3.1.1 Upphleðslumyndanir

Lykli að jarðlagagreiningu er lýst í Viðauka A hér að aftan.

Í eftirfarandi lýsingu er upphleðslueiningum skipt upp í eftirfarandi 15 myndanir:

1.	43	-	115 m	Móbergsmýndun-1
2.	115	-	199 m	Móbergsmýndun-2
3.	199	-	247 m	Móbergsmýndun-3
4.	247	-	290 m	Móbergsmýndun-4
5.	290	-	340 m	Móbergsmýndun-5
6.	340	-	437 m	Móbergsmýndun-6
7.	437	-	826 m	Hraunlagamyndun-1
8.	826	-	940 m	Móbergsmýndun-7
9.	940	-	1177 m	Hraunlagamyndun-2
10.	1177	-	1227 m	Móbergsmýndun-8
11.	1227	-	1348 m	Hraunlagamyndun-3A
12.	1348	-	1448 m	Hraunlagamyndun-3B
13.	1448	-	1513 m	Móbergsmýndun-9
14.	1513	-	(1553 m)	Hraunlagamyndun-4
15.	(1745)	-	(2000 m)	Móbergs-og hraunlagamyndun

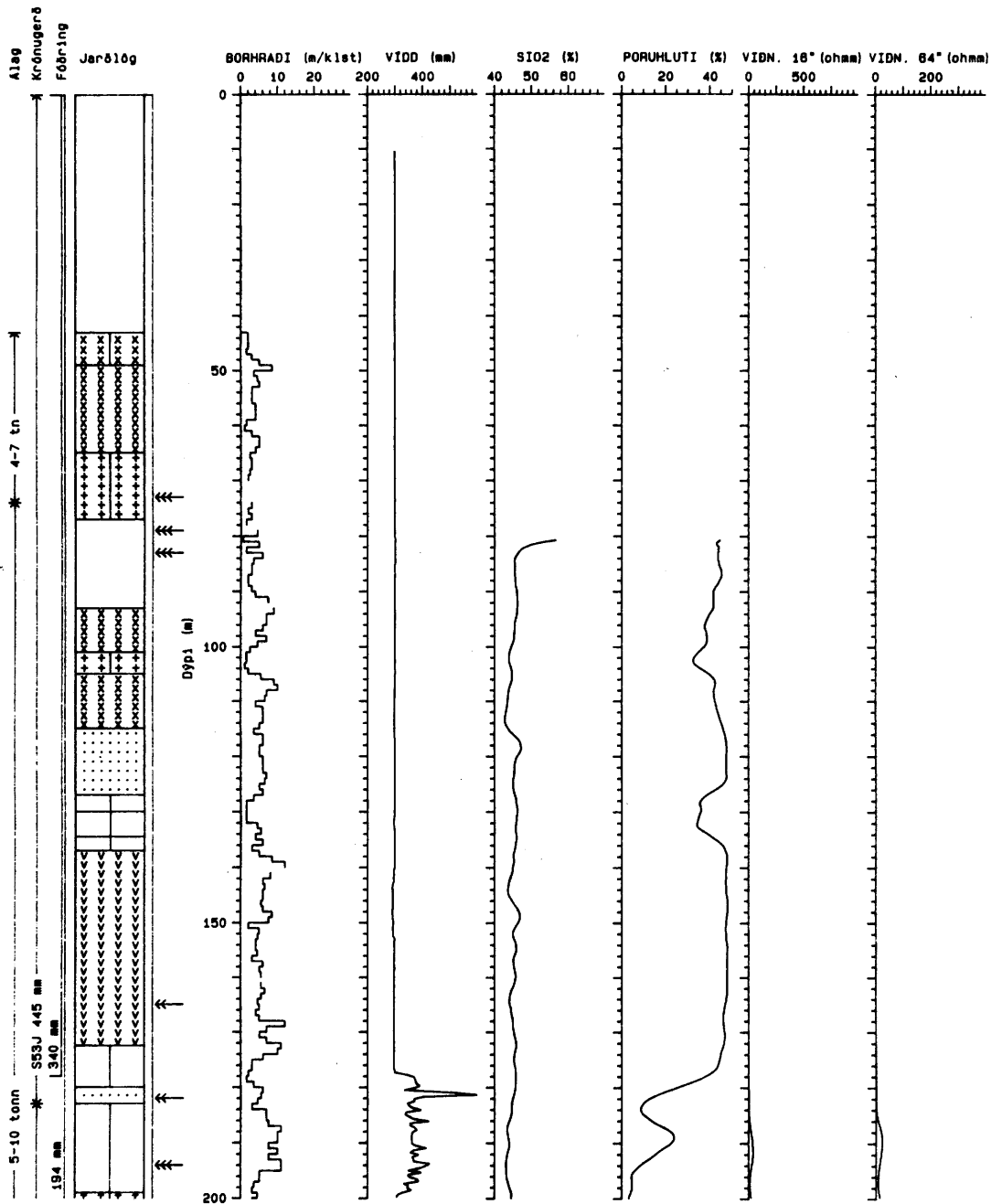
Nánari skipting jarðlagastaflans, svo og jarðlagamælingar eru sýnd á mynd 4.

3.1.2 Samanburður upphleðslumyndana í NG-7 og NG-5

Ein af ástæðum fyrir jarðlagagreiningu í borholum er sú, að með samanburði jarðlaga á milli borhola er í sumum tilfella unnt að geta sér til um misgengi í berggrunni. Á mynd 5 eru sýnd einfölduð jarðlagasnið NG-5 og NG-7. Jarðlagatenging ofan 750 m dýpis gefur ekki til kynna neina höggun jarðlaga. Neðan þess dýpis verður að gera ráð fyrir misgengi á milli holanna, þar sem jarðlög í NG-7 hafa sigið mest (100 m) í neðri hlutanum. Líklegasta skýringin er talin sú að annað hvort skeri hola NG-5 eða NG-7 misgengi á 800-900 m dýpi. Athugun á sprungum hefur ekki verið gerð í holu NG-5 en slík athugun var gerð í holu NG-7 (mynd 21). Leiddi hún í ljós að sprungufyllingar voru algengar, misjafnlega þó, á dýptarbilinu frá um 850 m niður undir 1400 m. Á þeim grundvelli er talið líklegt að NG-7 skeri á þessu dýptarbili áður nefnt misgengi. Í kafla 4.5 er enn frekar rætt um sprungur og sprungufyllingar.

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

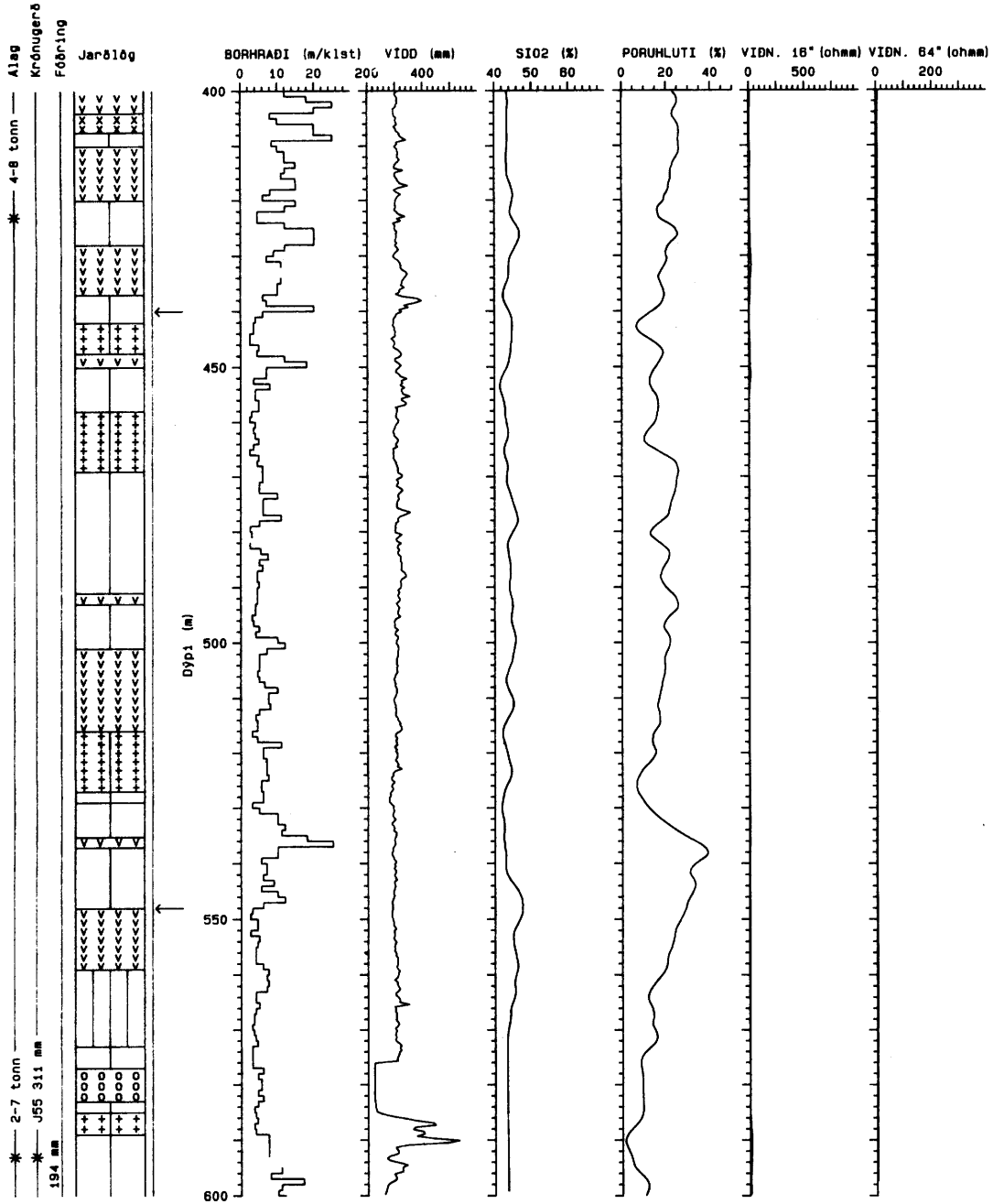
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 Jarðlagaskipan og mælingar

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

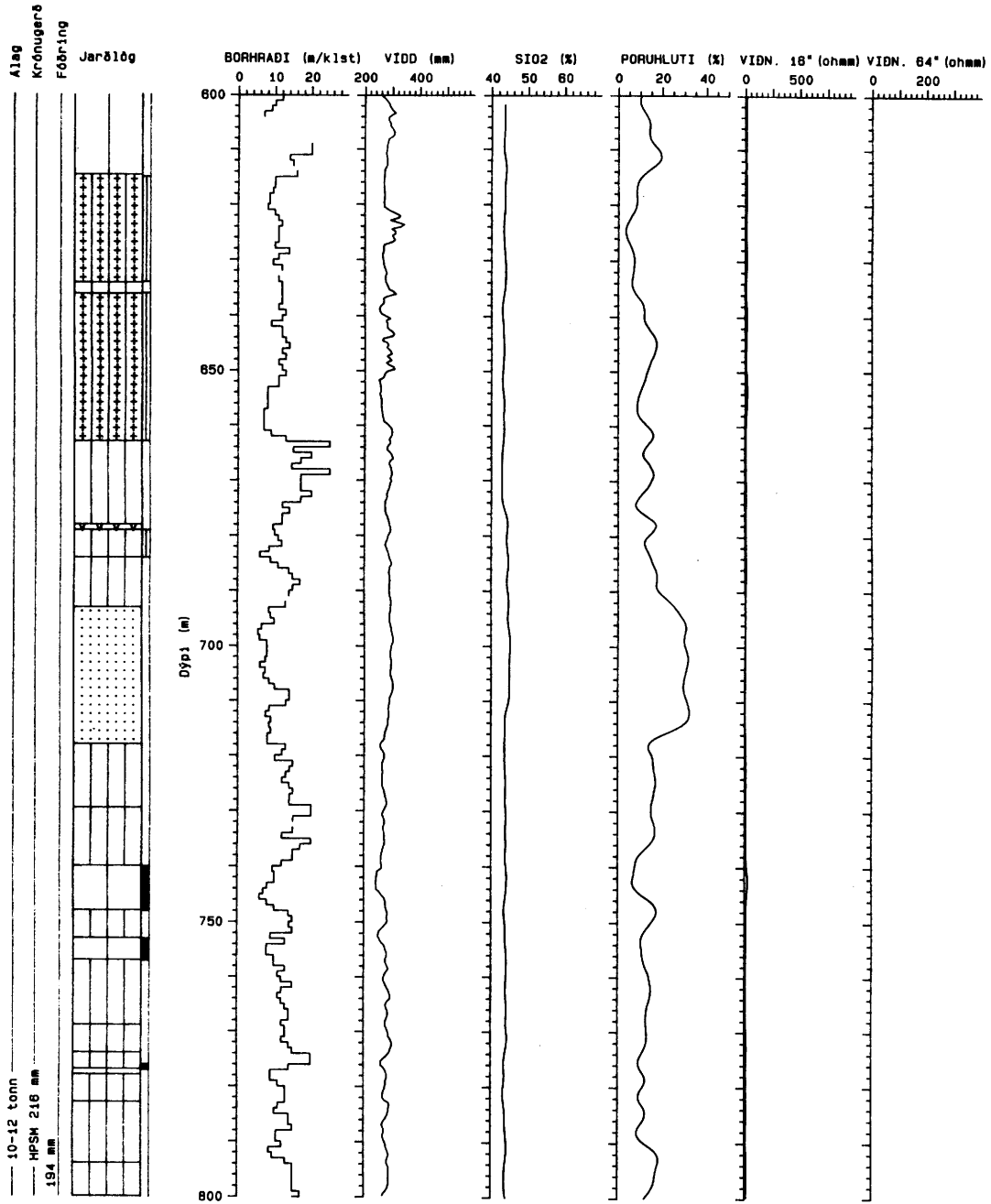
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

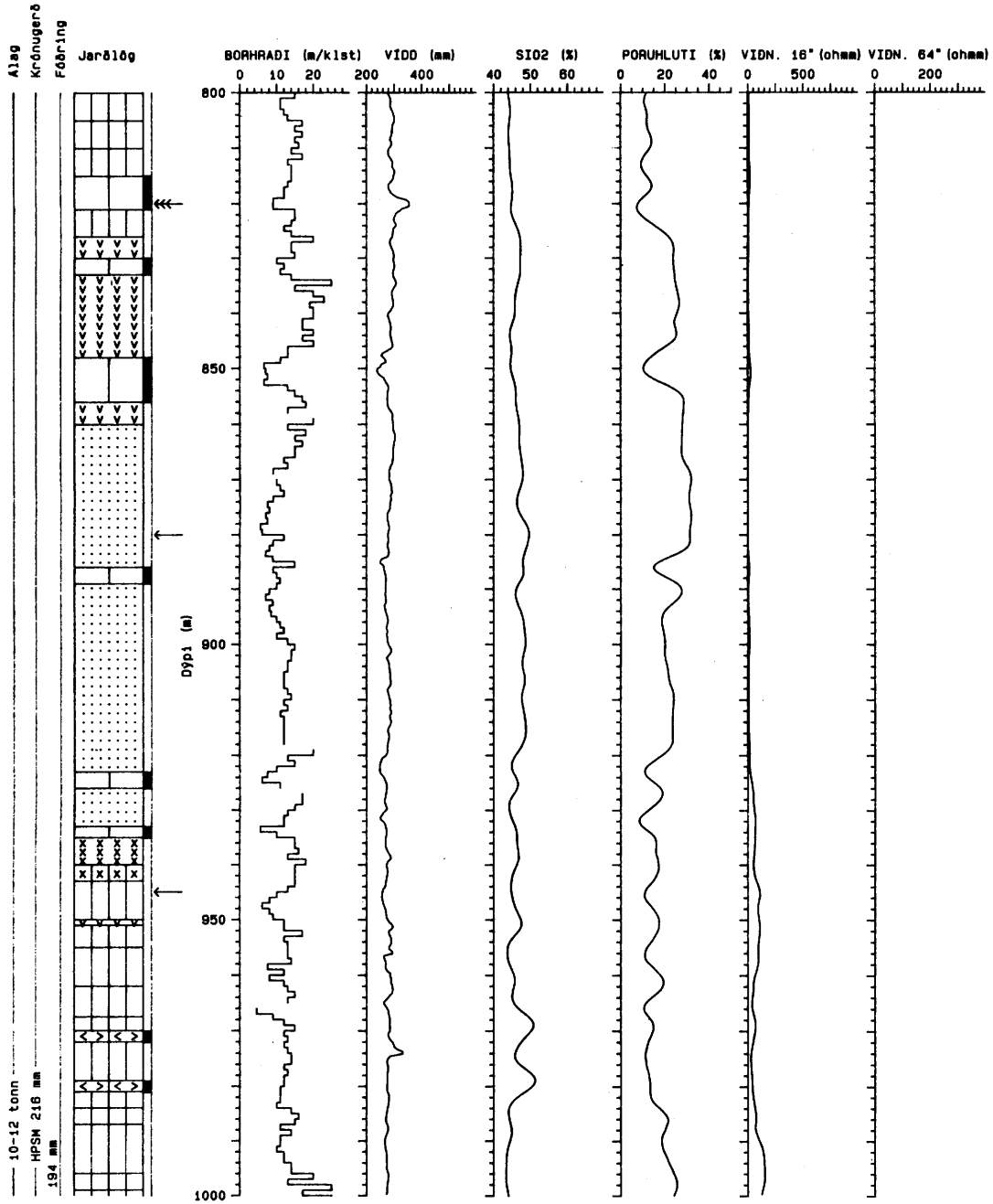
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

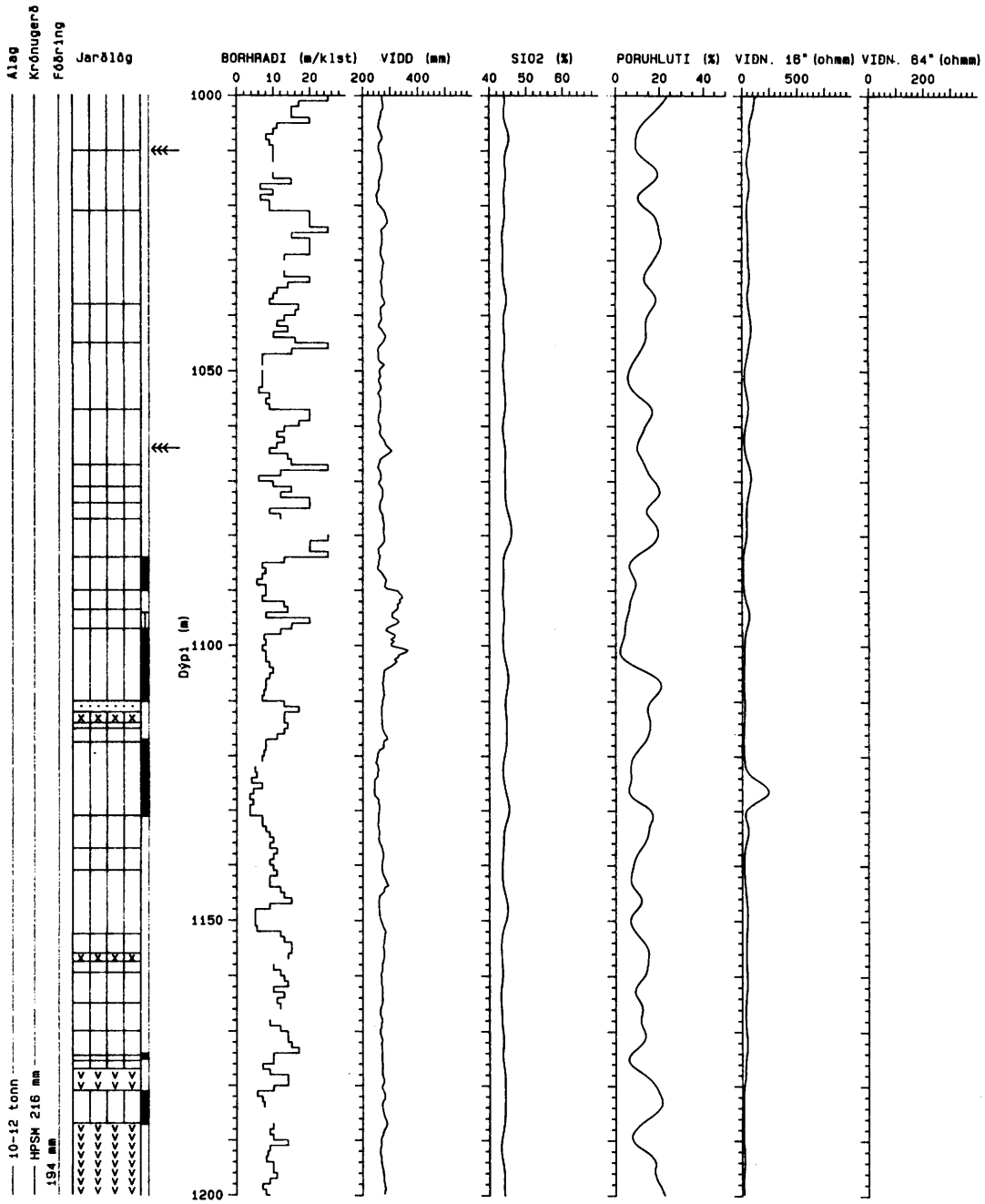
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNID OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-8M-8715 HS
85.01.0125 T

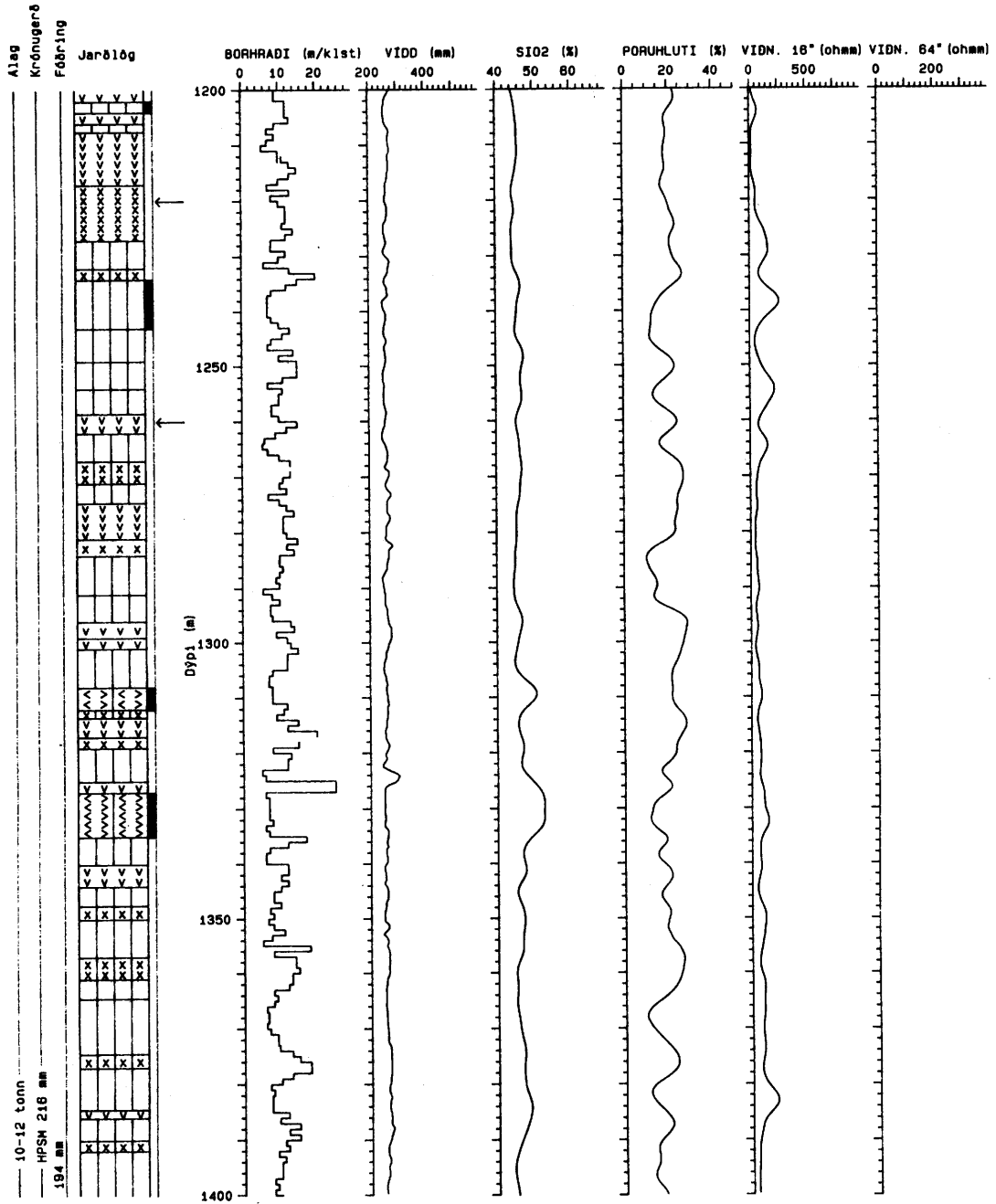
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

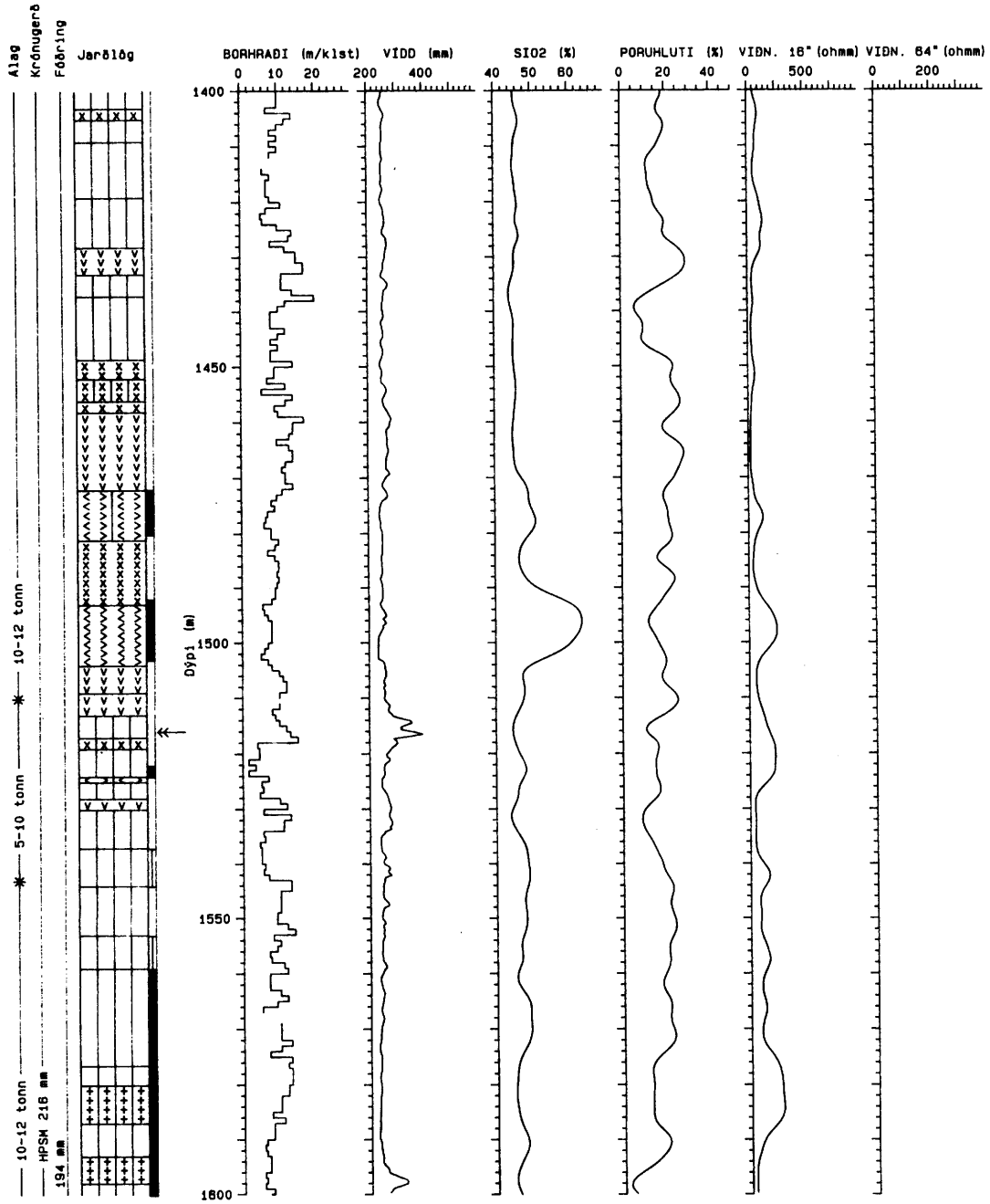
NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

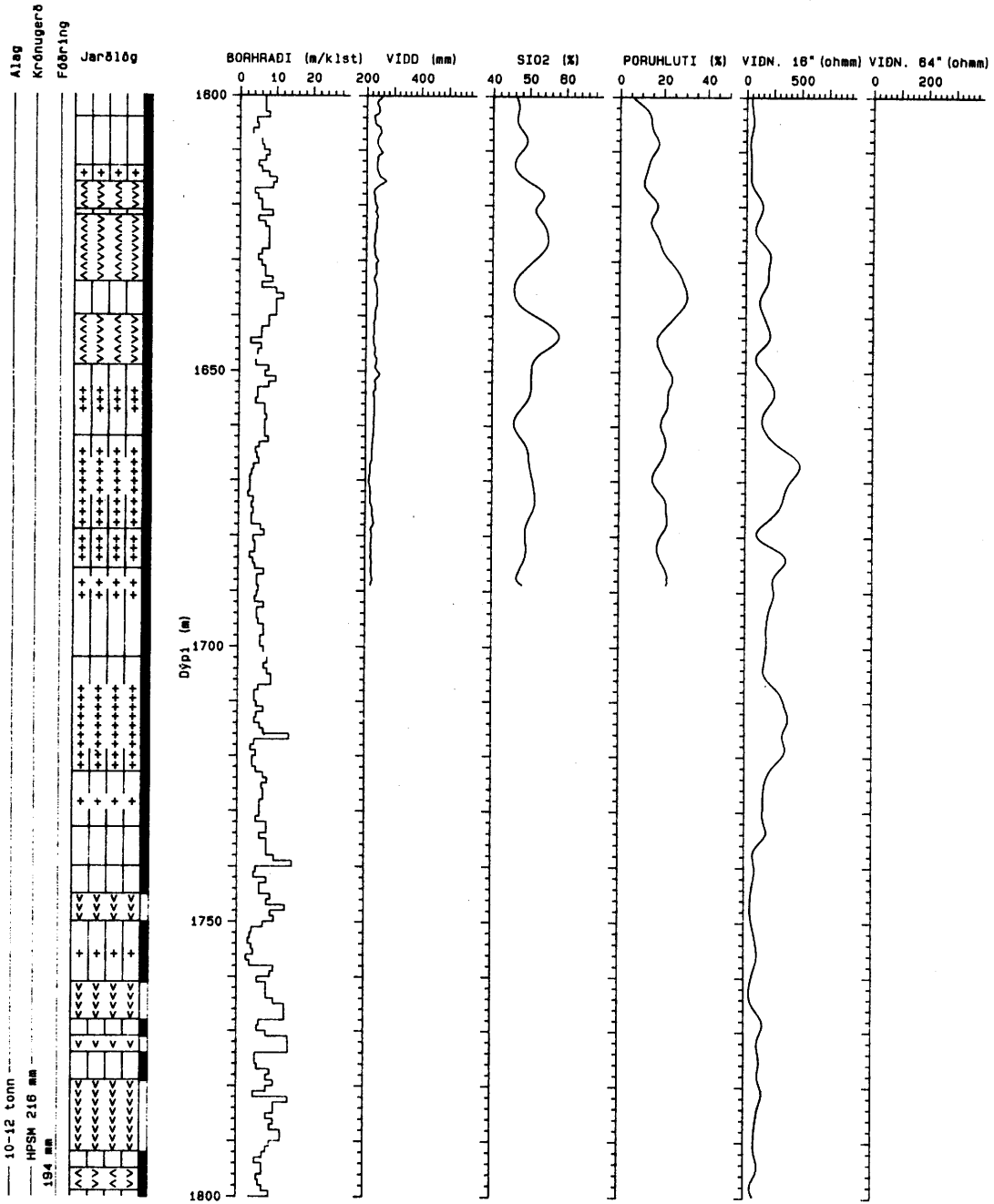


MYND 4 (frh.)

JHD-BM-8715 HS
85.01.0125 T

NESJAVELLIR HOLA NG-7

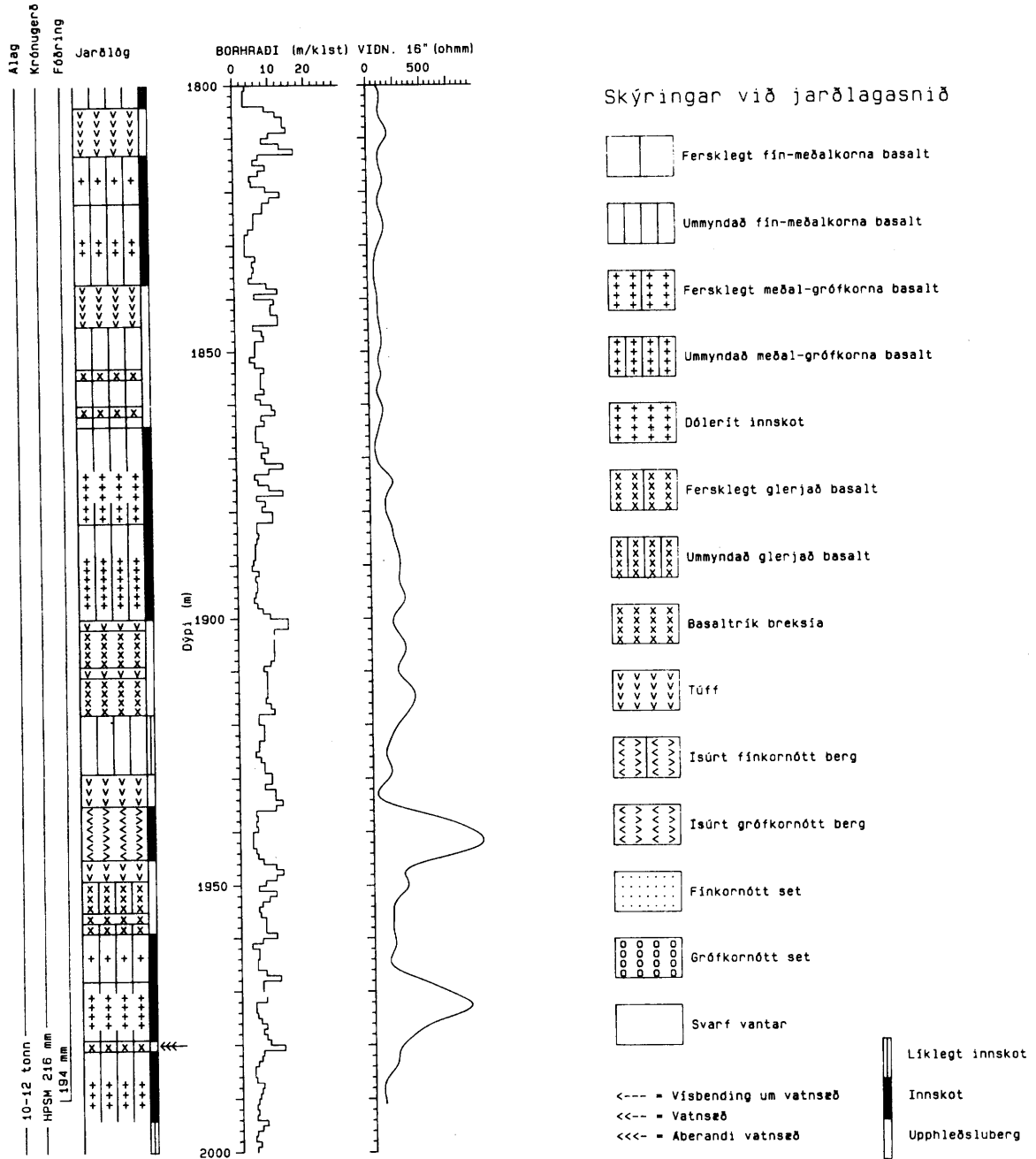
JARLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 4 (frh.)

JHD-8M-8715 HS
85.01.0125 T

NESJAVELLIR HOLA NG-7 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

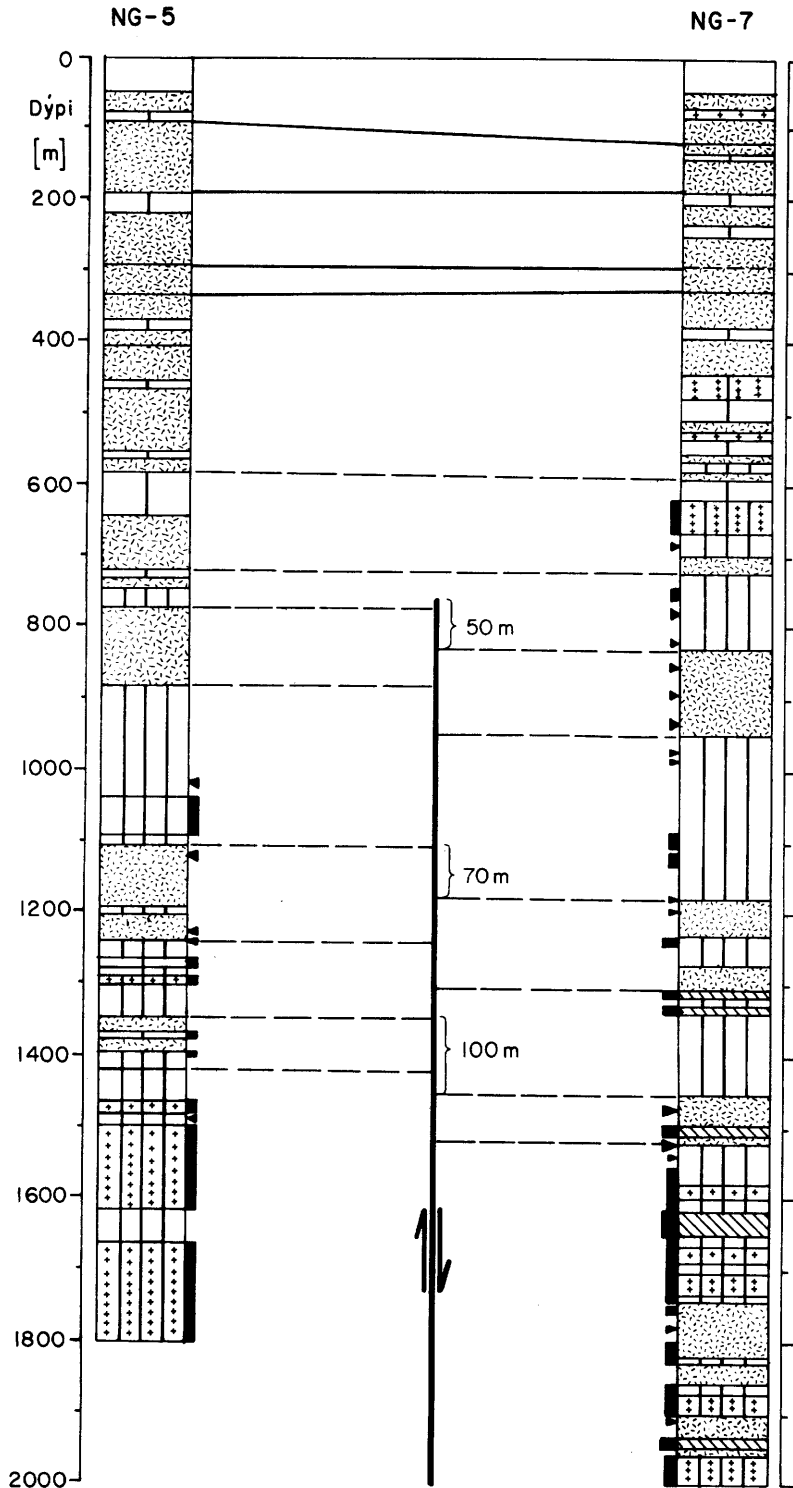


MYND 4 (frh.)

JHD-BJ-8715 HF
84.04.0582 AA

NESJAVELLIR

Líkleg tenging jarðlaga NG-7 við NG-5



Skýringar við jarðlagasnið ; sjá mynd 19

MYND 5 Samanburður jarðlaga í holum NG-5 og NG-7

Móbergsmýndun-1 (0)43-115 m. Engin svarfsýni eru til úr höggborsholunni, sem bar um 43 m djúp en gera má ráð fyrir að efst sé nútímahraun og neðan þess taki Móbergsmýndun-1 við. Móbergið er af ólivínþóleiít samsetningu og er áberandi dílótt (plagíóklasdílar eru ráðandi en einnig finnast stöku ólivíndílar í þunnsneiðagreiningu). Kristöllun móbergsins er breytileg, allt frá því að vera ókristallað túff í að hafa fremur grófkristallaðan "subofítískan textúr". Þessi breyting í kristöllun er talin merkja breytingar frá móbergstúffi til bólstrabergs og basalteitla.

Móbergsmýndun-2 115-199 m. Þessi móbergsmýndun skilur sig nokkuð greinilega frá þeirri fyrir ofan vegna þóleiít efnasamsetningar og skorts á dílum. Mýndunin er nokkuð lagskipt. Efst liggur túffkennt setlag ofan á þremur basaltlögum, sem mögulega eru hraunlög. Neðan þess kemur í ríkjandi túff, allt niður á 173 m. Þaðan og niður á botn myndunarinnar er fínkristallað þóleiít ríkjandi ásamt þunnu móbergsseti.

Móbergsmýndun-3 199-247 m. Innan þessarar rúmlega 50 m þykku móbergsmýndunar eru þrjú vel kristölluð basaltlög, samkynja móberginu, en að öðru leyti er móbergið aðallega gert úr glerkenndu mjög þoróttu (gleypnu) túffi. Berggerðin er samkvæmt svarfgreiningu og þunnsneiðagreiningu ólivín þóleiít.

Móbergsmýndun-4 247-290 m. Þetta móberg sker sig frá nærliggjandi myndunum sökum þess hve plagíóklasdílótt það er. Gammamælingin sýnir einnig greinilegar breytingar bæði við efri og neðri skil myndunarinnar. Líklegast er móbergið af þóleiítssamsetningu.

Móbergsmýndun-5 290-340 m. Þetta móberg, sem er alls um 50 m þykkt, er tvískipt. Efri hlutinn er gerður úr túffi en sá neðri er glerjað basalt sem gæti vel túlkast sem bólstrabergsmýndun. Berggerðin er talin vera þóleiít, stak-plagíóklasdílótt, og má sjá straumstefnu út frá plagíóklaslistum (flow structure). Móbergið skilur sig nokkuð áberandi frá myndunum fyrir ofan og neðan í gamma-mælingunni, þar sem gildin eru mun hærri.

Móbergsmýndun-6 340-437 m. Þetta móberg er þóleiít og samanstendur að mestum hluta af túffi, en inn í það túff fleygast þrjú basaltlög. Þessi basaltlög eru fremur þétt í sér og virðast vera samkynja móberginu, líklegast basalteitlar.

Hraunlagamyndun-1 437-826 m. Þessi hraunlagamyndun (um 375 m þykk) er sú fyrsta í holunni sem með nokkru öryggi telst vera mynduð á hlýskeiði. Alls greindust 28 hraunlög og er meðalþykkt þeirra um 9 m. Sjö hraunlaganna teljast nokkuð örugglega vera ólivín þóleiít en önnur

teljast vera af þóleiít gerð. Túfflög eru tæplega 20% af jarðlögum, og hafa þau breytilega þykkt, allt frá um 2 m upp í 25 m, en meðalþykkt þeirra er um 8 m. Þótt setlagæinkenni séu ekki til staðar í nema nokkrum þeirra, teljast þau til setlaga, sem líklegast hafa rofist úr nærliggjandi móbergsmýndunum. Þau virðast vera algengari í efri hluta myndunarinnar, eða niður á um 583 m dýpi. Neðan þess dýpis er aðeins eitt meiriháttar setlag, þ.e. frá 693-718 m. Innskotsbergi, sem er tæplega 20% af jarðlögum þessa dýptarbils verða gerð skil síðar.

Móbergsmýndun-7 826-940 m. Móbergsmýndunin, sem er 114 m þykk, er þrískipt: Niður á 860 m er mjög blöðrótt túff ríkjandi. Innan þess koma fyrir þunn lög af basaltbreksíu. Frá 860 m niður á 933 m er lagskipt settúff ráðandi, sem skv. þunnsneiðagreiningu er mjög gropið, og eru porurnar aðeins hálfylltar af útfellingum. Neðst í móbergsmýnduninni er um 5 m þykkt mjög blöðrótt basaltbreksíulag. Innskotsberg er tæplega 20% af mýnduninni. Samsetning móbergisins er fremur óræð.

Hraunlagamýndun-2 940-1177 m. Innan þessarar 237 m þykku hraunlagasyrpu eru allt að 27 hraunlög, og er þóleiít ríkjandi ofan við 1085 m en þótt hraunlög neðan þess kallist einnig þóleiít eru þau einkenni ekki eins ráðandi. Meðalþykkt þeirra hraunlaga, þar sem þykkt var einsýn, er tæpir 7 m. Aðeins eru tvö óveruleg túffsetlög, og sýnir það nærðra áberandi seteinkenni. Innskot eru tæplega 20% af þessari myndun.

Móbergsmýndun-8 1177-1227 m. Móbergsmýndun þessi er alls um 50 m þykk og skiptist í tvo hluta. Efstu 40 m eru mjög blöðrótt móbergstúff en neðan þess er 10m þykkt basaltbreksíulag. Mýndunin er líklegast af þóleiít samsetningu. Innskotsberg er um 15% berglaga á þessu dýptarbili.

Hraunlagamýndun-3 1227-1448 m. Þessari myndun er skipt upp í tvo hluta á grundvelli breytileika í fjölda túffmillilaga:

- A. Á dýptarbilinu 1227-1348 m eru allt að 12 hraunlög, þar af 2 sem teljast vera ólivín þóleiít, 4 þóleiít og 6 hraunlög sem erfitt var að meta í hvorum hópnum ættu að vera. Meðalþykkt hraunlaganna er um 6 m. Fjögur túff eða móbergsbreksíulög fleygast inn á milli, öll <10 m að þykkt og hafa tæpa 6 m meðalþykkt. Innskot í þessum hluta holunnar eru þrjú.
- B. Frá 1348 niður á 1448 m dýpi eru a.m.k. 11 hraunlög, þar af 6 þóleiít og eitt ólivín þóleiít. Meðalþykkt hraunlaga er mun meiri en fyrir ofan eða um 9 m. Túff millilög eru einnig mun sjaldgæfari, aðeins tvö; annað 1 m og hitt 5 m þykkt. Innskot eru engin á þessu dýptarbili.

Móbergsmýndun-9 1448-1513 m. Móbergið er um 65 m þykkt, nokkuð greinilega lagskipt þar sem skiptast á glertúff, basaltbreksía og glerjað basalt, allt mjög blöðrótt. Tvö innskot fleyga myndunina.

Hraunlagamyndun-4 1513-1553 m. Neðri mörk þessarar myndunar eru óvissu háð vegna þess að innskot byrgja útsýni til upphleðslueininga. Á þessu bili greinast allt að fimm hraunlög og eitt 2 m þykkt túff millilag.

Móbergs- og hraunlagamyndun 1745-2000 m. Á þessu dýptarbili er meirihluti berglaganna, eða um 60%, talinn til innskotsbergs, en annað telst til upphleðslubergs, eða um 104 m. Það síðarnefnda kemur fram í holunni sundurslitið af innskotunum. Mestur hluti þessara berglaga er móbergstúff og eitthvað minna af basaltbreksíu. Neðan ca. 1845 m dýpis fer að gæta meira basaltlaga sem gætu sum hver verið hraunlög.

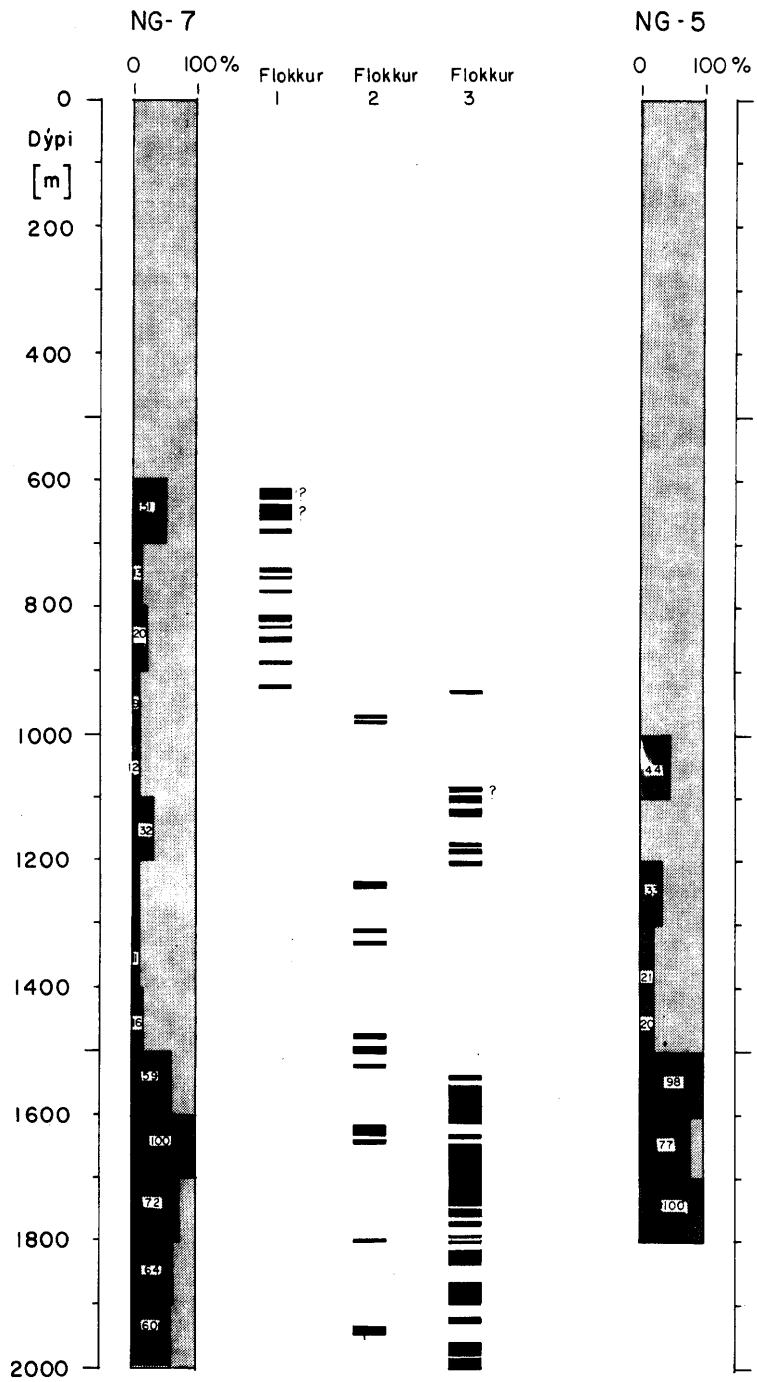
3.2 Innskot

Jarðlög sem talin eru til innskota eru merkt sérstaklega á jarðlagasniðið á mynd 4. Ekki er unnt í öllum tilvikum að gera upp á milli í svarfgreiningu hvort um innskot, hraunlög eða basalteitla í móbergi sé að ræða, og eru þau berglög sem vafi leikur á merkt sérstaklega. Í viðauka er helstu einkennum innskotsbergs lýst.

Alls fundust 59 berglög sem teljast innskot og er samanlögð þykkt þeirra í holunni rétt rúmir 500 m (um 25% af berglögum holunnar). Dreifing innskotanna eru sýnd á myndum 4 og 6. Á síðartöldu myndinni er sýnt hlutfall (%) innskota í berglagastaflanum innan hvers 100 m dýptarbils í holunni.

Á þeim grundvelli er unnt að skipta holunni í þrjá hluta: Í efstu 600 m verður ekki vart við nein innskot. Frá 600 m niður á 1500 m eru innskot yfirleitt 9-20% bergstafans, þó að undanteknum dýptarbilunum 600-700 m og 1100-1200 m þar sem hlutfallið er nokkuð hærra (32 og 51%). Neðan 1500 m verður mjög greinileg aukning í innskotum frá því að vera um 20% berglagastafans fyrir ofan (600-1500 m) yfir í að vera rúm 70%. Mynd 5 sýnir skiptingu innskotanna í þrjá flokka. Sú skipting er grundvölluð á bergfræðilegum gögnum og borholumælingum.

JHD-BJ-8715 HF,
85.01.0036 AA



NESJAVELLIR

Dreifing innskota í NG-7, skipting þeirra
og samanburður við dreifingu innskota í NG-5

Það berg sem kallað er diórít gefur í gammamælingu mjög breytilegt kísilsýrumagn eða frá 52% upp í 65%. Eitt sterkt sérkenni þessara innskota er fremur áberandi apatít kristalnálar í grunnmassa bergsins, en auk þess sýna þau eins og áður sagði sérkennilega ummyndun. Breytileg gammageislun bergsins er því skýrð með tilfærslu K og Th á þeim tíma sem jarðhitamyndun átti sér stað.

3.2.3 Önnur innskot

Í þessum flokki eru öll önnur innskotslög sem ekki tilheyra 1 og 2, alls 38 lög. Þessi lög hafa 1-27 m sýndarþykkt og meðalsýndarþykkt tæpa 10 m. Tæpur helmingur (16) þessara innskotslaga teljast til þóleiít basalts en afgangurinn (21) til óræðrar basalttegundar (ólivín þóleiít - þóleiít). Aðeins eitt dæmigert dílótt basaltinnskot fannst. Eins og sýnt er á mynd 5, koma þessi innskot einkum fyrir á tveimur dýptarbilum, annars vegar milli 1080 og 1210 m dýpis og svo neðan 1535 m dýpis.

3.2.4 Samanburður á innskotapéttleika í NG-7 og NG-5

Nákvæman samanburður á innskotum í NG-7 og NG-5 er ekki unnt að gera, bæði vegna þess að meiri vinna var lögð í greiningu í NG-7 en í NG-5 og einnig hins að borholumælingar eru ekki til úr holu NG-5.

Á mynd 5 er sýndur samanburður á innskotapéttleika á milli NG-7 og NG-5. Göngin úr NG-5 eru fengin úr skýrslu Jens Tómassonar o.fl. 1974 en þau voru að einhverju leyti endurmetin. Á um 1500 m dýpi í holu NG-5, á líku dýpi og í NG-7, verður mjög skörp breyting í hlutfalli innskota í NG-5. Samkvæmt berglýsingu virðist þó sá munur vera á milli holanna að innskotin í NG-5 eru mun ferskari, auk þess að vera í þykkari einingum.

Aðeins í fáum tilfellum (t.d. í innskotum í 600-1130 m) er á grundvelli svarfgreininga unnt að geta sér til um halla innskota. Sú skarpa aukning innskota sem að ofan er getið gæti bent til að innskot neðan 1500 m séu yfirleitt fremur hallalítill. Áhugavert væri þó að fylgjast með hvort svipuð aukning verður á innskotum á öðrum stöðum Nesjavallasvæðisins.

3.3 Poruhluti

Poruhluti bergs var mældur með nifteindadreifingu. Þessari mæliaðferð er lýst í viðauka V.1.2. í skýrslu um holu NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Á mynd 4 er útreiknaður poruhluti í holunni sýndur sem fall af dýpi. Poruhluti er á bilinu 0-40% og meðaltalið er 17,7% reiknað fyrir dýptarbilið 180-1688 m. Ekki var unnt að taka með neðsta hluta holunnar þar sem víddarmæling náði aðeins niður í 1688 m. Mynd 8 sýnir dreifingu poruhluta í allri holunni, dýptarbil 180-1688 m. Mynd 9 sýnir hins vegar poruhluta í mismunandi bergtegundum. Þar kemur fram að meðalgildi poruhluta er eftirfarandi:

Bergtegund	Poruhluti meðaltal
Móberg	22,6 %
Basalt	15,2 %
Innskot	16,5 %
Ísúrt berg	18,7 %

Móbergið hefur að meðaltali hæstan poruhluta (22,6 %) en meðaltalsporuhluti hinna bergtegundanna er mjög svipaður.

Poruhlutadreifing í móbergi sýnir tvo toppa (hágildi við 18% og við 23%) og poruhlutadreifing innskota sýnir þrjá toppa (hágildi við 5%, 13% og 21%). Poruhluti í basalti og í súru bergi er á hinn bóginn aðeins með einu hágildi. Poruhluti í móbergi og innskotum var skoðaður sérstaklega. Móbergi var skipt í þrjár einingar:

Túff

Basaltríka breksíu

Glerjað basalt.

Poruhluti í þessum einingum er sýndur á mynd 10. Túff reyndist vera um 75% af móberginu og reyndist poruhlutií því svipaður og í öllu móberginu. Meðaltal poruhluta í túffi er 22,8% en hágildi toppanna við 17 og 23%.

Poruhluti í basaltríkri breksíu er að meðaltali 18% og hágildi við 19%. Sérstakur toppur með hágildi 5% kemur einnig fram í poruhlutadreifingu breksíunnar. Ekki er auðvelt að skýra það frá jarðfræðilegu sjónarhorni. Poruhluti í glerjuðu basalti er að meðaltali 25%, sem er hæsta gildið í móberginu. Poruhluti í móbergi skiptist því þannig:

Berggerð	Hluti af móbergi %	Meðal- poruhluti %
Túff	75	23
Basaltrík breksía	13	18
Glerjað Basalt	12	25
Móberg	100	23

Til samanburðar við poruhluta í móbergi var einnig skoðaður poruhluti í túffsetum og basalhraunum. Poruhluti í þessum berggerðum er sýndur á mynd 11. Poruhluti í basalhraunum er fremur lítill að meðaltali 14,6% en poruhluti í túffsetum er mjög dreifður, á bilinu 2-34%. Sérstök hágildi koma fram við 9, 19, 23 og 31% poruhluta. Þar sem túffset er nálægt því að vera 50% af túffi eru mælingarnar það margar að 3 toppar í dreifingunni eru örugglega marktækir og jafnvel 4 toppar. Nánari skýringar á tilvist þessara mörgu toppa í túffseti liggja ekki fyrir.

Við athugun á poruhluta innskota var þeim skipt í fjóra flokka.

- Innskot á dýptarbili 600-950 m. Sbr. flokk 1 á mynd 5.
- Basaltinnskot. Sbr. flokk 3 á mynd 5.
- Ferskleg fínkorna ísúr innskot. Í flokki 2 á mynd 5.
- Grófkorna ísúr innskot. Í flokki 2 á mynd 5.

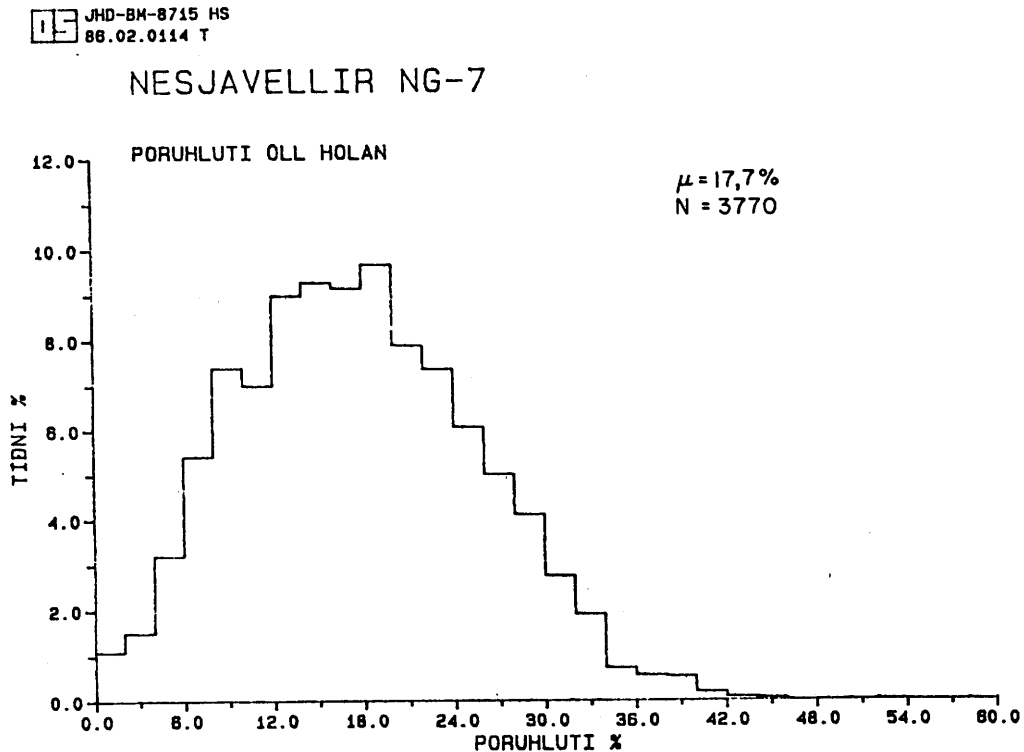
Poruhluti er sýndur á mynd 12. Poruhluti er nokkuð jafn í efstu innskotunum (dýptarbil 600-950 m) með meðaltalsporuhluta 10%. Tvö hágildi koma fram; 9 og 13% en líklega er ekki marktækur munur á þeim toppum. Basaltinnskotin, mynd 12 b, hafa þrjú greinileg hágildi (5, 13 og 21%) í poruhlutadreifingu. Meðalporuhluti basaltinnskota er þó 17%.

Fersku ísúru innskotin eru með tvö hágildi í poruhluta við 13 og 21%, og meðaltal poruhluta er 17%. Í poruhluta grófkorna ísúr innskota má greina þrjá toppa við 11, 17 og 25%. Meðalgildi poruhluta er 17%. Basaltinnskotum var einnig skipt í fínkorna og grófkorna flokk. Poruhluti þeirra flokka er sýndur á mynd 13. Með þeirri skiptingu fæst fram að einungis tveir toppar í poruhluta koma fram í hvorum flokki á meðan heildardreifingin er með þrjá toppa, mynd 12b. Toppurinn með 21% poruhluta er sameiginlegur í báðum flokkunum, en neðri topparnir eru við 5% í fínkorna basaltinnskotum, en við 13% í grófkorna basaltinnskotum. Tafla 1 sýnir poruhluta í mismunandi innskotagerðum.

Það er eftirtektarvert að poruhluti í innskotabergi sýnir yfirleitt tvo eða fleiri toppa (hágildi), og sú skipting sem hér hefur verið notuð þ.e. basalt - ísúrt og fínkorna - grófkorna, leysir ekki upp þessa tvískiptingu sem poruhlutamæling virðist sjá í berginu. Til samanburðar er það líka eftirtektarvert að poruhlutadreifing í allri holunni (mynd 9a) sýnir ekki marktæka skiptingu í dreifingunni.

Tafla 1 Poruhluti í mismunandi innskotagerðum

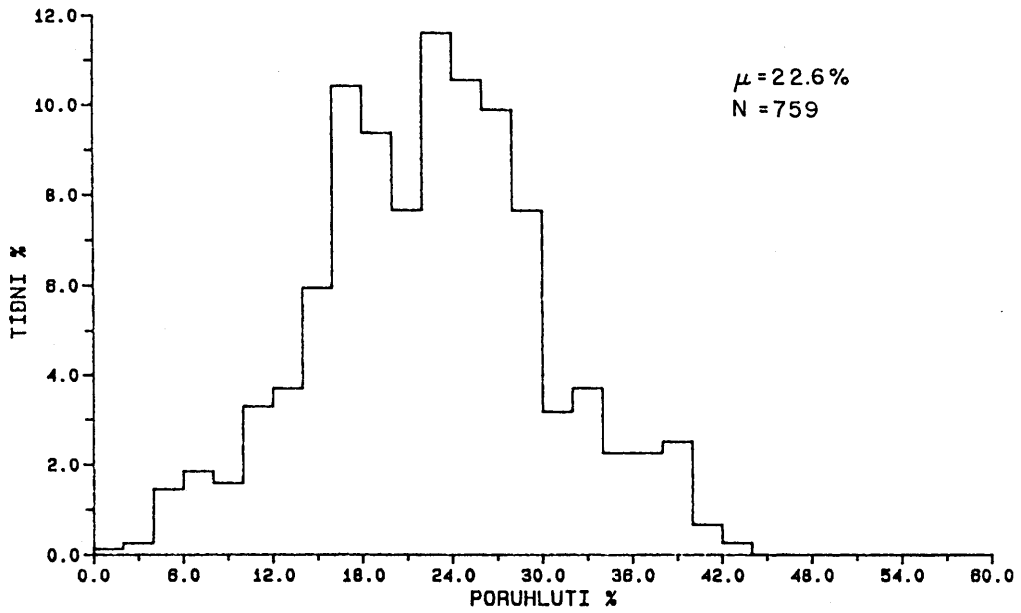
Gerð innskota	Hágilda í poruhluta %	Meðaltal poruhluta %
Basalt á 600-950 m	9, 13	10
Basalt fínkorna	5, 21	15
Basalt grófkorna	13, 21	18
Ísúr fersk	13, 21	17
Ísúr grófkorna	11, 17, 25	17



MYND 8 Poruhluti á bilinu 180 - 1688 m

JHD-BM-8715 HS
88.02.0115 T

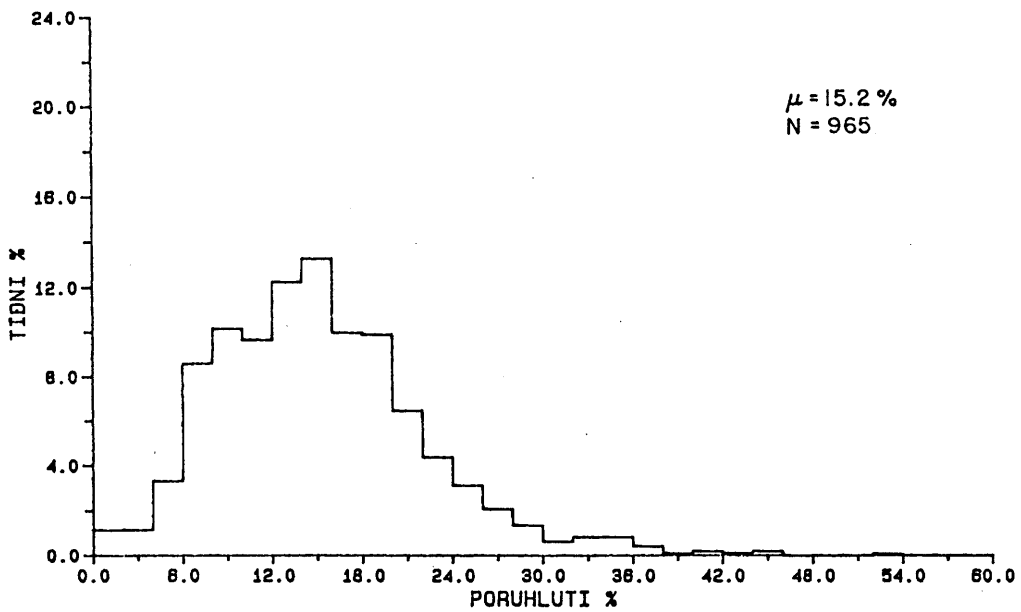
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í MÓBERGI



MYND 9 a) Poruhlosti í móbergi

JHD-BM-8715 HS
88.02.0115 T

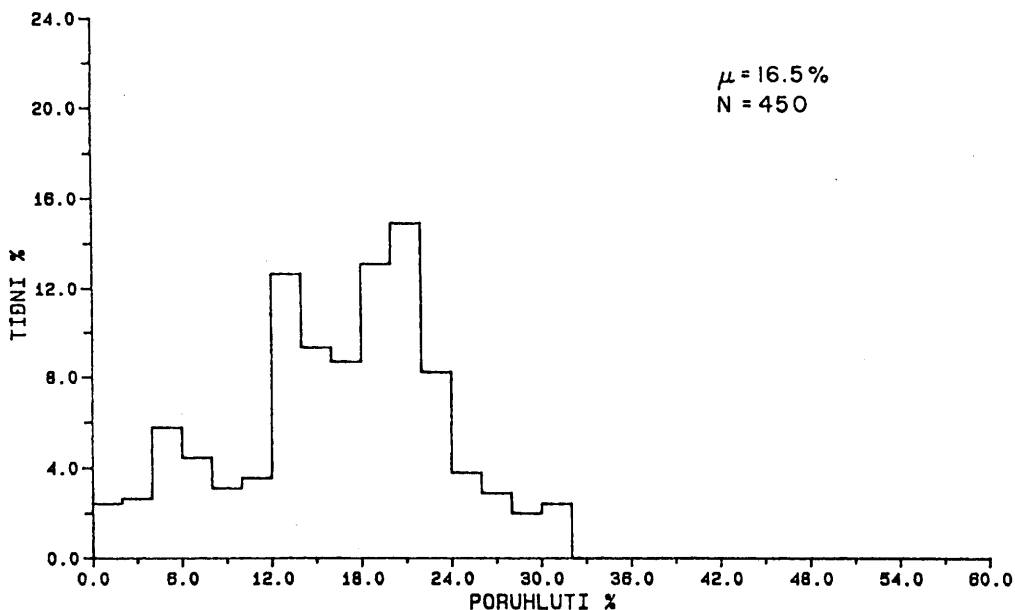
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í BASALTI



MYND 9 b) Poruhlosti í basalti

JHD-BM-8715 HS
86.02.0115 T

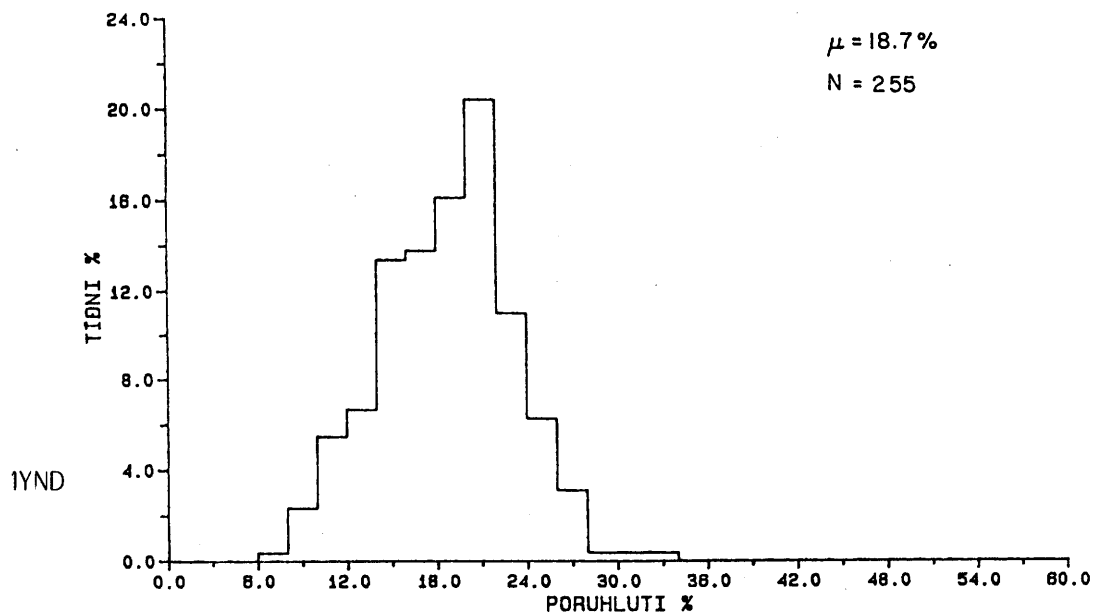
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í INNSKOTUM



MYND 9 c) Poruhlutí í innskotum

JHD-BM-8715 HS
86.02.0115 T

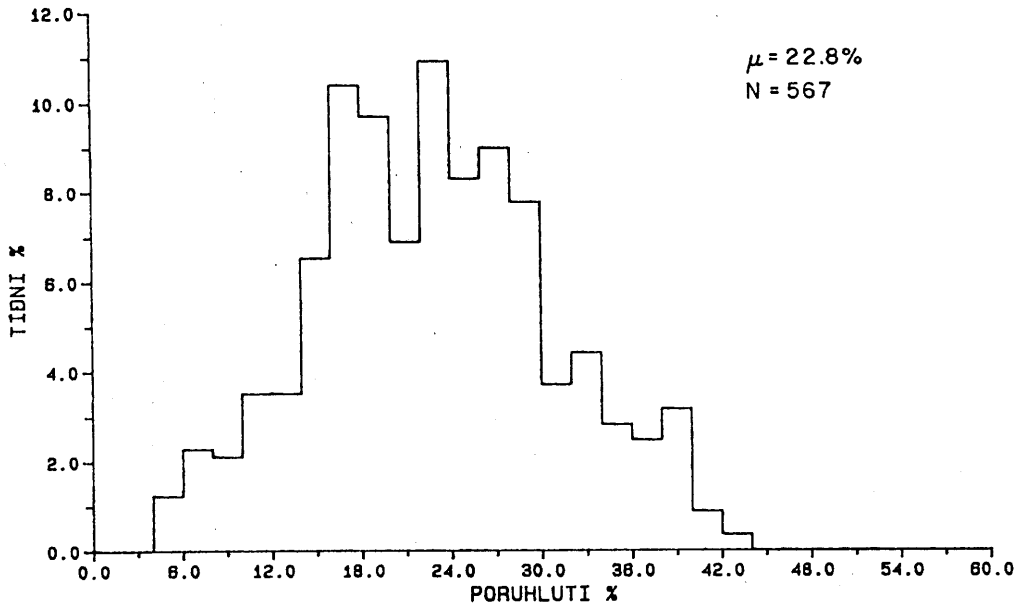
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í ÍSÚRU BERGI



MYND 9 d) Poruhlutí í ísúru bergi

JHD-BM-8715 HS
88.02.0118 T

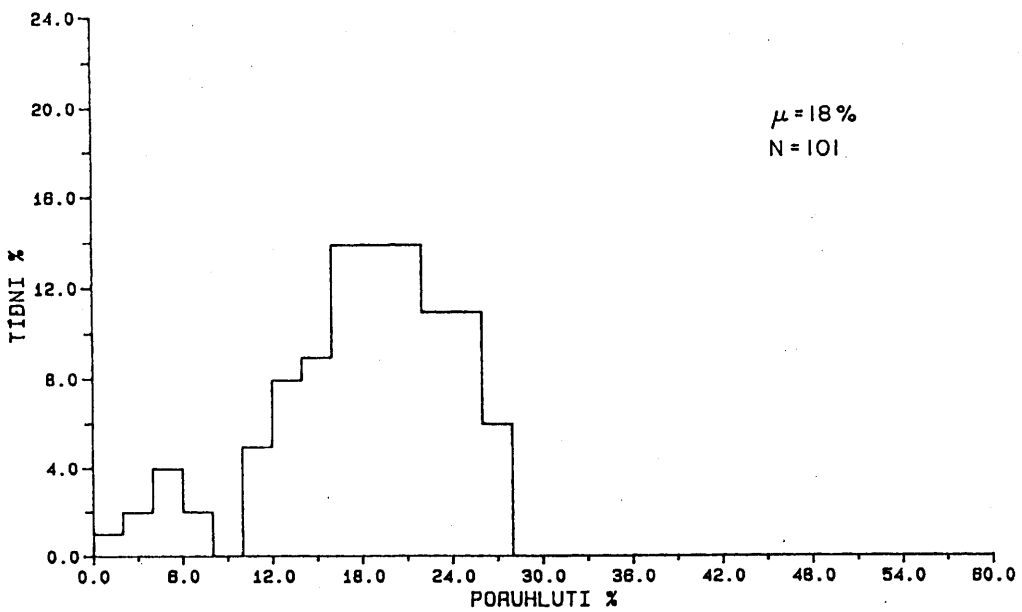
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í TÚFFI



MYND 10 a) Poruhluti í túffi

JHD-BM-8715 HS
88.02.0118 T

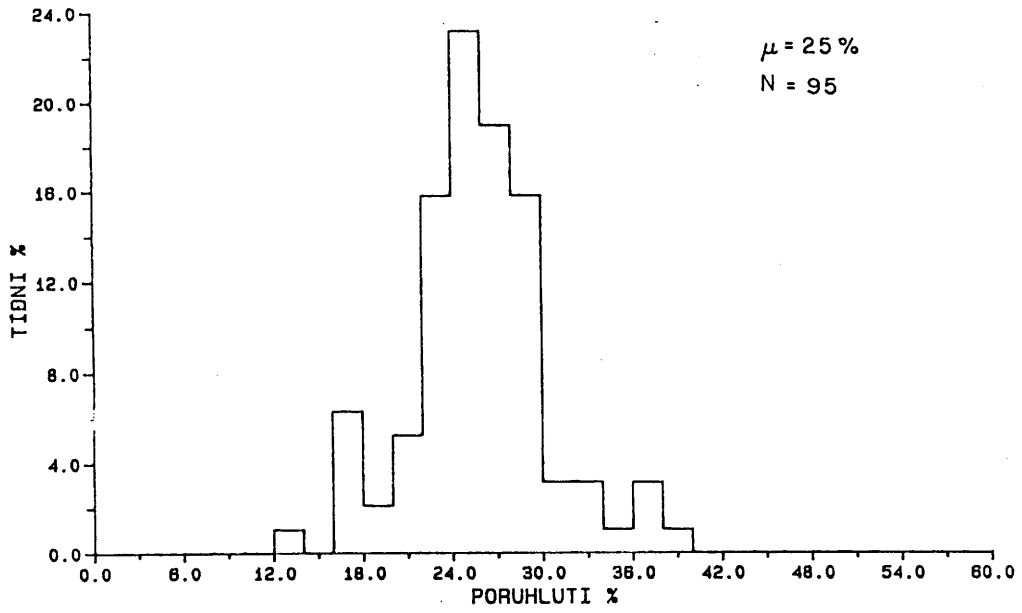
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í BAS.BREKSÍU



MYND 10 b) Poruhluti í basaltríkri breksíu

JHD-8M-8715 HS
86.02.0116 T

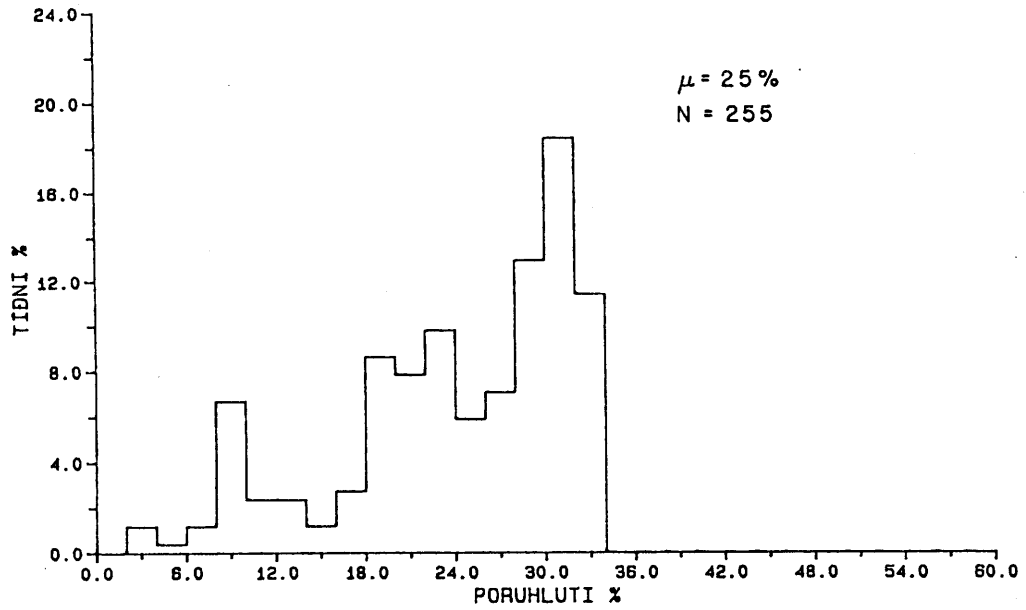
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í GLER.BASALTI



MYND 10 c) poruhluti í glerjuðu bergi

JHD-BM-8715 HS
88.02.0117 T

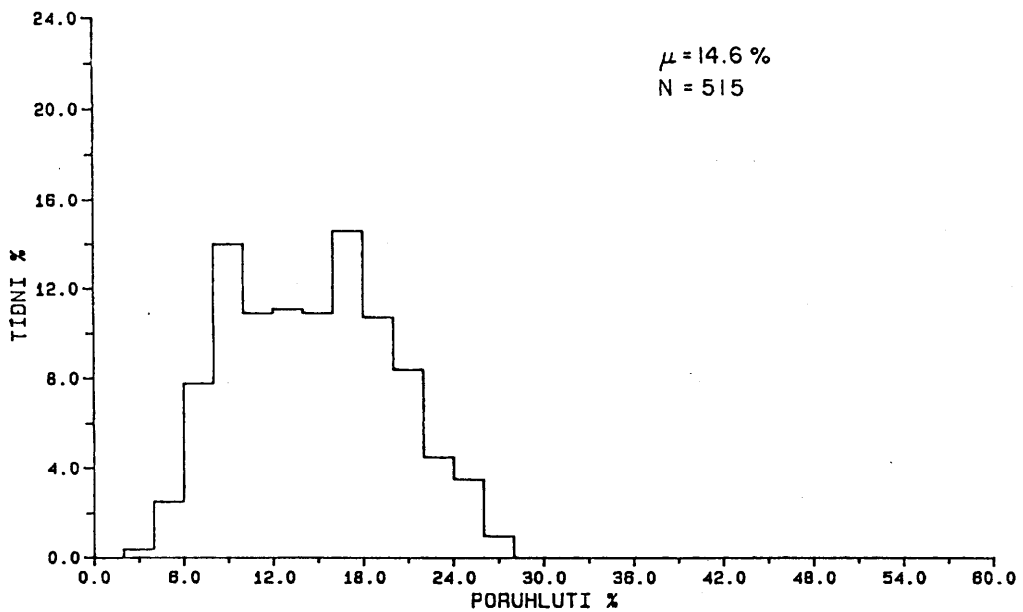
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í TÚFFSETI



MYND 11 a) Þoruhluti í túffsetum

JHD-BM-8715 HS
88.02.0117 T

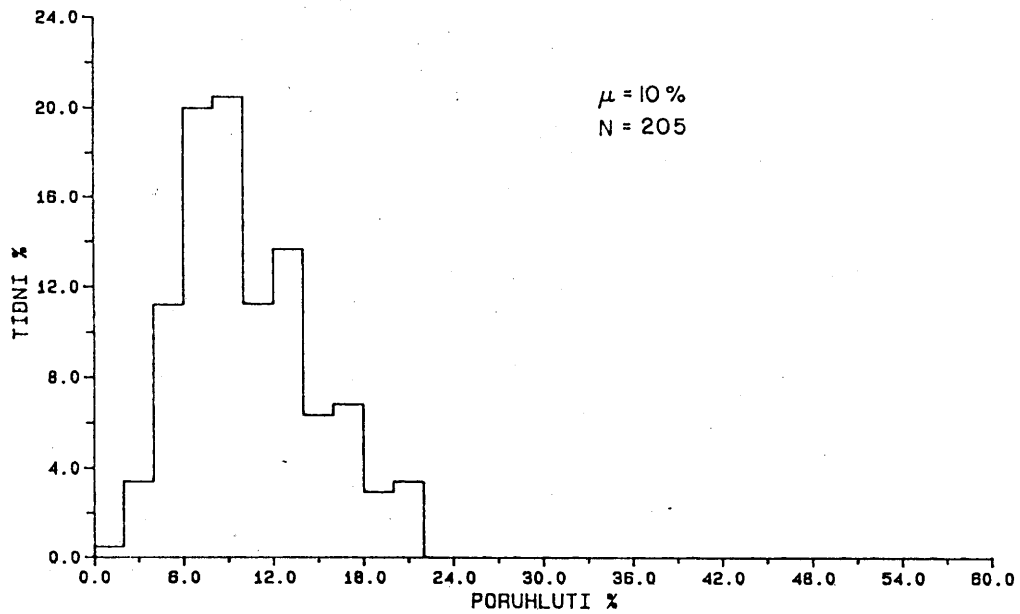
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í BASALTHRAUNUM



MYND 11 b) Þoruhluti í túffsetum og basalthraunum

JHD-BM-8715 HS
88.02.0118 T

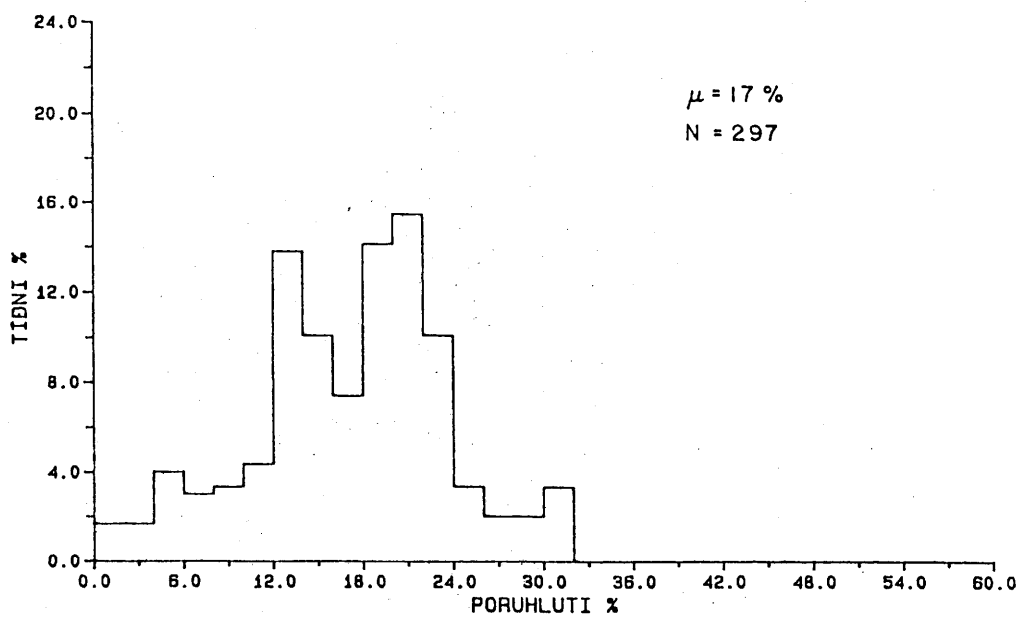
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í INNSKOTUM



MYND 12 a) Poruhlutí í innskotum. Innskot á dýptarbili 600-950 m

JHD-BM-8715 HS
88.02.0118 T

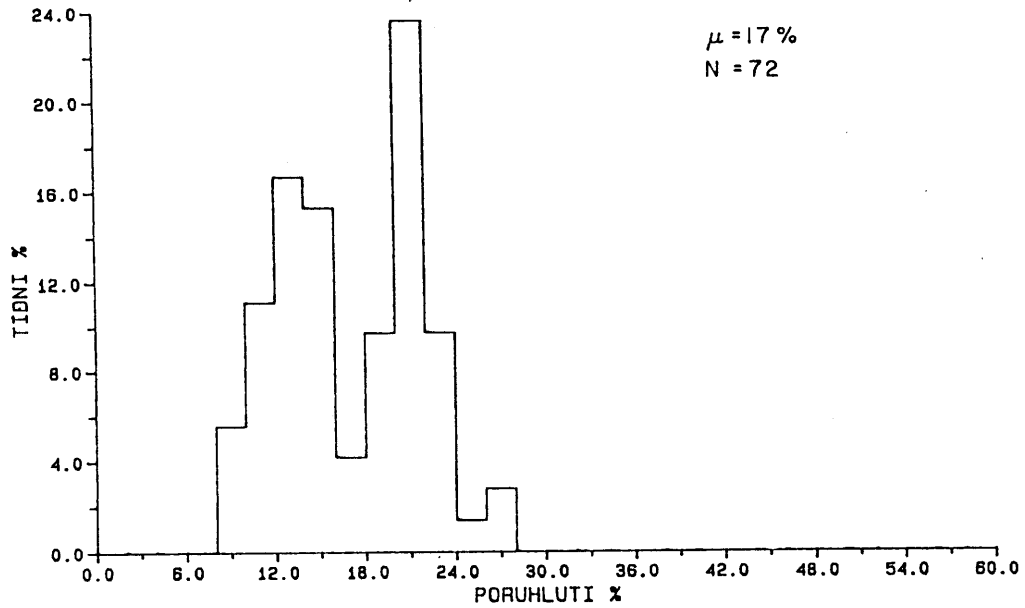
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í INNSKOTUM



MYND 12 b) Poruhlutí í innskotum. Önnur basaltinnskot, sbr. 3.2.3

JHD-BM-8715 HS
86.02.0118 T

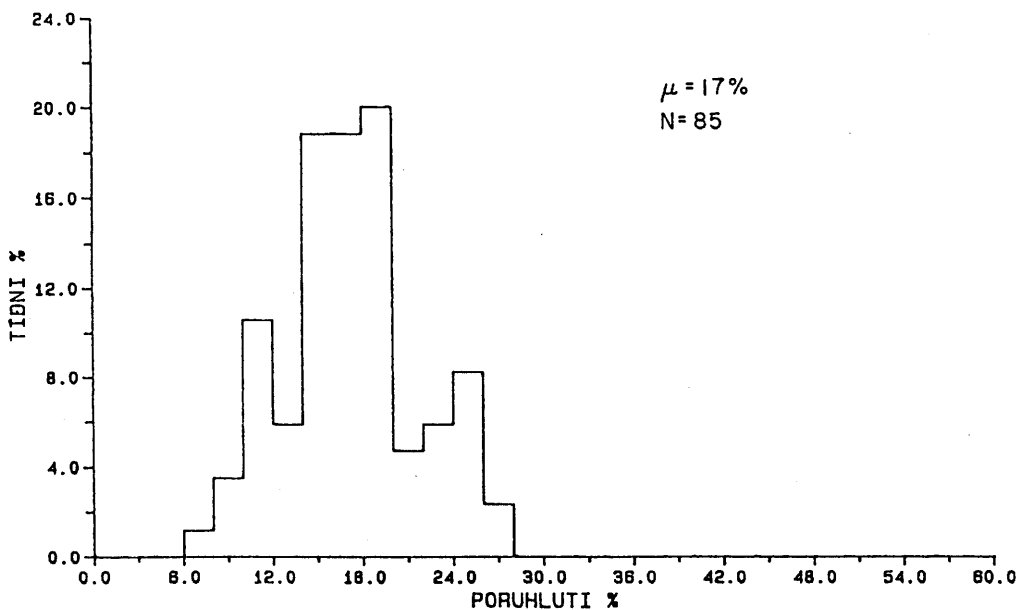
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í INNSKOTUM



MYND 12 c) Poruhluti í innskotum. Ferskleg ísúr innskot

JHD-BM-8715 HS
86.02.0118 T

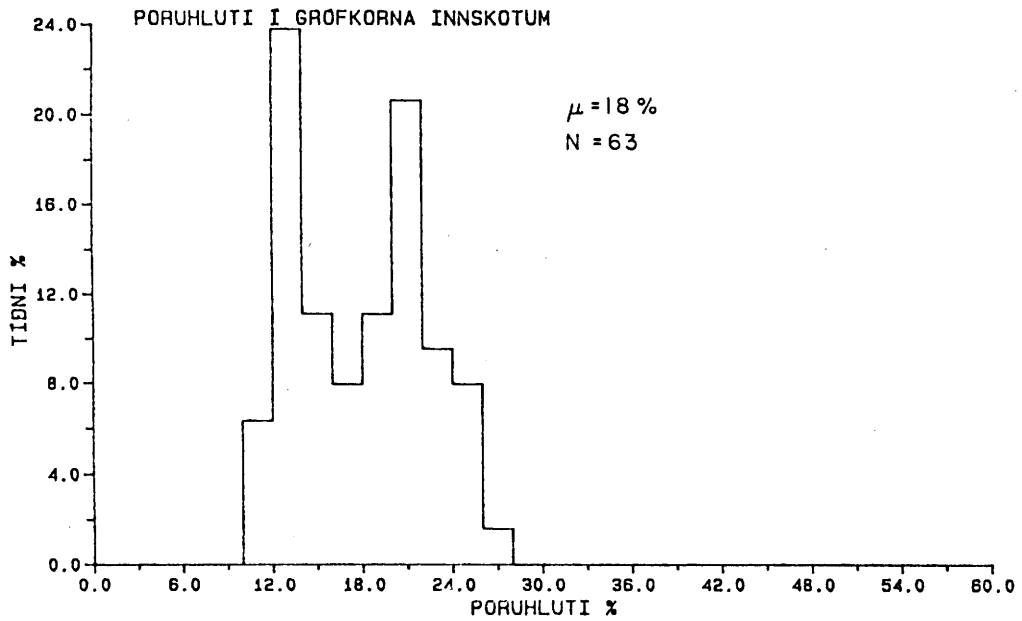
NESJAVELLIR NG-7 PORUHLUTI Í INNSKOTUM



MYND 12 d) Poruhluti í innskotum. Grófkorna ísúr innskot

JHD-BM-8715 HS
88.02.0119 T

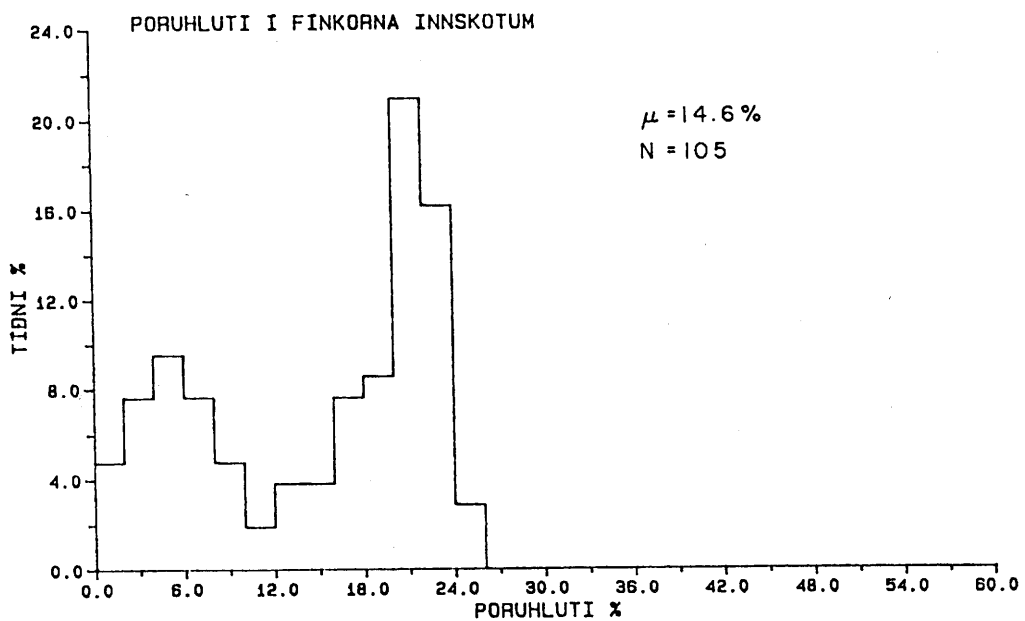
NESJAVELLIR NG-7



MYND 13 a) Poruhluti í fínkorna basaltinnskotum

JHD-BM-8715 HS
88.02.0119 T

NESJAVELLIR NG-7



MYND 13 b) Poruhluti í grófkorna basaltinnskotum

3.4 Viðnám bergs

Viðnámsmælingar voru gerðar á hefðbundinn hátt með 16" og 64" skautabili. Mæliaðferð er lýst í viðauka V.1.2 í skýrslu um holu NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Vegna lélegs jarðsambands náðist ekki nægilega góð 64" mæling úr vinnsluhluta holunnar að nota megi til útreikninga á viðnámi bergsins. Viðnám sem fall af dýpi er sýnt á mynd 4, en mynd 14 sýnir síuð viðnámsgildi (hlaupandi meðaltal á 50 m) sem fall af dýpi. Í hraunlagamyndun 1 og móbergsmýndun 7 (dýptarbil 437-940 m) er viðnám mjög lágt, en hækkar strax og kemur í hraunlagamyndun 2 og fer síðan stighækkandi með dýpi. Fljótt á litið virðist innskotatíðnin ekki stjórna því meðaltalsviðnámi sem sýnt er á mynd 14.

Gerður var grófur samanburður á viðnámi og ummyndun í berginu. Berglög ofan um 400 m dýpis eru mjög fersk, en neðan þess verður leirumyndun glersins /og ólivíns áberandi (mynd 21). Á 850-950 m dýpi verða fremur skörp ummyndunarskil þar sem klórít verður ráðandi leirsteind í efri mörkum þess dýptarbils og epidót á um 950 m dýpi. Mun fleiri breytingar verða í ummyndun á þessu dýpi eins og best sést á mynd 19. Þessi gögn gætu bent til þess að í holu NG-7 ráði ummyndunarmynstrið meira í breytingum á viðnámi en jarðlagaskipanin.

Breyting í viðnámi er mikil, eða frá 0,2 ohmm upp í 1200 ohmm, en meðalgildi fyrir alla holuna er um 80 ohmm. Vegna mikillar dreifingar er viðnámið sýnt á log skala. Mynd 15 sýnir viðnámsbreytingar í allri holunni. Dreifingin er tiltölulega einleit, en þó má greina tvo toppa við log $R = 0,9$ og log $R = 1,9$ eða við 8 og 80 ohmm. Á sama hátt og gert var með poruhluta þá var viðnámið skoðað í mismunandi berggerðum. Berginu er skipt upp í móberg, basalt, innskot og súrt berg. Viðnámsdreifing þessara bergtegunda er sýnd á mynd 16.

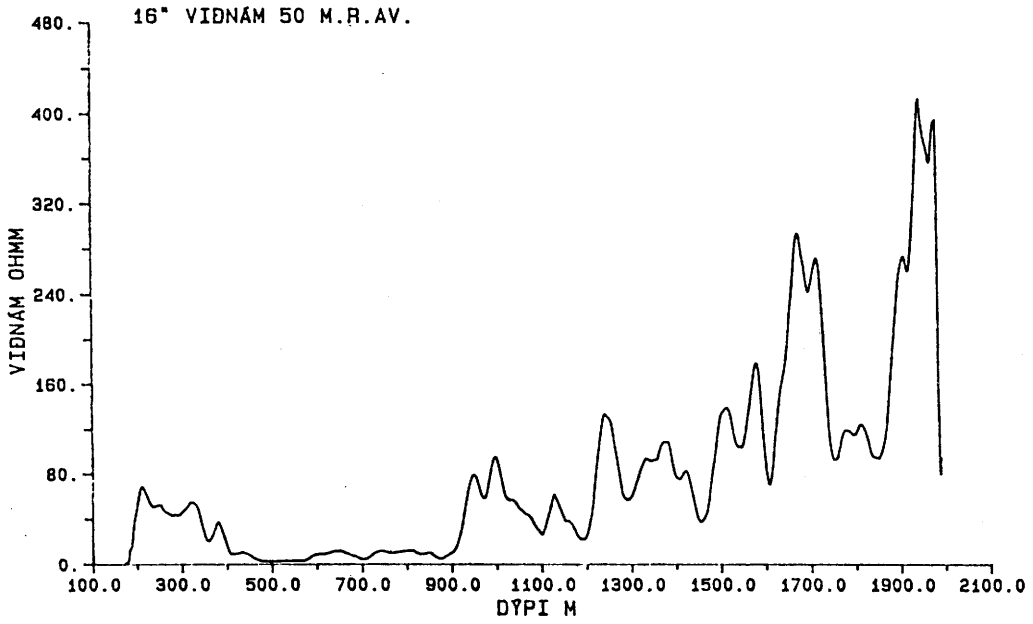
Í móbergi er viðnámið einleitt með meðalgildið $R = \pm 32$ ohmm. Viðnám í basalti sýnir tvo toppa með hágildi við log 1,0 og log 1,7 eða við 10 og 50 ohmm. Meðalgildið er það sama og í basalti eða $R = 35 \pm 36$ ohmm.

Viðnám í innskotum virðist sýna tvískiptingu. Annað hágildi er nálægt log 1,5 eða 30 ohmm en hitt við log 2,25 eða 180 ohmm. Meðalgildið er hins vegar $R = 137 \pm 121$ ohmm.

Viðnám í ísúru bergi er einleitt og er það tiltölulega hátt. Meðalgildið er $R = 191 \pm 116$ ohmm.

JHD-BM-8715 HS
88.02.0120 T

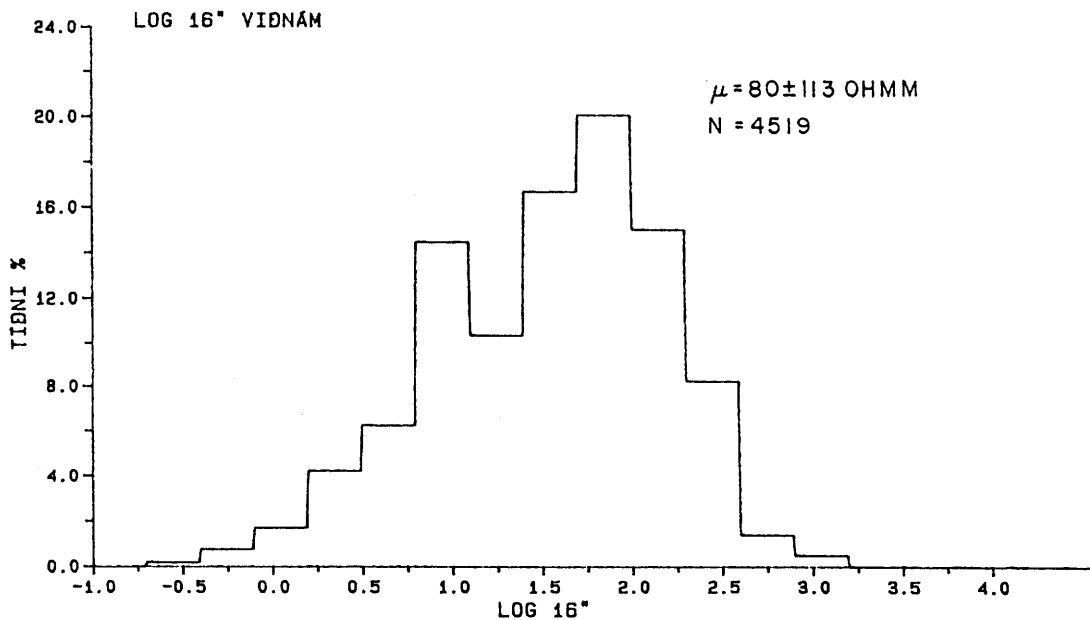
NESJAVELLIR NG-7



MYND 14 Hlaupandi meðaltal (50 m) af 16" viðnámi í NG-7

JHD-BM-8715 HS
88.02.0121 T

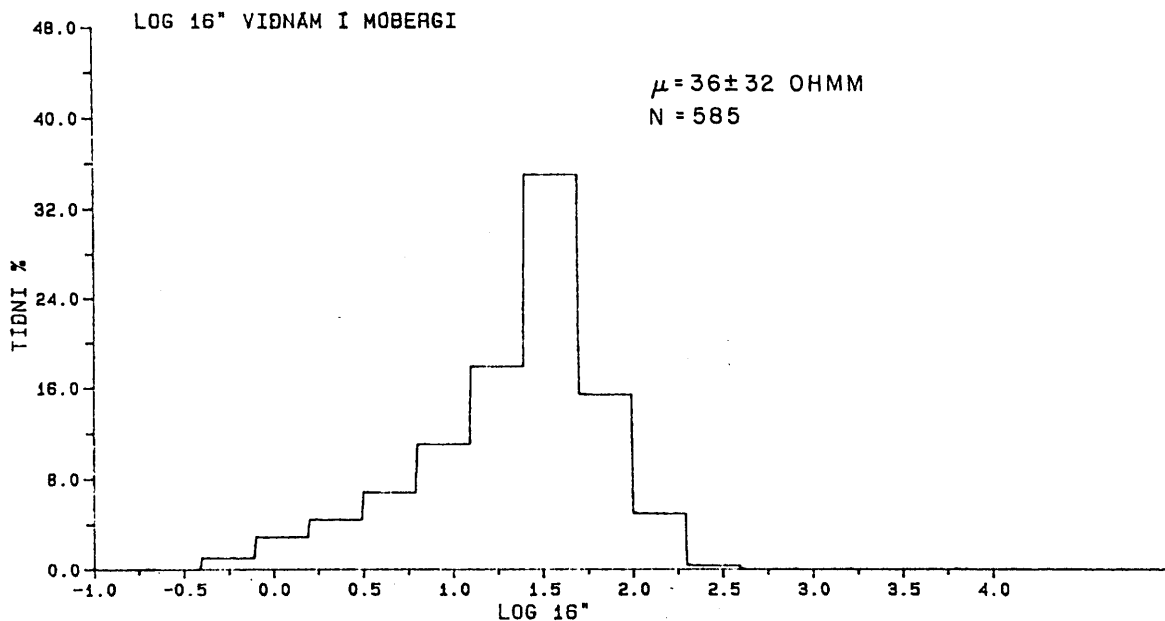
NESJAVELLIR NG-7



MYND 15 16" viðnám í allri holunni

JHD-8M-8715 HS
88.02.0122 T

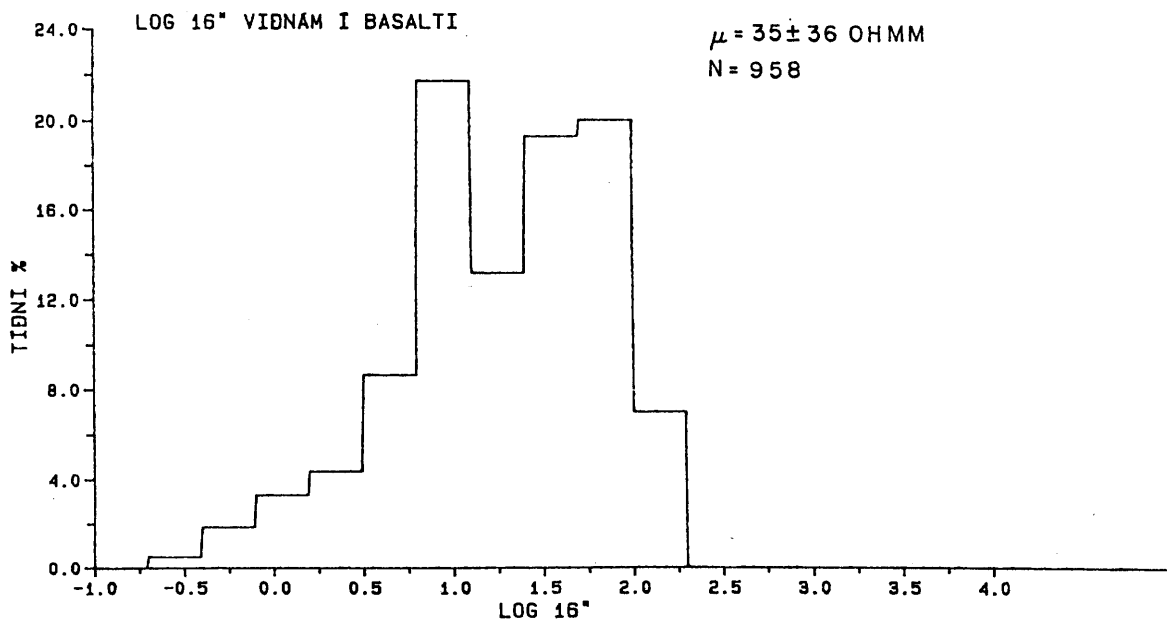
NESJAVELLIR NG-7



MYND 16 a) Viðnám í móbergi

JHD-8M-8715 HS
88.02.0122 T

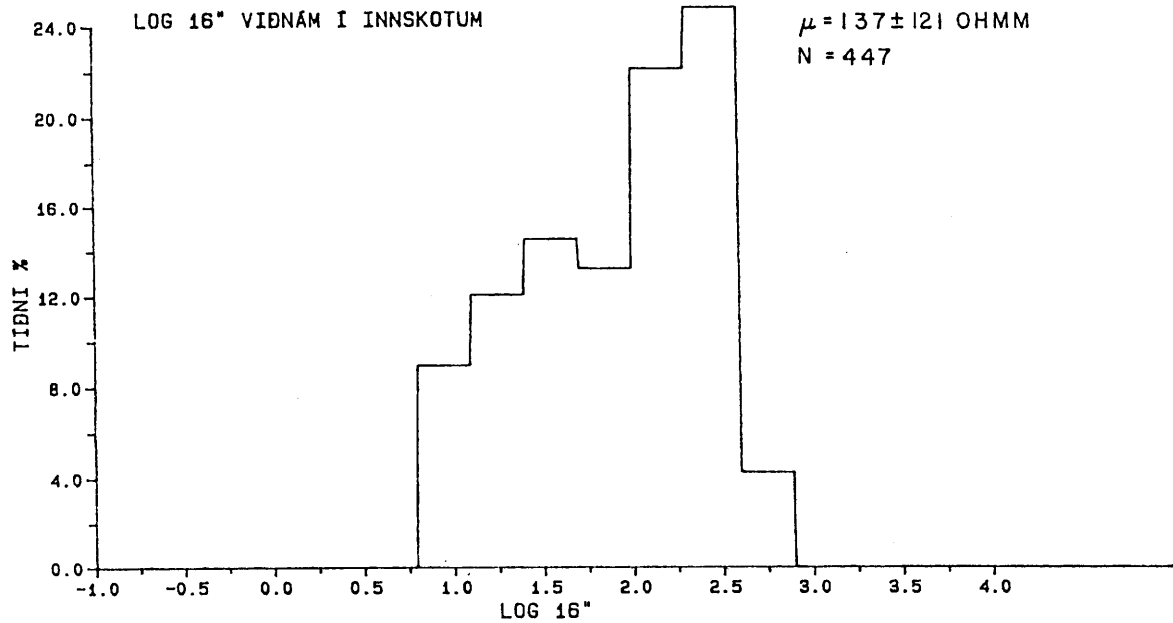
NESJAVELLIR NG-7



MYND 16 b) Viðnám í basalti

JHD-BM-8715 HS
88.02.0122 T

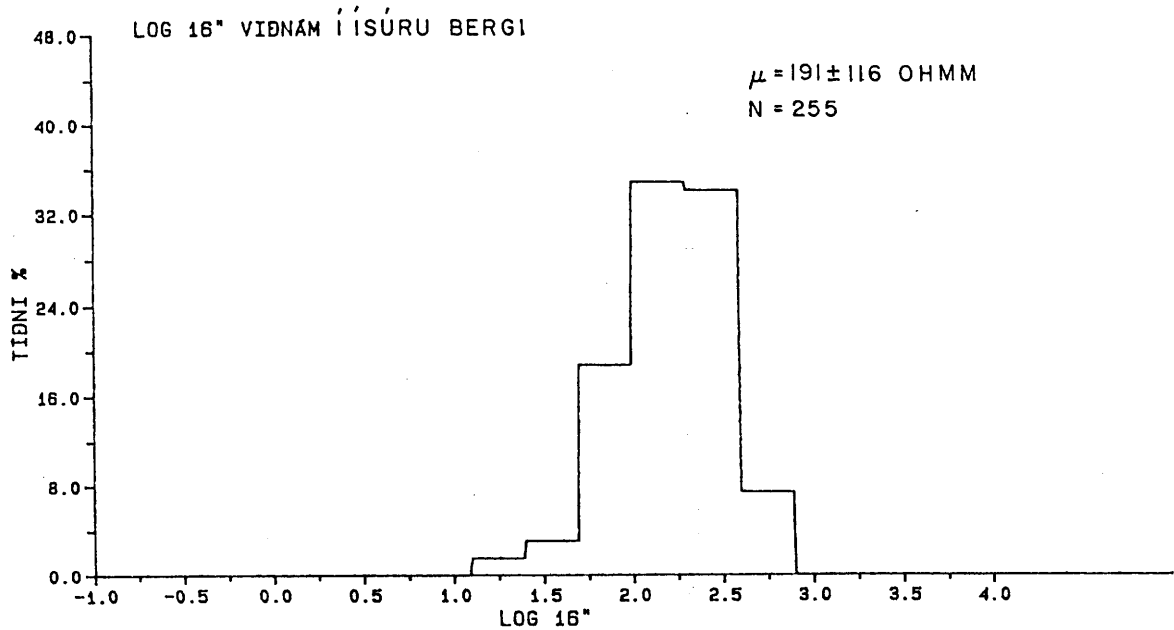
NESJAVELLIR NG-7



MYND 16 c) Viðnám í innskotum

JHD-BM-8715 HS
88.02.0122 T

NESJAVELLIR NG-7



MYND 16 d) Viðnám í ísúru bergi

Tafla 2 sýnir hágildi og meðalgildi viðnáms mismunandi berggerða í holunni. Ef borin eru saman meðalgildi á viðnámi og poruhluta í mismunandi berggerðum sést, að það er ekki einrætt samband á milli þessara stærða. Það er túlkað á þann veg að það sé fleira en vatnsmagn í bergi sem hefur áhrif á viðnámið.

Tafla 2 Viðnám í mismunandi berggerðum

Berggerð	Hágildi m	Meðalgildi m
Móberg	36	36
Basalt	10, 50	35
Innskot	30, 180	137
Súrt berg	191	191
Öll holan	8, 80	80

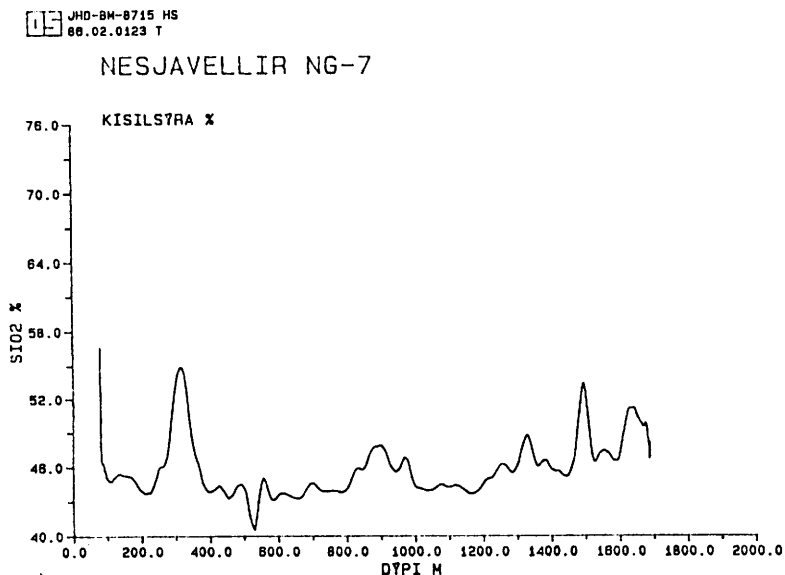
3.5 Kísilsýra í bergi

Mælingar á gammageislun frá berginu segja til um styrk K, U og Th í bergi. Þar sem bæði K og U hegða sér á svipaðan hátt og Si í bráðinni kviku er yfirleitt línulegt samband milli geislavirku efnanna K, U og Th annars vegar og SiO₂ hins vegar í kristölluðu bergi.

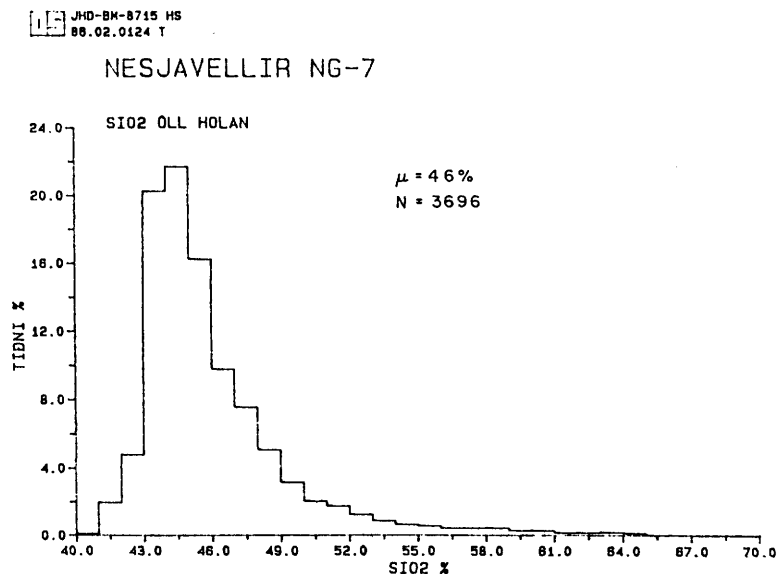
Fyrir íslenskt berg hefur fengist reynslusamband milli geislavirkni bergsins og styrks á SiO₂ í berginu. Er þetta línulegt samband, sem gildir nokkuð vel fyrir súrt og ísúrt berg, en skekkjumörkin eru nokkuð víð ef SiO₂ < 50%. Styrkur gammageislunar er því gefinn upp sem styrkur SiO₂ í berginu. Á mynd 5 er styrkur gammageislunarinnar (sem % SiO₂) sýndur sem fall af dýpi, en mynd 17 sýnir hlaupandi meðaltal þeirra mælinga sem fall af dýpi. Ekki er víst að þau gildi á SiO₂ sem gefin eru á myndum 5 og 17 sé óyggjandi rétt, en hlutfallsleg breyting í holunni er talin vera nálægt lagi.

Tíðnidreifing á styrk kísilsýru er sýnd á mynd 18. Dreifingin fyrir alla holuna (mynd 18a), sýnir að meginhluti bergsins er basískur og meðaltal SiO₂ er 46%. Ísúra bergið kemur fram sem hali á þessari dreifingu. Spönn SiO₂ er 40-65%. Meðalgildi á SiO₂ í ísúra berginu er 52% eða 6% hærra en meðalgildið fyrir alla holuna. Svo sem áður greinir eru þessi 6% í mismun talin nærri lagi, en meðalgildið 46% gæti verið heldur of lágt. Þau gildi, er sýnd eru á mynd 18b sem ísúrt berg samsvara þeim dýptarbilum sem ísúrt berg var greint í svarfi. Önnur aðferð getur verið að nota einungis gamma mælinguna til

að ákvarða magn af ísúru bergi. Mynd 18 d sýnir stækkaða mynd af halanum í dreifingunni á mynd 18a. Ef valið er ákveðið gildi á milli dreifingatoppa eins og sýnt er á mynd 18 d reiknast að súrt berg sé 5,5% af staflanum. Dreifing SiO_2 í innskotum (mynd 18c) sýnir tvo toppa, annan við $\text{SiO}_2 = 46\%$ hinn við $\text{SiO}_2 = 50\%$. Sú mynd segir einfaldlega það að innskot eru bæði súr og basísk. Hlutfallslega eru 92% af innskotum basalt en 8% af innskotum súrt eða ísúrt berg.



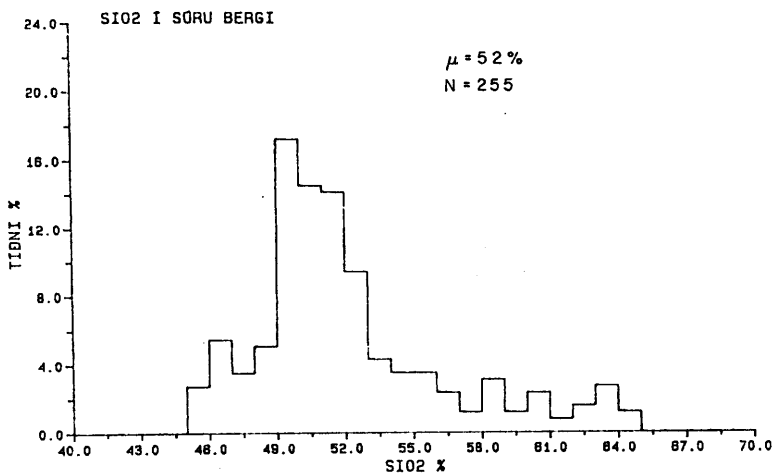
MYND 17 Hlaupandi meðaltal (50 m) af gamma geislun kvarðað á styrk SiO_2 , sem fall af dýpi



MYND 18 a) Efri hluti dreifingar af styrk SiO_2 , öll holan

JHD-BM-8715 HS
86.02.0124 T

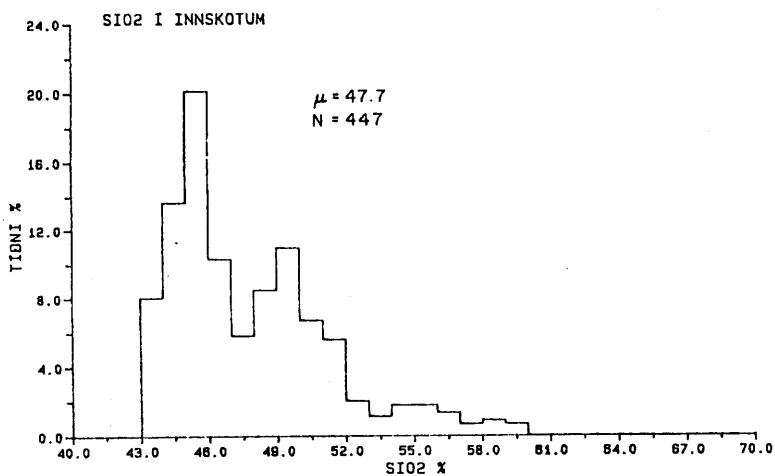
NESJAVELLIR NG-7



MYND 18 b) SiO₂, í ísúru bergi

JHD-BM-8715 HS
86.02.0124 T

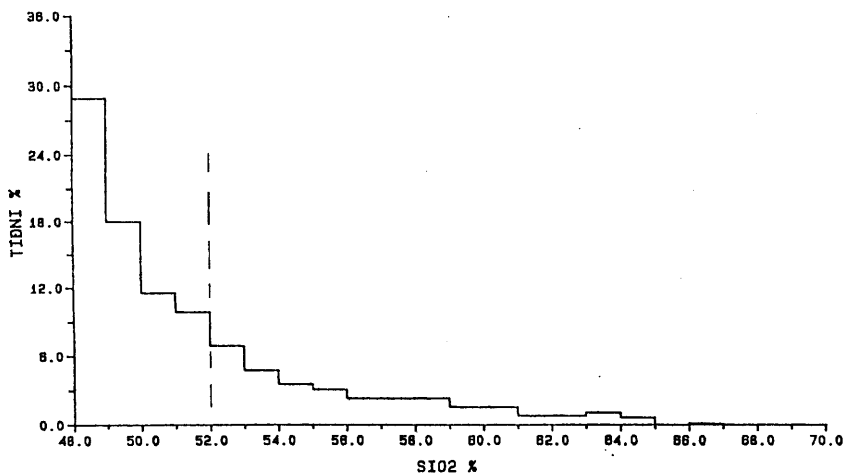
NESJAVELLIR NG-7



MYND 18 c) SiO₂, í innskotum

JHD-BM-8715 HS
86.02.0125 T

NESJAVELLIR NG-7 KÍSILSÝRA



MYND 18 d) Kísilsýra

4 UMMYNDUN

4.1 Inngangur

Þessum kafla er skipt upp í fjóra hluta. Í þeim fyrsta er gefið yfirlit yfir allar þær ummyndunarsteindir sem greindar voru. Í öðrum hluta er lýst á hvern hátt ummyndun frumsteinda bergs og glers upplýsir um gerð jarðhitakerfisins, en oft á tíðum er magnummyndun bergs í réttu hlutfalli við núverandi og/eða fyrrverandi vatnsgæfni þess og hita. Einnig er reynt að meta helstu ummyndunarsteindirnar, sem frumsteindirnar og glerið brotna niður í. Í þriðja hlutanum er lagt mat á tímaröðun ummyndunarsteinda, en þær upplýsingar gefa vísbendingar um þróun jarðhitakerfisins auk þess að afmarka það steindasamfélag sem líklegt er að vera í jafnvægi við núverandi ástand í jarðhitakerfinu. Í fjórða hluta kaflans eru útfellingar í sprungum gerðar að umfjöllunarefni, en þeim er ætlað að afmarka þá staði þar sem holan hefur skorið sprungubelti, en einnig að leggja mat á hvernig ummyndun fylgir þessum sprungubeltum. Að síðustu er gerður samanburður á ummyndun í NG-7 og NG-6.

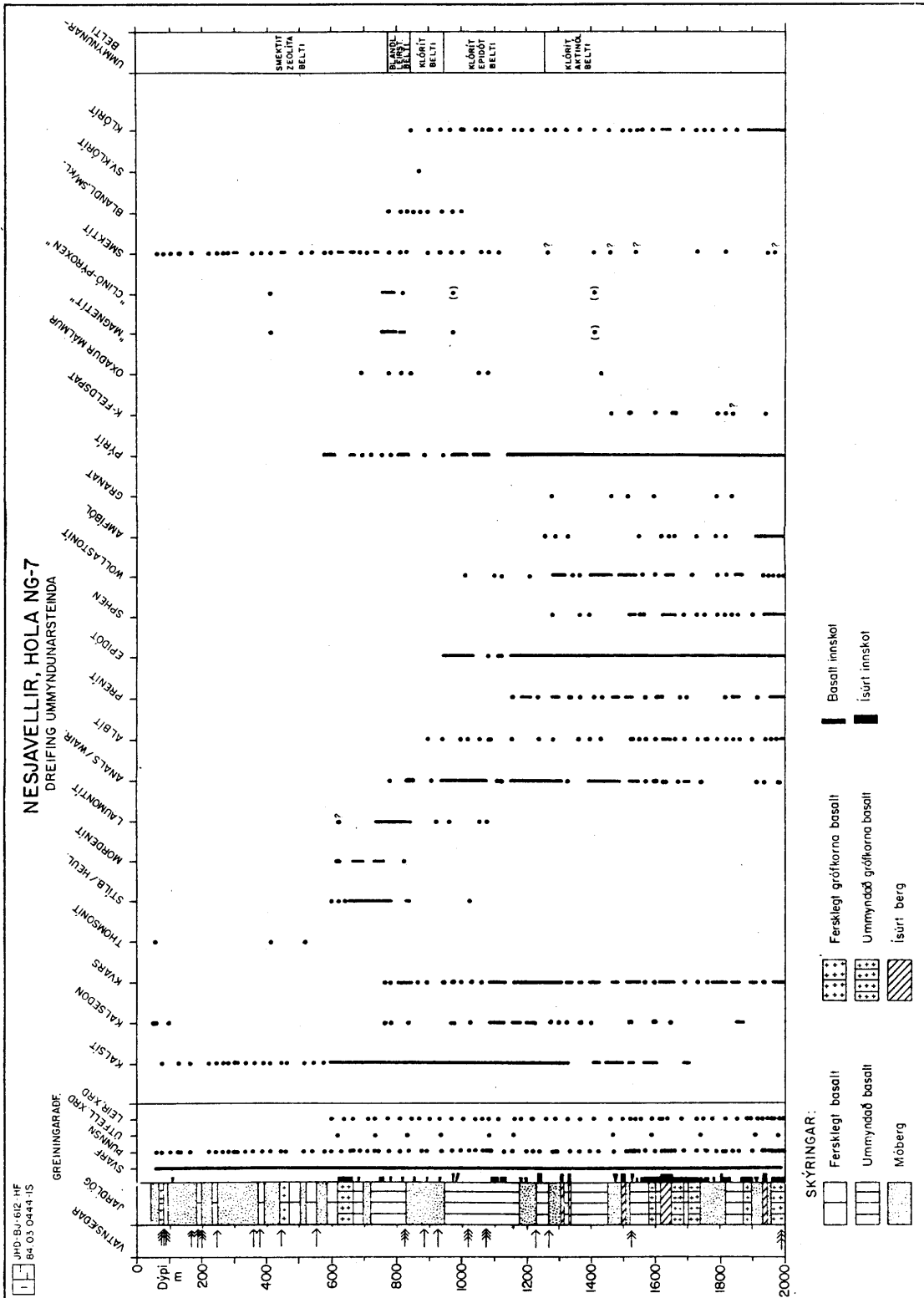
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda

Á mynd 19 er sýnt yfirlit yfir dýptardreifingu allra ummyndunarsteinda í holu NG-7, beltaskiptingu ummyndunar, greiningaraðferðir og vatnsæðar. Greiningaraðferðum er ráðar lýst í viðauka 2.

Ekki verður hér nákvæmlega lýst dreifingu allra steinda heldur reynt að draga fram þau helstu atriði sem talin eru skipta máli.

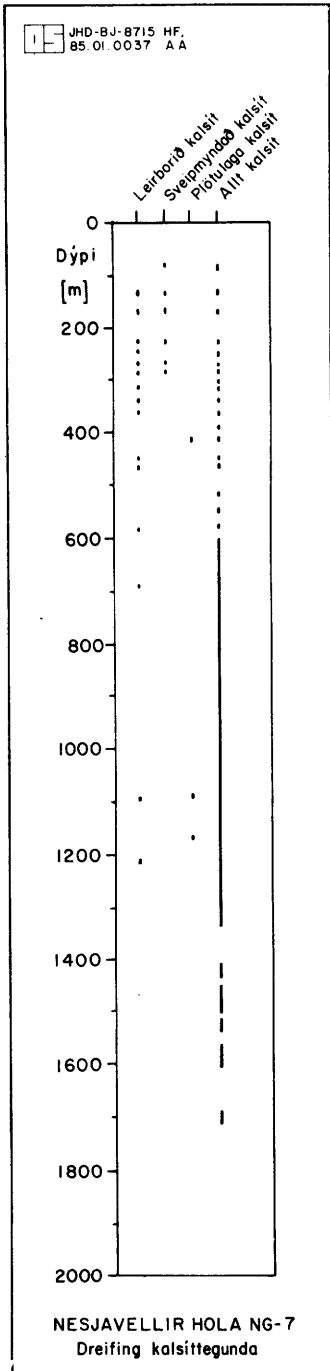
Nafnið kalsít er hér notað sem samheiti yfir karbónöt. Því var veitt nokkur athygli, bæði vegna gruns um að tilvera þess tengdist núverandi ástandi jarðhitakerfisins, og einnig vegna hins að kristalgerð kalsíts virðist breytast bæði í tíma og með dýpi í jarðhitakerfinu. Kalsíts verður fyrst vart á um 80 m dýpi og nær allt niður undir 1700 m. Eins og sýnt er á mynd 21 er magndreifing þess mjög breytileg, en mest á 600-1200 m dýptarbili. Ofan 600 m dýpis er kalsít, ásamt leir, algengasta útfellingasteindin. Greina má þrjár "undirtegundir" kalsíts í holunni og eru þær sýndar á mynd 20.

Í efri hluta holunnar er kalsítið oft leirblandað, sérstaklega á dýptarbilinu 125-360 m, en neðar ber mun minna á slíku. Sveipmyndað kalsít, sem stundum er leirborið, finnst einkum frá 80 m niður á tæpa 300 m. Slíkt sveipmyndað kalsít hefur fundist í efri mörkum jarðhitakerfisins í Svartsengi.



MYND 19 Dreifing ummyndunarsteinda í NG-7

Röntgengreiningar á sýnum þaðan gefa til kynna að um aragónít geti verið að ræða, en á hvorugum staðnum hefur komið fram svörun í salt-sýrumeðhöndlun. Aragónít er hér til hægðarauka valinn staður í kalsíthópnum. Svonefnt "plötulaga" kalsít (platy eða bladed-calcite) greindist á þremur stöðum; á rúmlega 400 m, 1100 m og á 1800 m dýpi. Slík tegund kalsíts er algeng í ummyndaðasta hluta rofinna megineldstöðva (t.d. Walker 1963), og hefur verið talið merki um suðu vökva í bergi í nýsjálenskum jarðhitakerfum (Tulloch 1982).



Zeólíta, svo sem stilbíts/heulandíts, skólesíts/mesólíts, og mordeníts, verður einkum vart á dýptarbilinu 600-850 m. Á þessu dýptarbili er ein vatnsæð merkjanleg í holunni, á 805-810 m dýpi, en einmitt þar koma áður nefndir zeólítar ekki fram í greiningu. Þess í stað verður vart greinilegrar aukningar í laumontíti. Mögulega getur hér verið um að ræða breytingar í zeólítum sem fall af lekt og/eða hitastigi, þ.e. að þar sem breytingar í zeólítum verða harðari þar er lekt meiri. Þetta gæti bent til að hiti þessarar vatnsæðar sé $< 230^{\circ}\text{C}$ (sbr. Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson 1978). Eins og sýnt er á mynd 19 eru efri mörk laumontíts nokkru dýpra en áður nefndra zeólíta, eða í um 730 m, en neðan 850 m finnst það strjált. Allt niður undir botn holunnar fundust í svarfi stakir laumontít kristallar. Laumontítkristallar eru mjög veikbyggðir og leikur grunur á að þessir stöku kristallar séu ættaðir af dýptarbilinu 730-850 m.

Ekki var gerður greinarmunur á analsími og wairakíti. Nokkuð áberandi einkenni þessara kristalla í svarfgreiningu er óreglulega lagaður hvítleitur innri kjarni kristallanna en ytri hluti þeirra tær. Í þunnsneiðum eru þessir kristallar allt frá því að vera "ísótróp" yfir í að sýna daufa tvíbrotsliti í kjarnanum, en ytri hluti þeirra hefur mun sterkari tvíbrotsliti. Talið er sennilegt að um sé að ræða breytingu frá nær "kúbisku" kristalkerfi í kjarnanum í "mónóklinískt" í ytri hluta

MYND 20 Breytileg kristöllun kalsíts í NG-7

kristallanna. Æskilegt væri að greina með örgreini efnabreytingar frá kjarna til jaðra þessara kristalla. Wairakít er fremur strjált neðan um 1500 m og hverfur á um 1750 m dýpi, ekki ósvipað hegðun kalsíts. Wairakít finnst þó aftur stjalt neðan 1900 m dýpis.

Líkleg nálgun á berghitaferli hefur verið reiknuð út frá hita- og þrýstimælingagögnum (Valgarður Stefánsson og Einar Gunnlaugsson 1985). Þar kemur fram að líklegur hiti á 500 m er 120°C, 190°C á 600 m og 260°C á 800 m. Samkvæmt efri hitamörkum stöðugleikasviðs zeólíta (t.d. Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson 1978), þá er sá hiti, sem ríkir á þessu dýptarbili langt ofan þeirra marka. Þessar niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður í NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983) og eldri rannsóknir (Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson 1974).

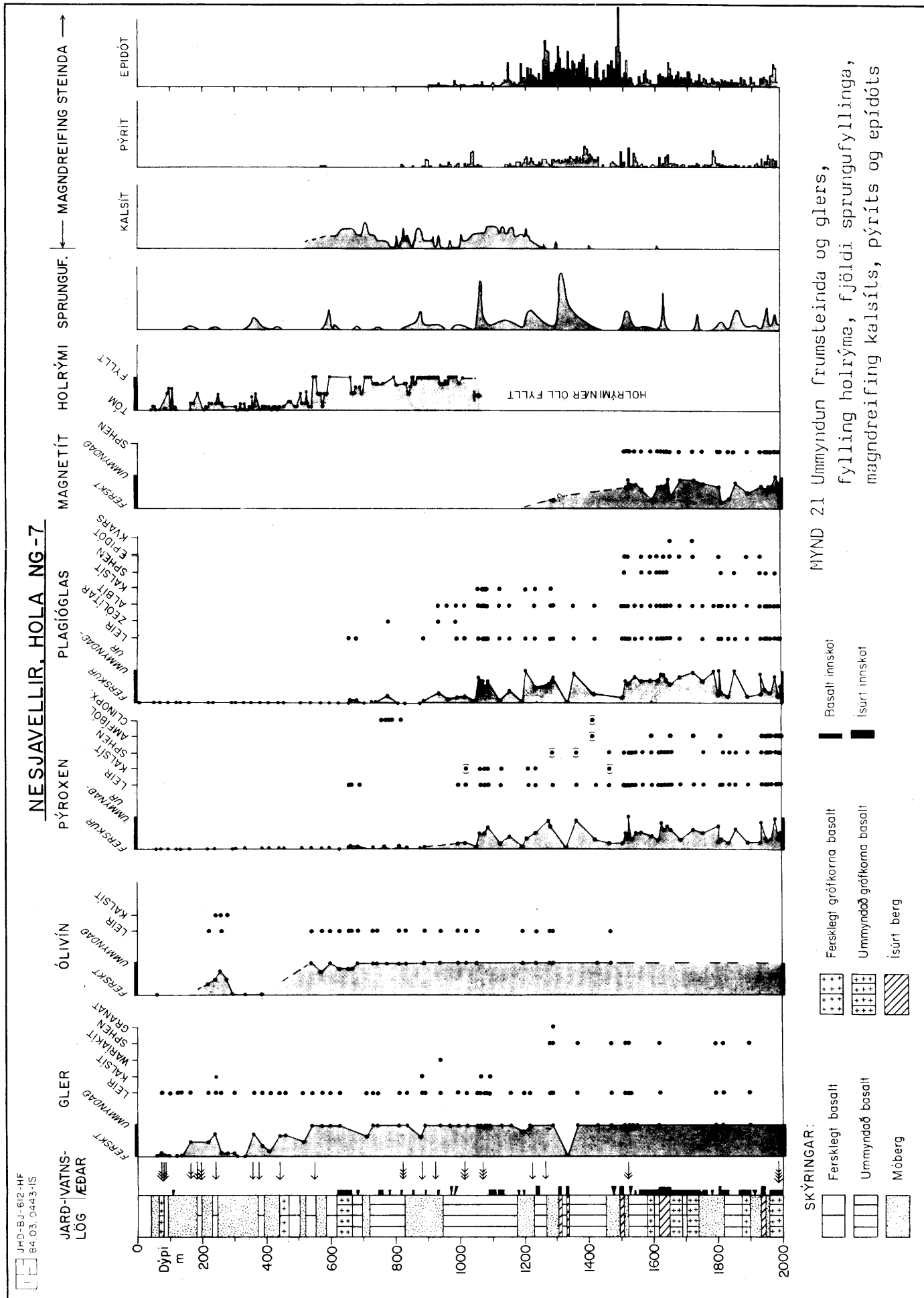
Prenít byrjar ekki að myndast fyrr en neðan 1150 m dýpis, rúmum 200 m neðar en epidót. Prenítið verður strjálle neðan 1650 m og niður á um 1850 m, en þar fyrir neðan og þá sérstaklega neðan 1950 m dýpis verður þess vart á ný.

Epidót myndast fyrst á um 940 m dýpi og er til staðar allt til botns holunnar. Á mynd 21 eru sýndar afstaðar magnbreytingar í epidóti. Magn þess er lítið ofan um 1150 m en eykst jafnt og þétt þaðan og nær hámarki á dýptarbilinu 1270-1550 m en þar fyrir neðan minnkar það á ný. Vart verður við einhverja aukningu neðan 1950 m með hápunkti í um 1980 m en einmitt þar opnaðist vatnsað í borlokum.

Nokkuð var hugað að mægdreifingu pýríts (mynd 21) líkt og gert var við epidót. Dreifingin reyndist að mörgu leyti vera keimlík epidótinu, yfirleitt í litlu magni niður á um 1180 m, algeng rétt niður fyrir 1550 m en þaðan, niður undir 1930 m, í litlum mæli. Aukning verður líkt og í epidóti neðan um 1930 m til botns holunnar.

Alkali-feldspat, sem líklegast er kalíum-feldspat, finnst strjált neðan 1450 m dýpis. Þessi steind er mjög áberandi við jaðra og í nágreinni við mjög ummynduð díorít innskot, en díorítið er mun alkalí-ríkara berg en basalt. Það bendir því til beinna tengsla á milli ummyndunar þessa bergs og útfellinganna.

Clínó-pýroxen, magnetít og oxaður málmur, sem koma fyrir við jaðra innskota á fjórum stöðum í holunni eru nokkuð augljóslega svonefnd "kontakt" ummyndun. Æskilegt væri að staðfesta tilveru clino-pýroensins með örgreini. Slík ummyndun hefur fundist í Kröflu (Hrefna Kristmannsdóttir 1981), í Eldvörpum (Hjalte Franzson 1985) og í Geitafellseldstöðinni í Hornafirði (Guðmundur Ó. Friðleifsson 1983).



Röntgengreiningar á leirnum voru aðeins gerðar í vinnsluhluta holunnar. Nokkuð var athugað í svarf- og þunnsneiðagreiningum hvernig leir leit út. Líklegast eru einar þrjár gerðir af smektíti; leirskán við jaðra holufyllinga, smákristallaður fjaðraður leir, sem fyrst varð vart neðan 450 m dýpis, og svo þriðja gerðin sem var áberandi betur kristölluð og sveipmynduð, en hennar varð vart neðan 600 m. Aðeins eitt röntgensýni var túlkað sem svellandi klórít, en það sýni var tekið við líklega æð á um 870 m dýpi.

Ef dreifing ummyndunarsteinda er skoðuð í heild sinni þá er unnt að greina að þær minnka nokkuð á dýptarbilinu frá um 1550 niður á rúmlega 1900 m. Ekki er víska fyrir því af hverju það stafar en benda má á nokkur atriði sem e.t.v. gætu varpað ljósi á þetta. Bergið á þessu dýptarbili er að miklu leyti þétt innskotsberg og því tiltölulega lítil holrýmnd til staðar til að geyma útfellingar.

Magn útfellinga er yfirleitt talið vera í réttu hlutfalli við núverandi eða fyrrverandi vatnsgæfni. Fremur takmarkað magn útfellinga á áður nefndu dýptarbili svo og fæð virkra vatnsæða gæti bent til að vatnsgæfni berglagastafans á þessu dýptarbili, sem að miklu leyti samanstendur af innskotum, sé og hafi verið takmörkuð.

Á mynd 19 er sýnd skipting holunnar í ummyndunarbelti, líkt og tíðkast hefur í allmörg ár. Samkvæmt því nær smektít-zeólítabeltið niður á um 720 m dýpi, blandlags leirsteindabeltið á um 840 m, klórítbeltið á um 940 m, klórít-epidótbeltið á um 1260 m og klórít-aktínólítbeltið þar fyrir neðan.

4.3 Ummyndun frumsteinda og glers

Á mynd 21 er sýnt ummyndunarstig glers og frumsteindanna ólivíns, pýroxens, plagíóklasa og í neðri hluta holunnar ummyndun magnetíts. Auk þess er á sömu mynd gerð nokkur grein fyrir því í hvaða ummyndunarsteindir þær breyttust. Þessi gögn eru eingöngu byggð á greiningum í bergfræðismásjá (þunnsneiðum). Samræmi virðist vera á milli þess sem í svarfgreiningu er kallað ummyndað og þess í þunnsneiðagreiningu, að plagíóklas og/eða pýroxen eru teknir að brotna niður í ummyndunarsteindir.

Eins og greinilega sést á mynd 22 þá er glerið og ólivín mun viðkvæmara fyrir hita (og vatnsgæfni) en pýroxen, magnetít og plagíóklas. Það fyrrnefnda gefur því betri upplýsingar um hita og/eða vatnsgæfni í efri hluta holunnar en síðari steindirnar í þeim neðri. Þar sem myndin sjálf gefur nokkuð góða heildarsýn yfir breytingar í ummyndun frumsteinda og glers verður hér aðeins stiklað á helstu atriðum:

1. Aukin ummyndun kemur víða fram þar sem vatnsæðar koma í holuna en það bendir til beinna tengsla á milli vatnsgæfni og ummyndunar. Sést þetta vel í efri hluta holunnar (< 600 m) í ummyndun glers og ólivíns, en neðan þess kemur þetta fram í meiri ummyndun pýroxens og plagióklasa (sbr. mynd 21).
2. Athyglisvert er að kalsítummyndunar verður sérstaklega vart í eða nærri virkum vatnsæðum. Slík ummyndun á glerinu sést á þremur stöðum ofan 1100 m dýpis en á ólivíni aðeins á um 200-300 m dýpi. Kalsítummyndun á pýroxen og plagióklasa kemur fram við líkar aðstæður, aðalleg á dýptarbilinu 1000 m til 1300 m, þ.e. í nágrenni vatnsæða. Möguleg ástæða þess að kalsítummyndunar glers og ólivíns verður ekki vart eins neðarlega og fyrir pyroxen og plagióklasa er sú, að á þeim tíma er þessi gerð ummyndunar verður þá var allt ólivín og gler þegar ummyndað í leir. Kalsít ummyndunin efst í holunni merkir þá að aðeins í þeim hluta holunnar var ólivín og ferskt gler til staðar sem gerði kalsítummyndun þeirra mögulega. Þetta gæti bent til að kalsít ummyndunin sé fremur ung.
3. Magnetít sýnir mjög greinilega ummyndun yfir í sphen neðan 1500 m dýpis. Svo mikil ummyndun magnetíts er talin fremur óvenjuleg og að svo komnu máli ekki skýranleg. Skýringin á hve skyndilega hún birtist neðan 1500 m dýpis er e.t.v. vegna þess að eftir henni var ekki tekið fyrir en þá. Mögulega nær hún þá herra upp holuna. Á mjög svipuðu dýpi (á um 1500 m) verður vart við ummyndun plagióklasa í epidót og sphen.

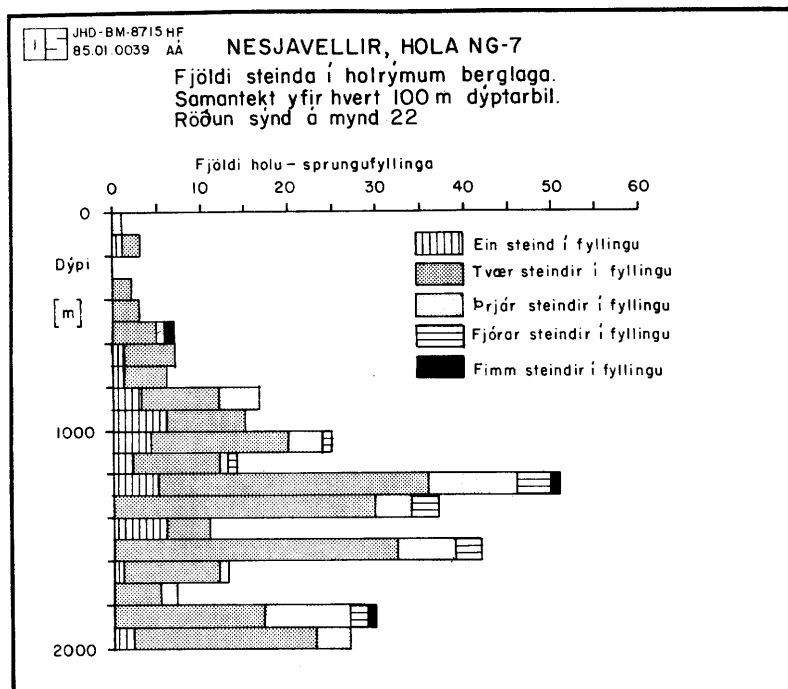
4.4 Tímaröðun ummyndunarsteinda

Aðferð þeirri, sem beitt var til að nálgast líklegustu tímaröðun útfellinga í NG-7, er lýst í skýrslu um holu NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983) og er sú lýsing sett í viðauka B. Þær endurbætur hafa þó verið gerðar í myndrænni framsetningu, og sjá má á mynd 22, en þær að breidd hvers steindasviðs er í réttu hlutfalli við hve oft viðkomandi steind kom fyrir í því röðunarsæti, en slíkt gæti gefið vísbendingar um hve mikil gögn liggja að baki röðunar hve herrar steindar. Á myndum 23 og 24 er gerð nokkur grein fyrir þeim gögnum sem liggja til grundvallar mynd 22. Benda má á eftirfarandi áhugaverð atriði tengd mynd 23:

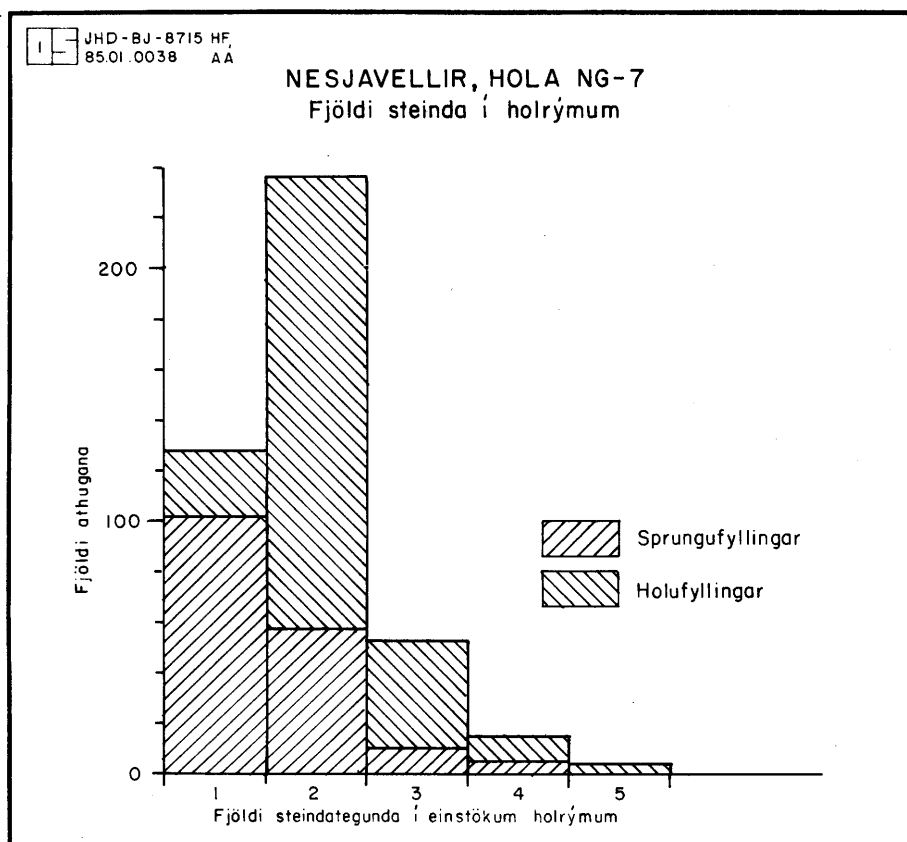
1. Ummerki háhitavirkni neðan 900 m dýpis verður ekki vart í útfellingum fyrr en rétt á undan epidót útfellingatímabilinu (granat, sphen, wollastónít). Frá þessu er þó mjög skýr undantekning, sem sést í epidót(vottur) - wollastonít - feldspat útfellingaröð í vinstra horni myndar 22. Þessar útfellingar

virðast tengjast fjórum díórít innskotum (grófkorna ísúrt berg) sem öll eru mjög ummynduð. Þetta útfellingatímabil gefur til kynna afmarkaðar rásir í og við jaðra þessara innskota þar sem háhitavökvi hefur streymt eftir. Þessum díórít innskotum eru gerð nokkur skil í kafla 2.2 hér að framan.

2. Niður undir 1200 m dýpi virðist kalsít vera einráð sem síðasta útfellingin í jarðhitakerfinu. Þar fyrir neðan er preníti síðasta meiri háttar útfellingin, þó með þeirri undantekningu að vottur af wairakíti, wollastoníti og kvarsi geta hafa fallið út á eftir því á 1200-1600 m dýpi. Gögnin eru þó, eins og mynd 22 ber með sér, ekki áreiðanleg. Afstæð röðun á milli kalsíts og preníts liggja ekki fyrir í þessari holu.
3. Nokkurn vara verður að taka af röðun á sphen og granati þar sem í sumum tilvikum er líklegt að þær steindir hafi myndast sem ummyndun á útfellingum en ekki fallið út úr vökva.
4. Málmsteindir svo sem pýrít eru ekki sýndar á mynd 22. Svarf- og þunnsneiðagögn benda til að þar sem pýrít finnst í holurými, hafi það fallið út á líkum tíma og kalsít eða epidót.
5. Eins og áður hefur verið getið, var gerð svipuð könnun á tíma-röðun steinda í NG-6. Þetta er í fyrsta skiptið sem slík könnun hefur farið fram á tveimur stöðum (fjarlægð á milli NG-6 og NG-7 er um 1250 m) innan sama jarðhitasvæðis, og var því mjög áhuga-vert að vita, hvort röðun útfellinga væri svipuð innan alls svæðisins eða ekki. Samanburður á NG-6 og NG-7 gefur eftirfarandi til kynna:
 - a. Zeólítar í NG-7 virðast raðast á svipaðan hátt og í NG-6.
 - b. Kalsít kemur yfirleitt fram sem síðasta útfellingin ofan 800 m dýpis í NG-6, og er það í samræmi við NG-7. Í NG-6 verður einnig vart við kalsít sem yngstu útfellinguna neðan 800 m dýpis, en þessa verður ekki vart í NG-7.
 - c. Líkt og í NG-7 fellur epidót ætíð út á undan preníti í NG-6. Þá er og athyglisvert að í NG-6 vottar einnig fyrir wairakíti og wollastoníti á eftir kalsíti og preníti, líkt því sem sjá má neðan 1200 m í NG-7. Gögnin úr NG-6 benda til að kalsít geti verið aðeins seinna á ferðinni en preníti.



MYND 23 Súlurit af fjölda steinda í holrýmum sem fall af dýpi



MYND 24 Súlurit af fjölda steinda í einstökum holrýmum

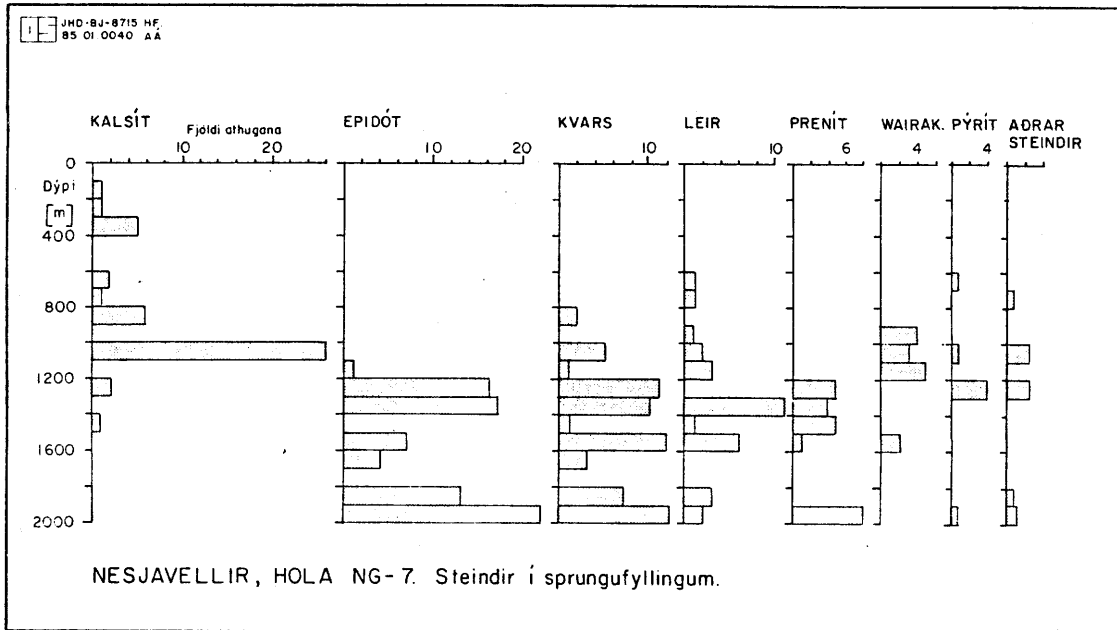
4.5 Sprungufyllingar

Innan núverandi rannsóknarsvæðis á Nesjavöllum er fjöldi sprungna og misgengja í berggrunni og eru augljós merki um tengsl þeirra við jarðhita á yfirborði. Misgengin eru mjög misstór, og eru sum þeirra með sigi um eða yfir hundrað metra. Ekki er talið að stærri misgengi verði til í einum atburði, heldur sé um að ræða síendurtekin misgengissig í sama fleti í langan tíma (t.d. 10 - 10 ára). Misgengisflötur samanstendur af sprungubelti sem oft er meira en meter á breidd. Auk aðal sprungu- eða misgengisflatanna sem í sprungubeltum sjást er aragrúi af örsmáum sprungum (micro-fractures). Sprungur og misgengi eru yfirleitt taldar liggja nær lóðréttu ($< 5^\circ$) í berggrunninum). Borholur, a.m.k. á Nesjavöllum, eru einnig nær lóðréttar ($< 3^\circ$). Þegar borhola sker sprungu- eða misgengisflöt (eða jafnvel sprungubelti við jaðra lóðréttra innskota) þá gerir hún það undir mjög þröngu horni, þannig að vænta má þess að holan fylgi sprungufletinum á dýptarbili sem spannar frá nokkrum metrum upp í nokkra tugi metra. Vegna smæðar svarfkorna greinast aðeins smæstu sprungufyllingarnar, en þar sem fjöldi þeirra er væntanlega í réttu hlutfalli við stærri sprungufletina (sem þó ekki greinast í svarfinu) ættu þær að vera nægilega marktækar til að staðsetja þau sprungubelti sem borholan sker.

Með þessar forsendur í huga var gerð lausleg athugun á hve fjöldi sprungufyllinga breyttist með dýpi í holu NG-6 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Sú athugun leiddi í ljós að aðferðin gæti verið vænleg til að afmarka sprungu- og/eða misgengisbelti sem borhola skæri. Á mynd 24 eru á einfaldaðan máta sýndar breytingar í fjölda sprungufyllinga með dýpi í holu NG-7 (skv. svarf- og þunnsneiðagreiningum). Athyglisvert er að sprungufyllingar virðast vera einna algengastar á dýptarbilinu 800-1400 m, en samkvæmt hitamælingum í upphitun holunnar (Valgarður Stefánsson og Einar Gunnlaugsson 1985) virðist upphitun vera hröðust á því dýptarbili. Eins og nokkuð greinilega sést á mynd 21 er samsvörun á milli ummyndunar frumsteinda og glers og svo toppa í sprungufyllingum. Ofan 600 m dýpis er fylgni á milli fjölda sprungufyllinga og þess hve holrými (blöðrufyllingar) eru mikið fyllt. Á að minnsta kosti fjórum stöðum í holunni (ca. 880, 1080, 1530, 1980) falla dýpi og vatnsæðar saman við toppa í sprungufyllingum. Athyglisvert er að topparnir á ca. 1240 m, 1330 m, 1530 m og um 1630 m samsvara því dýpi þar sem ísúr innskot (díórít og fersklegt basalt andesít) fundust í jarðlagagreiningu.

Athugun var gerð á fjölda steinda í einstökum sprungufyllingum (mynd 24) og þær settar í tímaröð ásamt öðrum útfellingum (mynd 23). Á mynd

25 er sýnt súlurit sem dregur fram hvaða steindir eru ráðandi í sprungufyllingum. Kalsít er ráðandi steind ofan 1000 m dýpis, en neðan þess eru epidót, kvars, leir (klórít) og prenit algengustu steindirnar.



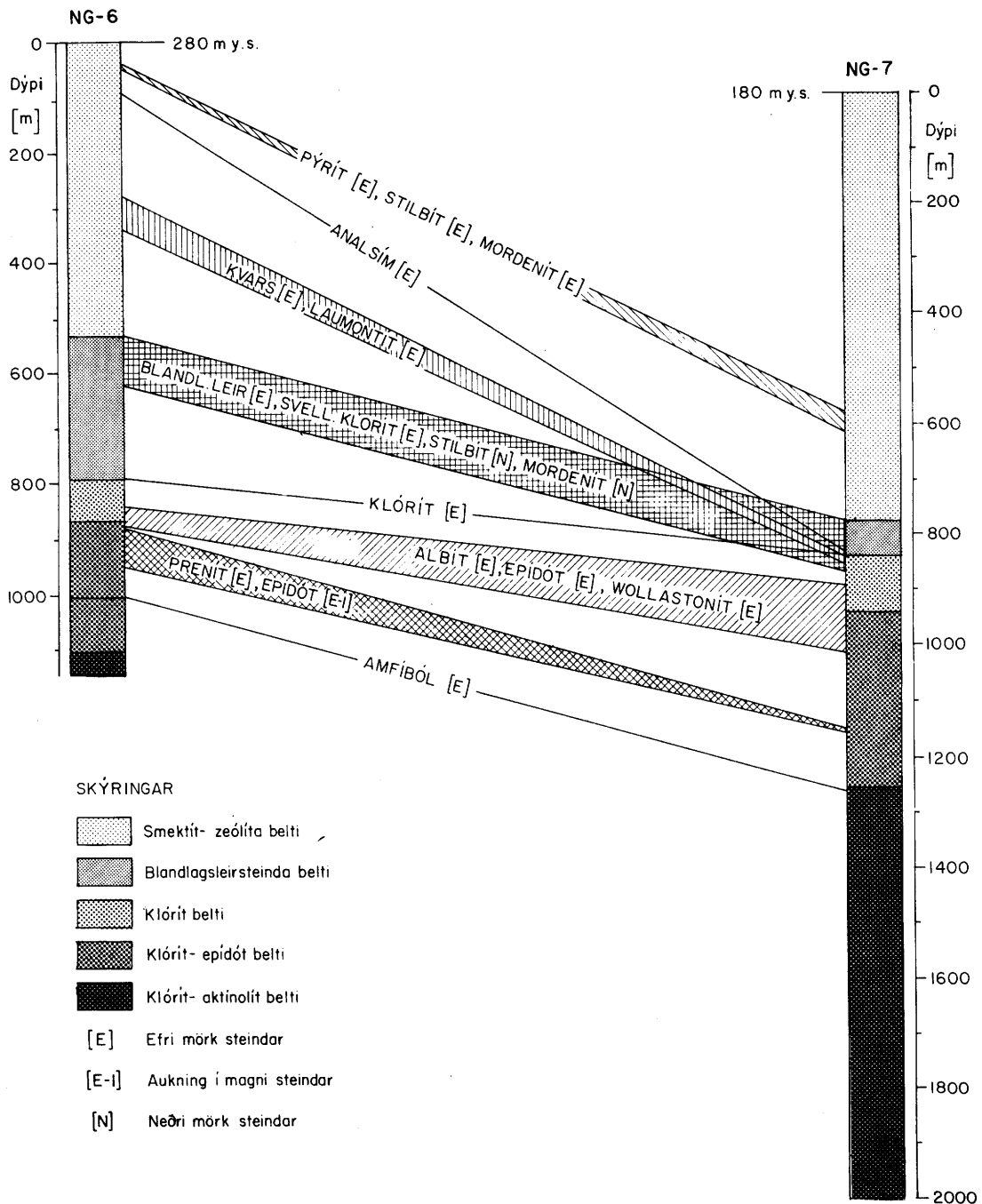
MYND 25 Steindir úr sprungufyllingum

4.6 Samanburður við holu NG-6

Á mynd 26 er sýndur samanburður á ummyndunarbeltum og efri og neðri dýptarmörkum nokkurra ummyndunarsteinda. Meginástæður fyrir samanburði við NG-6 eru þær, að sú hola er boruð í heitasta hluta Nesjavallasvæðis, þess sem þá var þekkt, og að rannsóknaraðferðir voru mjög svipaðar í báðum holum. Ummyndunarbelti NG-7 liggja 50-600 m neðar en í NG-6. Það atriði sem þó kemur sterkast fram er hvað tengilínur steindanna á milli holanna lækka mun meira í efri hluta holanna en í þeim neðri, t.d. eru þær steindir sem finnast ofan 400 m í NG-6 komnar um 600 m neðar í holu NG-7. Steindalínurnar neðan þess dýpis í NG-6 lækka mun minna, eða 50-300 m í átt til NG-7. Myndin sýnir augljóslega hvað NG-7 er staðsett utarlega í jarðhitageyminum.

JHD-BJ-8715 HF
84.04.0583 AA

Samanburður á ummyndun á holum NG-6 og NG-7



MYND 26 Samanburður á ummyndun í holum NG-6 og NG-7

5 VATNSÆÐAR

Í þessum kafla verður greint frá þeim vatnsæðum sem hola NG-7 sker. Vatnsæðarnar voru staðsettar í tveimur áföngum: Í hinum fyrri voru aðallega notaðar skoltapsmælingar, útslög á "geolograph" Gufubors og hitamælingar. Þessi gögn hafa þegar verið sett fram í áfangaskýrslum (Jens Tómasson o.fl. 1983 a, Jens Tómasson o.fl. 1983 b, Hjalti Franzson o.fl. 1983). Í síðari áfanganum voru staðsetningar úr þeim fyrri bornar saman við jarðfræði holunnar og ýmsa þætti ummyndunar í því augnamiði að kanna hvort nema mætti vatnsæðar út frá þeim forsendum.

Vatnsæðar í berggrunni eru mjög breytilegar hvað varðar lekt, hita og þrýsting. Engin ein af áður nefndum aðferðum er einhlít til að nema vatnsæðar. Af þeim sökum er lögð áhersla á að nota sem flestar (óháðar) aðferðir til að geta greint æðarnar sem best.

Einnig ber að hafa í huga að þær mælingar sem nema vatnsæðar eru yfirleitt gerðar áður en holan hefur náð að hitna upp eða losa sig við svarfið sem í sumum tilfellum veldur stíflun. Staðsetning sterkustu vatnsæðanna í vinnsluhluta holunnar er því ekki gefin fyrir en í mælingum eftir að holunni hefur verið hleypt í gos.

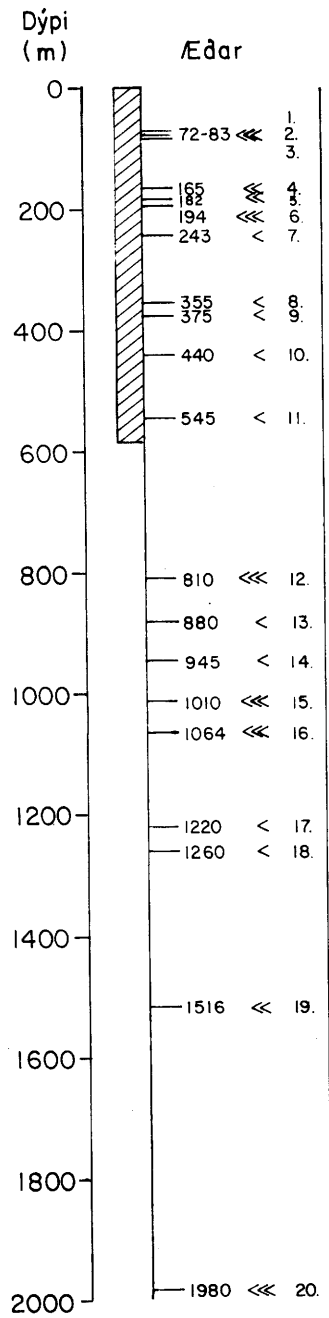
Í þeirri upptalningu vatnsæða sem hér fer á eftir er reynt að gefa gróft mat á afstæðri stærð þeirra, bæði ofan og neðan vinnslufóðringar.

Ein af ástæðum fyrir þeirri jarðfræðilegu úrvinnslu, sem lýst er í köflum 2 og 3 hér að framan, er að tengsl vatnsæða við jarðfræðilega uppbyggingu berggrunnins (t.d. lagmót, sprungur/misgengi, innkot) gefa mjög þýðingarmiklar upplýsingar um streymisleiðir jarðhitavökvans í jarðhitageyminum.

Vatnsæðar í NG-7 eru merktar inn á mynd 27. Við staðsetningu þeirra er stuðst við hitamælingar, skoltapsmælingar, víddarmælingar og svarfgreiningu. Í töflu 3 eru settar fram á einfaldaðan hátt helstu forsendur fyrir staðsetningu og afstæðri stærð þessara vatnsæða. Víddarmælingar eru sýndar á mynd 4, ummyndun aðallega á myndum 19 og 21. Listi yfir skoltöp hefur verið birtur í áfangaskýrslum (Jens Tómasson o.fl. 1983 a, Jens Tómasson o.fl. 1983 b, Hjalti Franzson o.fl. 1983). Hitamælingarnar hafa einnig verið birtar í þessum áfangaskýrslum, og verður því hér aðeins stiklað á þeim helstu atriðum sem koma vatnsæðum við.

JHD:BM-8715:HS
85.02.0326-e

Staðsetning vatnsæða í holu NG-7 Nesjavöllum



MYND 27 Staðsetning og afstæð stærð vatnsæða

TAFLA 3 Vatnsæðar, forsendur og afstæð stærð

No æðar	Stærð æðar	Dýpi (m)	Hita- mæling	Skol- tap	Skápur	Ummyndunarskenni æðar	Jarðfræðileg lega æðar
1	<<<	72-74	$\frac{1}{1}$	Alg.	?	Gler → leir	Bólstraberg
2	<<<	77-81	$\frac{2}{2}$	Alg.	?	Gler → leir	Bólstraberg
3	<<<	83	$\frac{4}{4}$?	Gler → leir	Bólstraberg
4	<<	165	$\frac{1}{1}$	Alg.	?	Gler → leir, útfellingaríkt	Innan móbergstúffs
5	<<	182	$\frac{4}{4}$	Alg.	Skápur	Útfellingaríkt, kalsít	Dunnt móbergssæt
6	<<<	194	$\frac{1}{1}$	Alg+gas		Útfellingar, kalsít	Skil milli móbergsmynana
7	<	243		3 l/s	Skápur	Gler → kalsít, ólivín → kalsít, útfellingaríkt	Skil milli móbergsmynana
8	<	355	(1)			Útfellingaríkt, (sprungur)	Skil milli móbergsmynana
9	<	375	(3)		Skápur	Útfellingaríkt	Lagskil innan móbergsmyndunar
10	<	440	(2)	3 l/s	Skápur	Zeólítar, (sprungur)	Hraunlagaskil (hraunлага-móbergsmyndun)
11	<	545-550	3			Útfellingaríkt, pýrít	Skil milli hraunlags og settúffs
12	<<<	820	2		Skápur	Zeólítar hverfa, (kalsít) (pýrít)	Innskotsjaðar
13	<	880	$\frac{1}{1}$			Gler → kalsít, kalsít, pýrít, svell, klórít, sprungubelti	Nærri innskotsjaðri
14	<	945	$\frac{1}{1}$			Gler → wairakít, plagióklas → kalsít, plagióklas-ummyndun	Skil milli móbergsmyndunar og hraunlagamyndunar
15	<<<	1010-1020	$\frac{1}{1}$			Pyroxen → kalsít, pýrít	(Lagskil)
16	<<<	1064	$\frac{1}{1}$		(Skápur)	Gler+pýroxen+plagióklas → kalsít, sprungubelti	(Lagskil), sprunga, nærri innskoti
17	<	1220	1			Pyroxen+plagióklas → kalsít, kalsíttoppur	(Lagskil)
18	<	1260	(1)			Áberandi epidót	(Lagskil milli hraunlaga)
19	<<	1516-1518		(5 l/s)	Skápur	Pyroxen ummyndun, sprungubelti, mjög lágt N-N	(Ísúrt ferklegt innskot), (sprunga)
20	<<<	1980	$\frac{1}{1}$	Alg.	?	Áberandi epidót, sprungubelti	(Skil milli basalt innskota)

Skýringar: X Áberandi einkenni <<< Stór vatnsæð 3 Fjöldi hitamælinga
 X Líklegt " << Meðal vatnsæð Alg. Algert skoltap
 (X) Mögulegt " < Óveruleg vatnsæð

1-3. (70-83 m) Þegar komið var í rúmlega 70 m dýpi kom mikið skoltap og erfitt reyndist að ná svarfi upp úr holunni. Í fyrstu hitamælingunni frá 83.10.17 var aðeins hægt að mæla niður í 67 m og var ljóst að æðin var neðan þess dýpis. Í næstu hitamælingu frá 83.10.18 sést að æðin er í 70 m. Erfiðlega gekk að bora niður úr þessum kafla og þurfti að steypa í hann 4 sinnum. Hitamælt var 83.10.20 og kom í ljós að lekinn var þá í 83 m. Þessi æð kemur vel í ljós í hitamælingum sem gerðar voru eftir að holan var fódruð í 180 m. Verið getur að samfelld æðanet sé á þessu dýptarbili þótt merktar séu sem þrjár æðar.

4. (165 m) Á þessu dýpi varð algjört skoltap í 2 mín. en ekki sést þessi æð vel á hitamælingum. Þó örlar á lítilli hitabreytingu á þessu dýpi.

5. (182 m) Þessi æð kemur fram sem hitastökk í þrem hitamælingum, sem gerðar voru í borun fyrir 9 5/8" fódningu. Hún er rétt neðan við enda 13 3/8" fódningarinnar.

6. (194 m) Þessi æð sést í hitamælingu 83.10.28 sem hitastökk. Í borun varð skoltap í 196 m í 4 mín en unnt reyndist að þetta með sagi.

7. (243 m) Á þessu dýpi jókst skoltap um 4 l/s en ekki sést þessi æð á hitamælingum. Ummyndun bendir til að þarna muni vera æð.

8. (355 m) Þessi æð kemur mjög óljóst fram í hitamælingum en sést í ummyndun.
9. (375 m) Í þessu dýpi koma fram 2°C hitastökk í hitamælingu frá 83.10.28. Einnig kemur slík hitabreyting fram í tveim næstu hitamælingum sem gerðar voru inni í borstreng og eftir upptekt þann 30. okt.
10. (440 m) Þessi æð sést í tveim hitamælingum frá 83.10.30. Á þessu dýpi jókst skoltap úr 7 l/s í 10 l/s.
11. (550 m) Þessi æð sést á sömu hitamælingum og 440 m æðin og kemur þar fram sem sterkur hitatoppur.
12. (810 m) Eftir að borun holunnar lauk í 2001 m var hitamælt inni í stöngum, eftir upptekt og síðast í þrepaðælingu. Á öllum þessum hitamælingum sést þessi æð, þó ekki hafi orðið vart við skoltap meðan á borun stóð.
- 13-14. (880,945 m) Þessar æðar sjást á fyrstu hitamælingu eftir borlok. Við þessar æðar er upphitun lítið eitt hraðari en umhverfis þær.
15. (1010 m) Þetta er sá hluti holunnar sem hraðast hitnar upp eftir að ádælingu lauk. Þetta kemur fram í fyrstu hitamælingu sem gerð var eftir þrepaðælingu 83.11.16 og einnig í upphitunarmælingum sem gerðar voru síðar, 83.11.24, 83.12.09 og 83.12.21.
16. (1060 m) Þessi æð kemur vel fram í fyrstu hitamælingu eftir þrepaðælingu og hitnar hún mjög hratt upp eins og 1010 m æðin.
- 17-18. (1220,1260 m) Þessar æðar koma einnig fram í hitamælingu frá 83.11.16, en hitna mun hægar upp en æðarnar á 800-1060 m.
19. (1500-1600 m) Þessi æð kemur hvergi vel fram á hitamælingum, en þrýstimælingar benda til að hún sé nálægt 1500 m. Þess má geta að í 1510 m festist borstrengur í snúningi og skoltap jókst um 5 l/s.
20. (1980 m) Þessi æð tekur við öllu vatninu í ádælingu í borlok. Þetta kemur vel fram í þrem hitamælingum frá 83.11.12, 83.11.13 og 83.11.16.

Eins og sést í töflu 3 eru staðsetningar vatnsæða bornar saman við jarðlagasniðið á mynd 4, og mat lagt á hvaða jarðfræðistrúktúr sé líklegastur til að veita vatninu.

Vatnsleiðni í þeim berggrunni sem NG-7 sker má skipta í tvo hópa; ofan 600 m dýpis og svo þar fyrir neðan.

- a. Ofan 600 m dýpis sker holan ellefu vatnsæðar og eru þær allar fódraðar af. Ofan 100 m dýpis er leiðnin mest í bólstraberginu í móbergsmýndun-1. Lekt er nærri skilum milli móbergsmýndana 2, 3, 4, 5 og 6 auk þess sem vatnsæð kemur inn í holuna nærri skilum á milli móbergsmýndunar 6 og hraunlagamýndunar-1. Þrjár æðar liggja eftir lagskilum innan móbergsmýndananna.

Þessi augljósi skyldleiki vatnsæða og upphleðslueininga gefur öruggar vísbendingar um að vatnsæðakerfið í þessum hluta berglagastafans liggja eftir nær láréttum flötum og er það sem kallað er "prímer" lekt. Þessi hluti vatnskerfis á Nesjavallasvæðinu er óæskilegur vegna lítils hita og þess vegna óhjákvæmilegt er að steypa í alla meiriháttar vatnsæðar, sem borholan sker þar. Búast má við að slík borvandamál verði algengari því nær ytri mörkum jarðhitasvæðisins sem borað er. Ástæða þess er sú að um miðbik jarðhitasvæðisins hafa útfellingar náð að fylla, a.m.k. að einhverju leyti, upp í "prímera" vatnsleiðara bergsins. Neðan 600 m dýpis gegnir öðru máli. Þar hefur lagskipting upphleðslueininga mjög takmörkuð áhrif á vatnsleiðnina, líklegast vegna útfellinga.

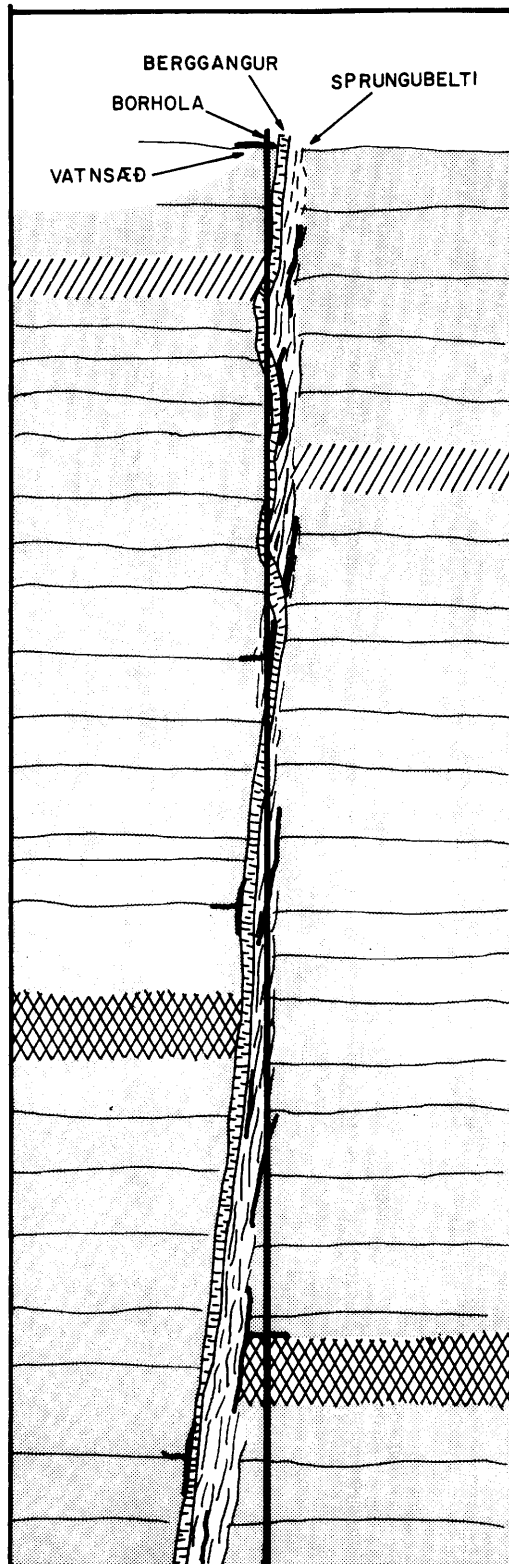
- b. Neðan 600 m dýpis. Af níu vatnsæðum í vinnsluhluta holunnar koma sjö þeirra á tæplega 450 m dýptarbili (810-1360 m).

Í köflum 2.2, 2.3, 3.2 og 3.4 hér að framan er m.a. tveimur einkennum berglagastafans lýst: Hið fyrra er fersklegt basaltinnskot sem borholan fylgir eftir frá rúmlega 600 m, a.m.k. niður undir 1000 m dýpi. Mjög líklegt er talið að holan fylgi eftir nær lóðréttum berggangi (hitaummyndun við jaðra hans (contact metamorphism) gæti bent til að um gosrás sé að ræða). Seinna einkennið eru tíðar sprungufyllingar á dýptarbilinu frá rúmlega 800 m og niður undir 1400 m (mynd 21). Í kafla 2.3 (mynd 5) er sýnt fram á að hola NG-7 skeri líklega misgengisflöt á 800-900 m dýpi. Á þeim dýptarbilum sem stærstu vatnsæðarnar koma inn í holuna (800-900 og 1000-1100 m) er kalsít langalgengasta sprungufyllingin (mynd 26), en eins og tímaröðun útfellinga gefur greinilega til kynna (mynd 23), þá er kalsít líklegast síðasta útfellingasteindin í þessum hluta jarðhitageymisins. Uppdrátturinn á mynd 28 sýnir á einfaldaðan hátt þær jarðfræðilegu aðstæður sem lýst er hér að ofan.

Nokkuð skortir á að unnt sé að leggja fram mjög ákveðnar jarðfræðilegar forsendur fyrir vatnsæðum á um 1576 m og 1975 m dýpi. Eftir því sem næst verður komist, þá er efri æðin nærri ísúru innskoti en sú neðri á mörkum tveggja basalt innskota. Lega þeirra innskota í berggrunni er óþekkt.

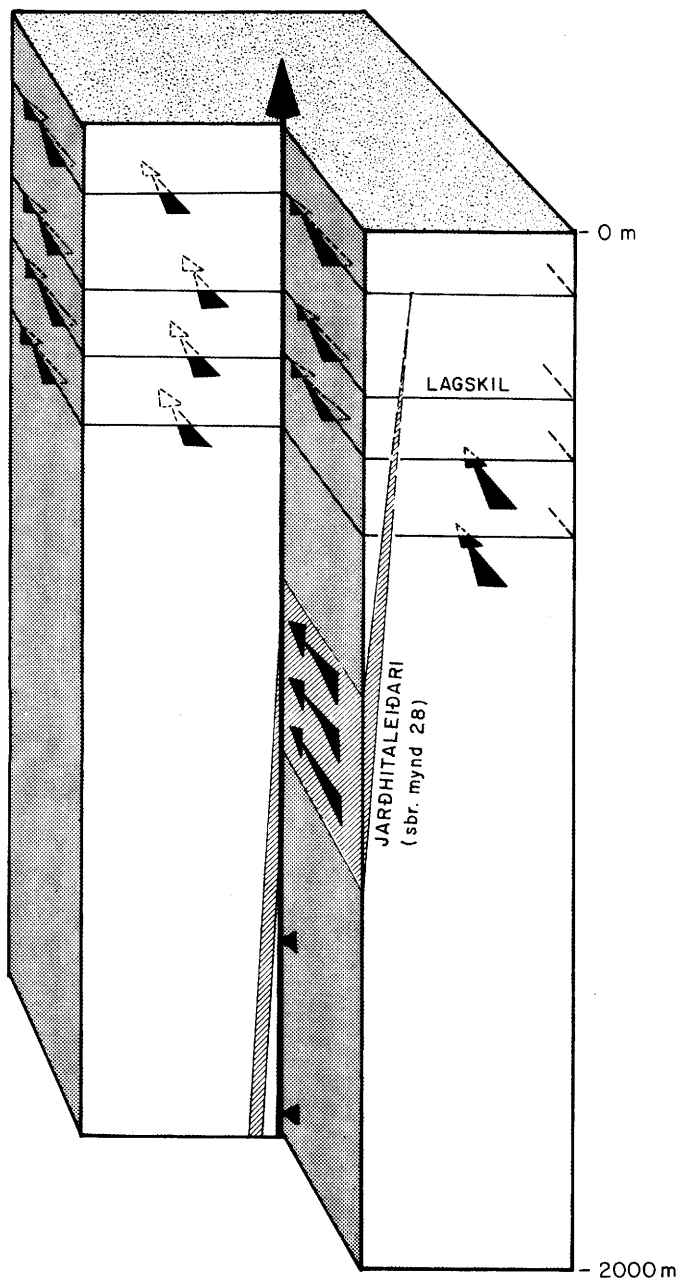
Mynd 29 gefur á einfaldaðan máta túlkun á legu vatnsæða í þeim berggrunni sem NG-7 sker. Hún sýnir að vatnsæðarnar liggja eftir "láréttum" jarðlagafloetum upphleðslueininga ofan 600 m, en eftir "lóðréttum" misgengis-/innskotaflateti (sbr. mynd 28) þar fyrir neðan. Hin lárétta rennslisstefna í síðarnefnda hópnunum er sett fram á grundvelli túlkunar upphitunargagna (Valgarður Stefánsson og Einar Gunnlaugsson 1985). Jarðfræðileg lega tveggja neðstu æðanna er ekki tíunduð, nema að þær tengjast mögulega innskotsjöðrum.

JHD-BJ-8715 HF
85.12.1572 AA



Nesjavellir. Riss af líklegu vatnsæðakerfi
á 600-1400m dýpi í holu NG-7

JHD-BJ-8715 HF
85.12.1573 AA



NESJAVELLIR
Jarðfræðilíkan af vatnsleiðni við holu NG-7

6 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessarar rannsóknar eru eftirfarandi:

1. Þeim berglagastafla sem holan sker er unnt að skipta í 15 upphleðslumyndanir. Af þeim eru tíu móbergsmyndanir og 5 hraunlagamyndanir.

Alls greindust 59 innskotslög í holunni með um 500 m samanlagðri sýndarþykkt. Fjöldi innskota eykst með dýpi, ofan 600 m fundust engin innskotslög, á 600-1500 m er fjöldi þeirra nokkuð breytilegur eða frá um 9% af berglagastaflanum upp í 20%. Neðan 1500 m dýpis eykst hlutfall innskota upp fyrir 70% af berglögum. Basalt er ráðandi innskotagerð, en einnig fundust í svarfgreiningu og gammamælingum ísúr innskot á 12 stöðum neðan 900 m dýpis. Þessi ísúru innskot skiptast greinilega í tvo hópa, þ.e. fínkorna ferskleg basaltandesít, og grófkorna mjög ummyndað díorít.

Samanburður við jarðlagaskipan í NG-5 leiðir í ljós að líklegt er að NG-7 skeri misgengi með 50-100 m sigi á 800-900 m dýpi.

2. Jarðlagamælingar í holunni studdu svarfgreiningu á margan hátt. Ber þar helst að nefna gamma-mælinguna sem sýndi vel staðsetningar ísúrtra innskota, auk þess að greina sums staðar skýr mörk á milli móbergsmyndana. Þessi mæliaðferð, poruhlutamælingin (n-n) og viðnámsmælingin veittu víða upplýsingar um nákvæmari staðsetningu berglaga. Grófur samanburður viðnámsgilda og jarðlagastrúktúrs gaf ekki skýra tengingu. Hins vegar virðist ummyndun og ummyndunarstig bergsins geta að einhverju leyti skýrt viðnámsbreytingar með dýpi. Athugun var gerð á poruhluta og viðnámi annars vegar og jarðlagagreiningu hins vegar. Hún leiddi í ljós að í grófum dráttum er samræmi á milli jarðlaga og mæligilda. Sú skýring er þó alls ekki einhlýt og í framhaldi þarf slíkur samanburður einnig að skoðast í ljósi ummyndunar viðkomandi berglaga (útfellingar, ummyndun frumhluta bergs, sprungubelti o.fl). Slíkri framhaldsathugun verður ekki gerð skil hér.
3. Ýmsar upplýsingar um jarðhitakerfið fást með rannsókn á ummyndun. Samanburður á ummyndun í NG-6 og NG-7 gefur til kynna að NG-7 er boruð nærri útkanti jarðhitasvæðisins. Ummyndun (útfellingar, ummyndun frumhluta bergsins o.fl.) í efstu 500 m berglagastaflans er hverfandi. Það bendir til þess, að "prímer" lekt berglagastaflans á þessu dýptarbili ætti að vera nær ótruflað. Neðan 600 m eru holrými að langmestu leyti fyllt af útfellingum, en það gæti bent til takmarkaðrar "prímer"lektar í jarðhitageyminum.

Útfellingar á dýptarbilinu ca 1400-1950 m eru mun fátíðari en á næstu 1000 m fyrir ofan. Á þessu dýptarbili eru innskot ráðandi og er það talið merkja að þau séu og hafi aldrei verið umtalsverðir vatnsleiðarar.

Líkleg tímaröðun ummyndunarsteinda í NG-7 er að mörgu leyti samþærileg þeirri sem gerð var í NG-6. Útfellingaröðin í NG-7 sýnir kalsít vera síðustu sjáanlegu útfellinguna niður á um 1300 m dýpi en þar fyrir neðan er prenit síðast. Þó er mögulegt að wollastonít, wairakít og kvarz hafi fallið út á eftir prenití á 1300-1600 m dýpi.

4. Berghiti á 500-900 m dýpi er langt ofan við stöðugleikamörk þeirra zeólíta sem greindust á þessu dýptarbili (að wairakíti undan-teknu).

Í svarf- og þunnsneiðagreiningu var athuguð nokkuð tíðni sprungufyllinga með dýpi. Sú athugun leiddi í ljós að unnt er að afmarka dýptarbil þar sem líklegt er að borholan skeri sprungubelti. Þar sem vatnsleiðni djúpt í berggrunni er talin liggja að nokkru eftir sprungum, þá mun þessi rannsóknaraðferð vænleg til að auka túlkunarmöguleika á jarðfræðilegri legu vatnsæða.

5. Athuguð voru öll gögn sem veitt gætu upplýsingar um og staðfest vatnsæðar í holunni. Alls voru staðsettar 20 vatnsæðar. Ellefu þeirra liggja ofan vinnslufóðringadýpis (585 m), en níu í vinnsluhluta holunnar. Rannsókn á jarðlögum og ummyndun holunnar gefur nokkuð góða mynd af legu vatnsæðanna í berggrunninum umhverfis holu NG-7. Ofan 600 m, þar sem útfellingar og ummyndun er lítil, stjórnast vatnsæðar af "prímerrí" lekt upphleðslumyndananna og eru því í láréttu pláni. Lektin virðist vera mest á mörkum móbbergsmýndana. Í vinnsluhluta holunnar er vatnsleiðnina helst að finna í "sekúnderum" strúktúrum, við jaðra innskota eða í sprungubeltum (misgengjum). Þannig er með vatnsæðar á dýptarbilinu 800-1300 m en þar virðist holan fara eftir berggangi og sprungubelti. Neðstu tvær vatnsæðarnar eru taldar tengjast innskotajöðrum.

HEIMILDASKRÁ

- Guðmundur Ó. Fridleifsson, 1983: The geology and the alteration history of the Geitafell central volcano, Southeast Iceland. Ph.D. thesis, Grant Institute of Geology, University of Edinburgh, 371 p.
- Hjalti Franzson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Héðinn Ágústsson, 1983: Nesjavellir, hola NG-7. Þriðji áfangi: borun vinnsluhluta, 593-2001 m. OS-83105/JHD-44 B, 23 s.
- Hjalti Franzson, 1985: Eldvörp, hola EG-2. Borholujarófræði (Handrit á Orkustofnun.
- Hrefna Kristmannsdóttir and Jens Tómasson, 1974: Nesjavellir. Hydrothermal alteration in a high-temperature area. International Symposium on Water-Rock Interaction. Prague, September 1974.
- Hrefna Kristmannsdóttir and Jens Tómasson 1978: Zeolite zones in geothermal areas in Iceland. In: Natural Zeolites. Occurrence, properties, use. Edited by L.B. Saud Mumpton. Pergamon Press. Oxford and New York 1978.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1981: Wollastonite from hydrothermally altered basaltic rocks in Iceland. Mineralogical Magazine, March 1981, vol. 44, pp 95-99.
- Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1974: Nesjavellir, hola 5. OS JHD 23, 50 s.
- Jens Tómasson, Héðinn Ágústsson og Valgarður Stefánsson, 1983 a: Nesjavellir, hola NG-7. Fyrsti áfangi: Borun í 183 m og steyping 13 3/8" fóðringar. OS-83103/JHD-39 B, 15 s.
- Jens Tómasson, Hilmar Sigvaldason, Héðinn Ágústsson, Guðlaugur Hermannsson, Ómar Bjarki Smáráson og Sigurður Benediktsson, 1983 b: Nesjavellir, hola NG-7. Annar áfangi: borun frá 183 m í 593 m og steyping 9 5/8" fóðringar. OS-83104/JHD-40 B, 23 s.
- Tulloch, A.J., 1982: Mineralogical observations on carbonate scaling in geothermal wells at Kawerau and Broadlands. Proceedings of the Pacific Geothermal Conference, Part 1, p. 131-134.

Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson, 1983: Nesjavellir, hola NG-6. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. OS-83023/JHD-04, 100 s.

Valgarður Stefánsson og Einar Gunnlaugsson 1985: Nesjavellir, hola NG-7. Upphitun, upphleyping og blástur. Orkustofnun (í handriti).

Walker, G.P.L. 1963: The Breiddalur central volcano, eastern Iceland. Quart. J. Geol. Soc. Lond., 119, p 29-63.

ENGLISH SUMMARY

This report deals with geological and geophysical investigation on the rocks penetrated by the well NG-7 at the Nesjavellir high-temperature area in Southwest Iceland.

The well was drilled from October 10 to November 17 1983. The drilling took a total of 39 days and the well reached the depth of 2001 m. The drilling progressed in three stages; a 13 3/8" safety casing was sunk down to 178 m, production casing down to 586 m, and a slotted liner was placed in the production part of the hole.

The rocks penetrated by the well can be divided into 15 units of extrusive origin, i.e. 10 hyaloclastite units, each representing an eruption under glacial condition and 5 lava units, where each unit representing a series of lavas erupted during an interglacial period. Intrusive rocks show an increase down the hole. While no intrusive rocks are encountered in the uppermost 600 m, 9-22% of the penetrated sequence are of intrusive origin in the depth interval of 600-1500 m. Below that depth intrusive rocks constitute over 70% of the rock sequence.

A stratigraphic correlation with the nearest well NG-5 (distance approx. 300 m) postulates a fault below 800 m with a throw of 50-100 m. Due to the relative abundance of fracture fillings in the depth range of 800-1300 m it is proposed that well NG-7 dissects this fault at that depth range.

Geophysical logs (natural-gamma, neutron-neutron, 16" resistivity and caliper) in many ways aid and confirm the geological structure penetrated in the drillhole. The natural-gamma is very useful in detecting the more evolved rock types, in this case basaltic-andesites and diorites, as well as differentiating between some of the extrusive units. The porosity (neutron-neutron) and resistivity shows in a general way some correlation with the rock character, but also some relation with alteration state of the rock.

The rock alteration gives a number of useful information on the geothermal reservoir: The general lack of alteration in the uppermost 500 m of the strata suggests strongly that the well is situated near to the margin of the geothermal field.

The calculated rock temperature in the depth range of 600-900 m increases from about 190°C to 260°C. In spite of these high temperatures, zeolites appear to remain stable. This confirms

previous studies that the Nesjavellir high-temperature field has geologically speaking very recently undergone a major rejuvenation of high temperature activity.

A study of the relative time sequence in vug- and vein fillings is in many ways similar to a study done in well NG-6, some 1200 m distance from NG-7. The sequence confirms that calcite is the last phase to precipitate in the upper 1300 m but prehnite below that depth. Vague indications are that wairakite, wollastonite and quartz precipitation may succeed prehnite at 1200-1400 m and 1500-1600 m depths.

A relative abundance assessment of fracture fillings in cutting samples was done. This method is considered to be valid in locating major fault or fracture zones.

One of the main purposes of this investigation is to assess the geological structures which control the aquifers. 20 aquifers were located in the well. Of these 11 are above 600 m and were cased off, but the remaining 9 aquifers are located in the production zone. The aquifers above 600 m are controlled by the stratigraphy of the extrusive units, in particular the boundaries between individual hyaloclastite units. The 7 aquifers entering the drillhole at 800-1300 m depth interval are believed to be controlled by a dyke and a near vertical faultplane. The lowest two aquifers are believed to be connected to intrusive margins.

VIÐAUKI A

GREININGARLYKILL JARÐLAGA

Jarðlagagreining er byggð á svarfsýnum, sem tekin eru á 2 m fresti niður holuna. Auk greiningar í svarfsjá (binocular stereomicroscope) voru gerðar 87 þunnisneiðar (greiningar í bergfræðismásjá) meðal annars til frekari ákvörðunar á berggerð. Við nákvæma staðsetningu jarðlaga í holunni var höfð hliðsjón af borhraða, skolhraða og jarðeðlisfræðilegum mælingum.

Reynt er að greina á milli tveggja berghópa; annars vegar upphleðslu-myndana (bergkvika sem storknað hefur á yfirborði) og hins vegar inn-skotsmyndana (bergkvika storknuð undir yfirborði). Því fyrirnefnda er síðan enn frekar skipt í hraunlög (runnin á hlýskeiðum) og móberg (yfirleitt mynduð við gos undir jöklum ísalda).

Einkenni **hraunlags** er einkum kargi í efri hluta en þéttari og betur kristallaður mið- og neðri hluti. Þessi einkenni endurspeglast einnig oft í breytingum í borhraða, og borholumælingum (vídd, viðnám, neftrónudreifing). Lagskil milli hraunlaga eru talin liggja lárétt í jarðlagastaflanum.

Móberg einkennist mest af tiltölulega miklu magni glers í berginu. Móbergi er skipt í þrjá undirflokk; **móbergstúff**, þar sem yfirgnæfandi hluti bergsins er ókristallað gler, **basaltbreksíu**, sem hefur að geyma nokkurt magn hlutkristallaðs glers og fínkristallaðs basalts, en í glerjuðu basalti er meirihluti bergsins hlutkristallað basalt. Þessi skipting er einnig einkennandi í rofnum móbergsmýndunum, þar sem glerjaða basaltið er að líkindum það sem kallað er bólstraberg eða bólstrabreksía. Lagskipting innan móbergsmýndunar eru mjög óregluleg vegna breytilegra aðstæðna sem ríkja á þeim tíma sem móbergið er að hlaðast upp. Efri mörk móbergsmýndana eru mjög óregluleg, sem augljóst ætti að vera ef menn horfðu til nærliggjandi fjalla á Hengils-svæðinu. Neðri mörkin, þar sem þau liggja ofan á hraunlagastafla, eru talin lárétt. Slík mörk hafa reynst heppileg til að tengja jarðlög á milli borhola.

Innskot eru nokkuð frábrugðin hraunlögum. Glögg efri skil eru jafnan gott einkenni svo og lágur poruhluti bergsins, sem oft veldur því, að þau hafa ummyndast minna en grannbergið (sem stafar og af því að innskot eru yngri). Borhraði er yfirleit fremur jafn og oft lítill. Viðnám og neftrónudreifing eru, vegna ofangreindra einkenna, fremur há. Samkvæmt jarðfræðikortlagningu í rofnum móbergsmýndunum á yfirborði eru þéttir basalteitlar þar tíðir (basalteitlar eru óreglulega löguð innskot samtíma móbergsmýnduninni). Erfitt er stundum að fá úr

Því skorið í svarfgreiningu, hvort um slíka samtíma basalteitla er að ræða eða yngri innskot, óskyld móberginu. Eru því þétt basaltlög innan móbergsmyndana túlkuð sem hluti þess, nema önnur gögn bendi til hins gagnstæða.

Auk ofangreindrar flokkunar er í mörgum tilfella unnt að sundurgreina basalt á grundvelli kristöllumunar í tvær tegundir; annars vegar ólivín-þóleiít og hinsvegar þóleiít.

Það sem helst einkennir ólivín-þóleiít er fremur gróf kristöllumun, "sub-ófetískur textúr" og síðkristöllumun (interstitial crystallization) magnetíts og áberandi mikið af ólivíni. Þóleiítið hefur fremur jafnkorna (equigranular) og magnetít sýnir teningslaga útlínur sem bendir til að það hafi kristallast fremur snemma. Þriðju basalttegundina, dílótt basalt, er stundum unnt að greina, en dílarnir eru yfirleitt plagíóklas, pyroxen og ólivín (yfirleitt > 5%). Innan megineldstöðva koma einnig fyrir ísúrt (52-68% SiO₂) og súrt (> 68% SiO₂) berg.

Í hnotskurn er mesta nytsemi nákvæmrar jarðlagagreiningar sú, að leiða getum að hvaða jarðfræðilegar aðstæður stjórni streymi vökvans í jarðhitakerfinu.

VIÐAUKI B

GREININGARAÐFERÐIR UMMYNDUNARSTEINDA

Þegar jarðhitavatn leikur um berg tekur það að ummyndast. Hraði ummyndunar svo og ummyndunarstig er komið undir mörgum samverkandi aðstæðum, en af þeim eru hitastig og vatnsleiðni einna áhrifamest.

Ummyndunarrannsóknir á háhitasvæðum gefa margs konar upplýsingar. Gerðir ummyndunarsteinda gefa vísbendingu um hita sem nú ríkir eða hefur ríkt í jarðhitageyminum, og stöku steindir geta gefið vísbendingu um efnasamsetningu jarðhitavökvans. Magn myndbreytingar getur sagt til um vatnsgæfni jarðlaga og legu vatnsæða.

Ummyndunarsteindir eru mjög breytilegar að kristalgerð og lit, og eru háðar því í hvers konar umhverfi þær myndast. Af þeim sökum er mjög mismunandi hve vel greinanlegar þær eru. Þrjár rannsóknaraðferðir voru notaðar til þess að fá sem besta heildarmynd af ummyndunarmynstrinu. Er þar fyrst um að ræða svarfgreiningu með svarfsmásjá (binocular stereó microscope) þar sem hvert sýni, sem tekið er, er athugað. Í annan stað voru valin 87 þunnsneiðarsýni af svarfi og þau skoðuð í bergfræðismásjá, og í þriðja lagi voru valdar steindir, sem greindar voru með röntgen diffraksjón (XRD). Í síðastnefndu greiningunni voru sýnin greind á tvennan hátt, annars vegar 49 sýni af leirsteindum og hins vegar 11 sýni af öðrum steindum.

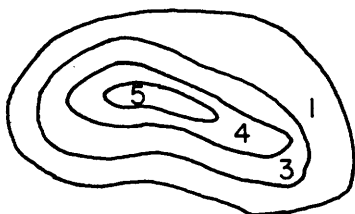
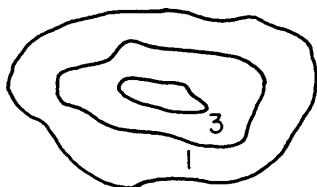
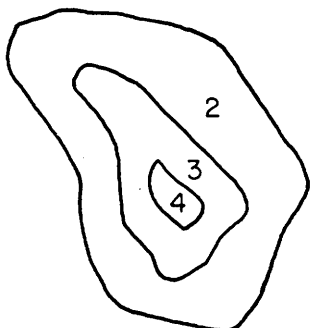
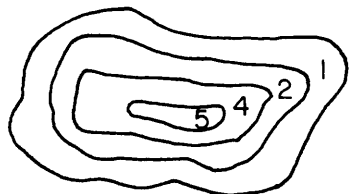
Líta má á ummyndun frá tveimur sjónarhornum; annars vegar áhrif jarðhitans á frumhluta bergsins, svo sem á gler, magnetít, ólivín, pýroxen og plagioklas, og hins vegar hvaða og hve mikið jarðhitavökvinn hefur myndað af steindum.

Í meðfylgjandi töflu er sýnt hvaða greiningaraðferðir komu helst að notum við mat á dreifingu einstakra ummyndunarsteinda.

Með athugunum á röðun ummyndunarsteinda í blöðrum og sprungum berglaga er unnt á grófan máta að gera sér í hugarlund þróun jarðhitakerfisins með tíma, og svo hvort núverandi aðstæður í jarðhitakerfinu séu í jafnvægi við ríkjandi ummyndunarmynstur.

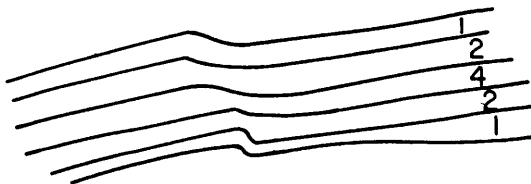
JHD-BJ-2300 HF.
83.01.0003 AA

SKEMATISKUR ÞVERSKURÐUR AF ÚTFELLINGUM Í HOLRÝMUM BERGLAGA



AFSTÆÐUR ALDUR STEINDA

"Elst" → "Yngst"
1 > 2 > 3 > 4 > 5



Fjöldi ummyndunarsteinda í einstökum holrýmum er mjög breytilegur. Innbyrðis lega þeirra í hverju holrými gefur til kynna afstæðan aldur þeirra eins og sýnt er á einfaldaðan hátt á mynd 30. Röðun þeirra í tíma og rúmi geta gefið upplýsingar um þær breytingar sem orðið hafa í jarðhitakerfinu og jafnvel veitt upplýsingar um hvaða steindir eru líklegastar til að vera í jafnvægi við núverandi ástand jarðhitakerfisins.

TAFLA 4 Aðferðir notaðar við greiningar á ummyndunarsteindum

Steindir	Svarf- greining	Punnsneiða- greining	Röntgen- greining	Saltsýra
Kalsít	(X)	X		X
Kalsedón	X	(X)		
Kvars	X	X		
Tomsonít	X	X	(X)	
Analsím/Wairakít	X	X	X	
Skólesít/Mesolít	X	X	(X)	
Mordenít	X	X	(X)	
Laumontít	(X)	X	(X)	
Albít		X		
Kalíum-feldspat		X		
Prenít	(X)	X		
Epidót	X	X		
Sphen	(X)	X		
Wollastonít	X	(X)		
Amfíból		X	X	
Granat		X		
Pýrít	X	X		
Smektít	(X)	(X)	X	
Blandlagsleirsteindir	(X)	(X)	X	
Svellandi klórít	(X)	(X)	X	
Klórít	X	X	X	
Illít		(X)	X	
Clínó-Pýroxen	X	X		
Magnetít	X	X		
Oxaður málmur	X	X		

TAFLA 5 Nesjavellir NG-7
Mælingar í borun og upphitun eftir borun

Dags.	Tími kl.	Hvað mælt	Dýptarbil (m)	Ástand holu	Tilgangur mælinga	Aths.
831017	08:20-08:40	Hiti-dT-CCL	0-67(74)	Í borun	Finna lekastaði	
-"	09:00-09:30	Vídd	0-67(74)	- " -	Finna skápa	
831018	18:40-18:50	Hiti-dT-CCL	0-75(84)	- " -	Finna lekastaði	
-"	19:00-19:20	Vídd	0-75(84)	- " -	Finna skápa	
831020		Hiti-dT-CCL	0-85,3(86)		Finna lekastaði	
-"		Vídd	0-85,3(86)		Finna skápa	
831022	18:00-19:00	Hiti-dT-CCL	0-170(183)	Fóðrunardýpi	Ath. upphitun	Strengur í holu
-"	21:00-21:30	Vídd	0-175(183)	Ádæling 10 l/s	Skápar	
-"	22:00-22:30	Viðnám	70-175(183)	- " -	Jarðlög	
831028	06:06-07:10	Hiti-dT-CCL	0-386(395)		Upphitun	Svarf náðist illa
-"	07:10-08:00	Vídd	0-380(395)		og æðar	upp úr holunni
-"					Skápar	- " -
831030	10:30-11:45	Hiti-dT-CCL	0-582(593)	Fóðrunardýpi	Upphitun	Strengur í holu
-"	17:34-18:20	Hiti-dT-CCL	0-587(593)	Vatnsborð	- " -	Borlok fyrir
-"				í 80,3 m		fóðringu
-"	18:26-20:20	N-N+Gamma	0-587(593)	- " -	Jarðlög	- " -
-"	20:48-21:28	Vídd	0-587(593)	- " -	Skápar	- " -
-"	22:09-22:35	Viðnám	0-587(593)	- " -	Jarðlög	- " -
831101	13:00-13:50	Hiti-dT-CCL	0-563(593)	1. steypingu	Upphitun	Mælt fyrir
-"	14:28-15:40	CBL	0-560(593)	9 5/8" lokið	- " -	CBL-mælingu
-"	17:29	Skotið 8 eggjum	182,5(593)	- " -	Steypuborð	Steypuborð
-"					Steypugæði	í 182,5 m
-"					Hringdæling	
831112	07:00-10:00	Hiti-dT-CCL	0-1990(2001)	Borun lokið	Upphitun	Strengur í holu
831113	07:00-09:00	Hiti-dT-CCL	0-1990(2001)	Ádæling 20 l/s	- " -	Borlok
-"	10:00-13:00	Vídd	0-1992(2001)		Skápar	- " -
-"	13:30-17:00	Viðnám	0-1993(2001)		Jarðlög	- " -
-"	17:30-22:00	N-N+Gamma	0-1990(2001)		- " -	- " -
831116	22:00-12:00	Hiti+þrýst	0-1993(2001)		Þrepadæling	
831124	14:20-15:00	Hiti-dT-CCL	0-500(1975)	Borun lokið	Upphitun	Upphitun hófst
-"	15:15-16:50	Am. Hiti	0-1975(1975)	- " -	- " -	17.11'83
-"	17:00-18:30	Am.Þrýstingur	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
831209	18:00-19:00	Hiti-dT-CCL	0-510(1975)	- " -	- " -	- " -
-"	19:00-20:30	Am.Hiti	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
-"	20:30-21:30	Am.Þrýstingur	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
831221	19:00-19:50	Hiti-dT-CCL	0-520(1975)	- " -	- " -	- " -
-"	19:55-21:18	Am. Hiti	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
-"	21:48-22:55	Am.Þrýstingur	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
840313	13:00-14:00	Hiti-dT-CCL	0-490(1975)	- " -	- " -	- " -
-"		Am. Hiti	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
-"		Am.Þrýstingur	0-1975(1975)	- " -	- " -	- " -
840413	11:30-13:30	Am. Hiti	0-1962	- " -	- " -	Upphleyping
-"						mistókst
840522	15:00-17:00	Hiti-dT-CCL	0-800	- " -	- " -	- " -
840522	18:00-21:30	Am. Hiti	0-1950	- " -	- " -	- " -
840528	13:00-13:45	Hiti-dT-CCL	0-535	- " -	- " -	- " -
-"	13:45-17:00	Hiti-dT-CCL	0-580	- " -	- " -	- " -