

OS-99113



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

ÚTLÁN
Bókasafn Orkustofnunar

UTLAN
Bókasafn Orkustofnunar

HÖFUÐBORGARSVÆÐI
Holur HS-49 og HS-50
Jarðfræði og
jarðlagamælingar

Elsa G. Vilmondardóttir
Steinar Þór Guðlaugsson
Sigurður Sveinn Jónsson
Bjarni Richter
Benedikt Steingrímsson

ÚTLÁN

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

1999

OS-99113



Skýrsla nr: OS-99113	Dags: Desember 1999	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: HÖFUÐBORGARSVÆÐI Holur HS-49 og HS-50 Jarðfræði og jarðlagamælingar	Upplag: 30	
	Fjöldi síðna: 28	
Höfundar: Elsa G. Vilmundardóttir, Steinar Þór Guðlaugsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Bjarni Richter, Benedikt Steingrímsson	Verkefnisstjóri: Benedikt Steingrímsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Úrvinnsla jarðlagagreininga og borholumælinga	Verknúmer: 8-610011/610012	
Unnið fyrir: Orkuveitu Reykjavíkur		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Gerð er grein fyrir úrvinnslu gagna úr tveimur borholum á höfuðborgarsvæðinu, fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Um er að ræða framhald rannsókna sem orkuveitan hefur staðið að í samvinnu við Orkustofnun. Megintilgangur borananna er að kanna hitaástand berggrunnins við jaðra lághitasvæðanna, en einnig að afla upplýsinga um jarðlagaskipan og jarðhitaummyndun. Hóla HS-49, sem var boruð 1997, er 1005 m djúp og HS-50, boruð 1998, er 800 m djúp. Lýst er í stuttu máli gangi borunar hvorrar holu fyrir sig, síðan er lýsing á jarðlögum byggð á greiningu borsvarfs með hliðsjón af jarðlagamælingum, þunnsneiðum og röntngreiningum. Einnig er gerð grein fyrir ummyndun bergsins, fyrrverandi hitaástandi þess og vatnsæðum sem fram koma í borun. Í báðum holunum einkennist jarðlagastafinn af þykkum móbergsmýndunum gegnumskornum af fjölmörgum þunnum basaltinnskotum. Samtúlkun borsvarfs og jarðlagamælinga auðveldaði mjög gerð jarðlagasniðsins, sérstaklega greiningu á innskotum. Úr mælingunum fengust einnig sterkar vísbendingar um að steindir bergsins hafi veruleg áhrif rafeiðni jarðlaganna og er það áhugavert tilefni til frekari rannsókna.		
Lykilorð: Höfuðborgarsvæði, lághitasvæði, grunnvatnskerfi, borholur, jarðlög, ummyndun, jarðlagamælingar	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: BS	



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið
Reykjavík - Akureyri

Verknr. 610011/610012

**Elsa G. Vilmundardóttir
Steinar Þór Guðlaugsson
Sigurður Sveinn Jónsson
Bjarni Richter
Benedikt Steingrímsson**

Höfuðborgarsvæði

Holur HS-49 og HS-50

Jarðfræði og jarðlagamælingar

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

OS-99113

Desember 1999

ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896

Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998

Netfang: os@os.is - Veffang: <http://www.os.is>

EFNISYFIRLIT

1. Inngangur	3
2. Hola HS-49 - Akrar, Mosfellsbæ	3
2.1 Inngangur	3
2.2 Jarðlagalýsing	5
2.2.1 Jarðlagasnið (sjá mynd 2)	9
2.2.2 HS-49 Þunnsneiðalýsing	9
2.2.3 Ummyndun í holu HS-49	10
3. Hola HS-50 - Leirvogstunga, Mosfellsbæ	12
3.1 Inngangur	12
3.2 Jarðlagalýsing	12
3.3 Jarðlagasnið (sjá mynd 3)	15
3.4 HS-50 Þunnsneiðalýsingar	16
3.5 Ummyndun í holu HS-50	16
4. Vatnsæðar í HS-49 og HS-50	18
5. Jarðlagamælingar	19
5.1 Jarðlagamælingar í hola HS-49	21
5.2 Jarðlagamælingar í holu HS-50	25
6. Heimildir	28

TÖFLUR

1. Borholur HS-49 og HS-50. Skrá yfir þunnsneiðar	4
2. Borholur HS-49 og HS-50. XRD-greiningar	4
3. Borhola HS-49. XRD-greiningar á útfellingum	11
4. Borhola HS-50. XRD-greiningar á útfellingum	17
5. Vatnsæðar í HS-49 samkvæmt borskýrslu	18
6. Jarðlagamælingar í holum HS-49 og HS-50	19
7. Meðaltöl og staðalfrávik dreifinga jarðlagamælinga í HS-49 og 50	21

MYNDIR

1. Afstöðumynd borholna	6
2. Borhola HS-49. Jarðlagamælingar	7
3. Borhola HS-50. Jarðlagamælingar	13
4. Tíðnidreifing poruhluta og kísilsýru í holu HS-49	23
5. Tíðnidreifing viðnáms í holu HS-49	24
6. Tíðnidreifing poruhluta og kísilsýru í holu HS-50	26
7. Tíðnidreifing viðnáms í holu HS-50	27

1. Inngangur

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir framhaldi rannsókna sem Orkuveita Reykjavíkur hefur staðið að í samvinnu við Orkustofnun á undanförunum árum. Tilgangur þeirra er að kanna hitaástand berggrunnins á vinnslusvæðum í nágrenni vinnslusvæða og þrýstibreytingu út frá svæðunum.

Í skýrslunni er skýrt frá niðurstöðum athugana á eftirtöldum tveimur borholum: Borholu HS-49 sem kennd er við Akra í landi Reykjahvols í Mosfellsbæ, skammt frá jarðstöðinni Skyggni, og holu HS-50 við Leirvogstungu í Mosfellsbæ, um 60 m norðan við brúna á Köldukvísl. Þær eru 1005 og 800 m djúpar og voru boraðar 1997 og 1998. Sjá staðsetningu holnanna á mynd 1.

Fjallað er um holurnar á svipaðan hátt og gert er í skýrslum um holur HS-35 og HS-37 til HS-43 og HS45 til HS-48 (Sigurður Sveinn Jónsson o. fl., 1996; 1998). Notað er nýtt forrit við gerð jarðlagasniða, Logplot98.

Í stuttum inngangskafli fyrir hvora holu um sig er fjallað um gang borunar, fódningar, steypingar og annað sem að borverkinu lýtur. Síðan fylgir lýsing á jarðlögum og túlkun byggð á greiningu borsvarfs með aðstoð þunnssneiða, röntgengreininga og jarðlagamælinga. Í lok umfjöllunar um hvora holu er gerð grein fyrir ummyndun og fyrrverandi hitaástandi. Fjallað er um vatnsæðar í sérstökum kafla.

Borsvarfi var safnað á tveggja metra bili og byggist jarðfræðileg úrvinnsla á athugunum á því, en einnig var stuðst við þunnssneiðar við ákvörðun berggerðar og ummyndunar (tafla 1). Röntgengreining (XRD) var notuð við ákvörðun steinda (tafla 2) og er niðurstaðna getið í ummyndunarkafli fyrir hvora holu um sig.

Tvær mismunandi dýptarviðmiðanir eru í skýrslunni. Í borsögunni er miðað við drifborð bortækjanna, en önnur dýpi eru miðuð við flans. Þar sem frávik eru frá þessu er viðmiðunarinnar getið sérstaklega.

2. HOLA HS-49 - AKRAR, MOSFELLSBÆ

2.1 Inngangur

Holan er við Úlfarsfellsveginn milli Reykjavíkur og Mosfellsbæjar, skammt austan við jarðstöðina Skyggni (mynd 1). Staðarnúmer hennar í gagnagrunni Orkustofnunar er 14096 og landmælt Lambert-hnit 678669,10; 410029,85. Hún var boruð af jarðborunum Ými og Narfa á tímabilinu 14. maí - 11. júlí 1997 og tók verkið alls 32 daga. Dýpt holunnar er 1005 m. Sýni vantar af 498-610 m dýpi. Sýni voru tekin, en svarf frá þessu bili virðist hafa orðið viðskila við annað svarf holunnar og hefur ekki fundist enn þrátt fyrir ítrekaða leit.

Áður en Ými var komið fyrir á holunni hafði verið sett niður leiðirör í steiptum kjallara á borplaninu. Borað var fyrir yfirborðsfóðringu með 12 1/4" lofthamri niður á 61 m dýpi.

Tafla 1. Borholur HS-49 og HS-50. Skrá yfir þunnsneiðar.

Hola nr.	Þunnsn. nr.	Dýpi m miðað við drifborð	Leiðrétt dýpi m miðað við flans
HS-49	16872	84	84
HS-49	16873	180	180
HS-49	16874	252	252
HS-49	16875	346	346
HS-49	16876	466	464
HS-49	16877	644	642
HS-49	16878	740	738
HS-49	16879	854	852
HS-49	16880	994	992
HS-50	16881	88	88
HS-50	16882	180	178
HS-50	16883	288	286
HS-50	16884	356	354
HS-50	16885	450	448
HS-50	16886	588	584
HS-50	16887	688	686
HS-50	16888	798	798

Tafla 2. Borholur HS-49 og HS-50. XRD greiningar.

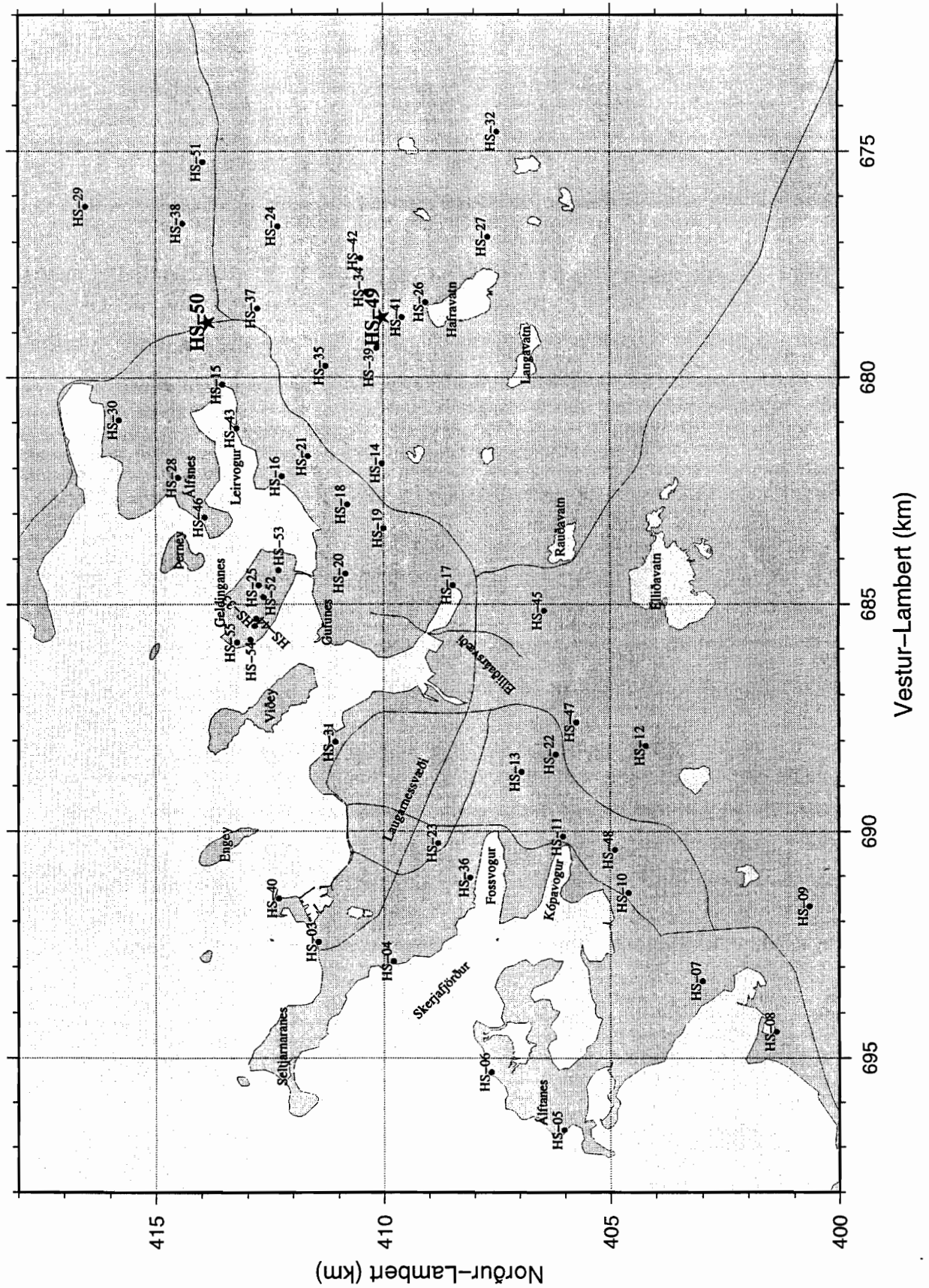
Hola nr.	XRD nr.	Dýpi m miðað við drifborð	Leiðrétt dýpi m miðaða við flans
HS-49	32049	94	94
HS-49	32050	166	166
HS-49	32051	264	264
HS-49	32052	330	330
HS-49	32053	448	446
HS-49	32054	616	614
HS-49	32055	780	778
HS-49	32056	862	860
HS-49	32057	980	978
HS-50	32058	38	38
HS-50	32059	114	114
HS-50	32060	264	262
HS-50	32061	342	340
HS-50	32062	472	470
HS-50	32063	538	534
HS-50	32064	654	652
HS-50	32065	738	736

Síðan var 10 3/4" stálrör sett niður á botn (58,1 m dýpi miðað við flans) og það steypst fast með 4200 kg af sementi blönduðu 2300 l af vatni. Steypingin tókst vel og kom steypan upp. Narfi tók síðan við og boraði fyrst út steypuna úr fóðurrörinu og síðan í berg með blöndu lofts og vatns og 9 7/8" lofthamri. Á 234,0 m dýpi var skorin vatnsæð, sem gaf 20 l/s og fór vatnsborð í 100 m. Þá var tekið upp, sett niður 9 5/8" hjólakróna og borað með lofti niður á 252,5 m dýpi. Þá var ákveðið að steypa í æðina vegna erfiðleika í borun. Fyrst var steypst gegnum stangir úr 4 m³ af sementsseðju. Reyndist æðin enn opin og steypuborðið í 238 m. Var þá hellt í holuna 1 m³ af sementsblöndu með perlusteini og nælontrefjum og síðan spónum og 4 m³ af sandsteypu. Seig steypan ekki. Þá var sett niður 9 5/8" hjólakróna og steypa boruð frá 58,5 m. Ósteypur kafli kom í ljós neðan 102 m. Var þá tekið upp, bætt í álagsstögum og sett niður á neðra steypuborðið. Reyndist það vera í 230 m og hafði því steypst í æðina. Borun var þá haldið áfram og borað með vatni, fyrst steypa á bilinu 230 - 252,5 m, og síðan í berg niður á 568 m dýpi. Var þá 8 5/8" vinnslufóðring sett niður á 564 m dýpi (miðað við flans) og hún steypst föst. Var fyrst steypst úr 23 m³ gegnum stangir, 2000 l af vatni dælt á eftir og steypst úr 7 m³ ofan á. Holan fylltist þó ekki. Var steypst aftur ofan á úr 5 m³ og fylltist hún þá. Þá var sett niður 7 7/8" hjólakróna og borað með vatni, fyrst stungustykki, steypa og skór, en síðan í berg frá 568 m niður á 1005 m dýpi.

2.2 Jarðlagalýsing

Samkvæmt svarfgreiningunni eru hraunlög með setlögum í efsta hluta holunnar, en neðan 124 m eru jarðlögin að meginhluta ummynduð basaltbreksía og basalttúff ásamt fjölmörgum, oftast nær þunnum basaltinnskotum, sem eru lítið sem ekkert ummynduð. Á nokkrum stöðum finnast túffrík setlög sem sýna myndanaskil, en neðan 360 metra eru myndanirnar sundurskornar af rúmlega 40 innskotum og sjást þau flest flest bæði í svarfi og mælingum. Jarðlagamælingar styðja í öllum aðalatriðum þessa niðurstöðu.

Samanburður milli jarðlagamælinga og svarfgreininga varð til þess að ýmsar leiðréttingar og breytingar voru gerðar á upprunalega jarðlagasniðinu, sem byggt var á svarfgreiningunni einni saman. Tengingar milli lagmóta í óleiðréttu sniðinu og jarðlagamælinga á 35 stöðum í holunni sýndu að dýpi á lagmót var 0-4 m meira í sniðinu en í mælingunum. Reyndist munurinn vera um 2,5 m að meðaltali, og vaxandi með dýpi. Jarðlagasniðið var dýptarleiðrétt á þessum stöðum með því að færa lagmótin til samræmis við mælingarnar. Vegna blöndunar svarfsins reyndust jarðlagamælingarnar hafa töluvert betri dýptarupplausn en svarfgreiningin og tókst með samtúlkun svarfsýna og jarðlagamælinga að greina lagmót á á 23 nýjum stöðum neðan vinnslufóðringar, en 40 lagmót höfðu greinst á því dýptarbili í upprunalega sniðinu. Túlkun á jarðlagagerð var enn fremur breytt á 17 stöðum. Í báðum tilvikum munaði mest um hve miklu auðveldara er að greina þunn innskot þegar svarfsýni og jarðlagamælingar eru samtúlkaðar, en þegar byggt er á svarfinu einu saman. Með þessari aðferð greindust 15 innskot, sem sáust óljóst svarfinu. Svarfsýni vantaði á bilinu 498-610 m, og er jarðlagastaflinn, sem sýndur er í sniðinu á þessu bili, tillaga byggð á túlkun jarðlagamælinganna og samanburði þeirra við jarðlagasniðið annars staðar í holunni (mynd 2).



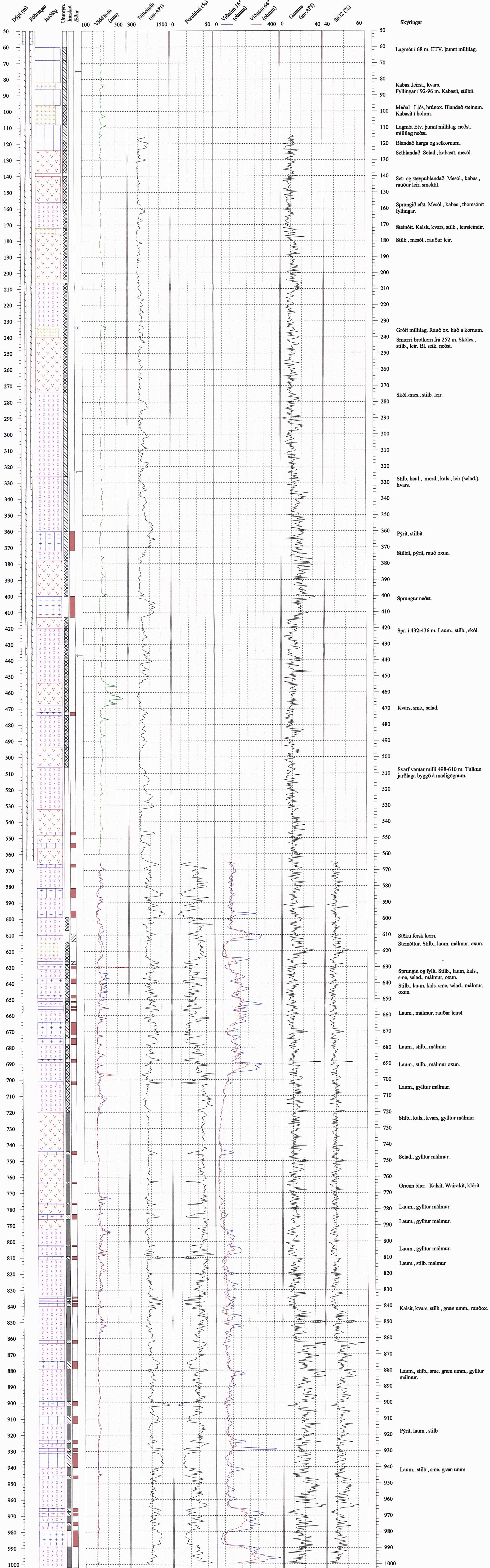
Mynd 1. Afstöðumynd borholna.

Staður: Akkrar
Holunafn: HS-49

Bor: Ýmir og Narfi
Dýptarbil: 0-1005

Skolvökvi: Vatn
Verkluti: Allir

Staðarnúmer: 14096
Starfsmenn: BS, BR, EGV, GrB, KB, SPG

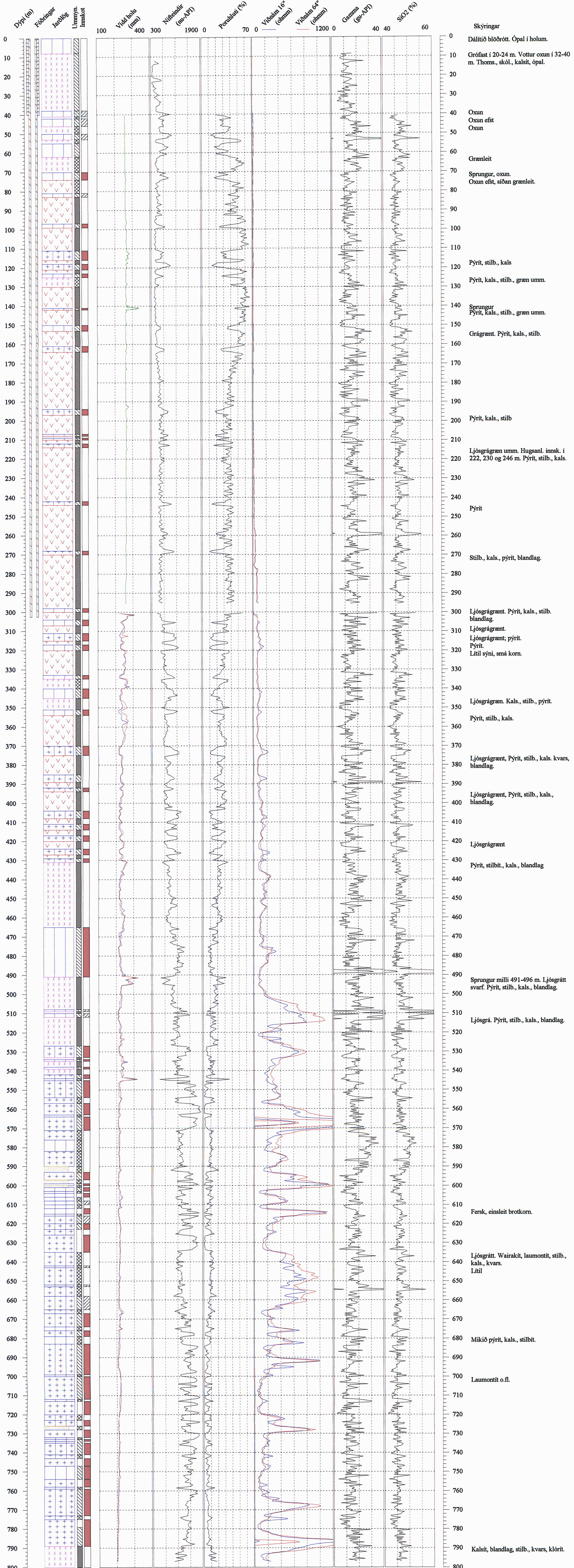


Staður: Leirvogstunga
Holunafn: HS-50

Bor: Narfi
Dýptarbil: 0-800

Skolvökvi: Vatn
Verkhuti: Allir

Staðarnúmer: 12974
Starfsmenn: BS, BR, EGV, GrB, KB, SPG



0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
360
370
380
390
400
410
420
430
440
450
460
470
480
490
500
510
520
530
540
550
560
570
580
590
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800

Skýringar

0 Dálftið blöðrótt. Ópal í holum.

10 Grófast í 20-24 m. Vottur oxun í 32-40 m. Thoms., skól., kalsít, ópal.

40 Oxun
Oxun efst
Oxun

60 Grænleit

70 Sprungur, oxun.
Oxun efst, síðan grænleit.

120 Pýrit, stílb., kals

130 Pýrit, kals., stílb., græn umm.

140 Sprungur
Pýrit, kals., stílb., græn umm.

150 Grágrænt. Pýrit, kals., stílb.

200 Pýrit, kals., stílb

220 Ljósgráren umm. Hugsanl. innsk. í 222, 230 og 246 m. Pýrit, stílb., kals.

250 Pýrit

270 Stílb., kals., pýrit, blandlag.

300 Ljósgrárennt. Pýrit, kals., stílb. blandlag.

310 Ljósgrárennt.

320 Ljósgrárennt; pýrit.
Pýrit.
Lítill sýni, smá korn.

350 Ljósgráren. Kals., stílb., pýrit.

360 Pýrit, stílb., kals.

380 Ljósgrárennt, Pýrit, stílb., kals. kvars, blandlag.

400 Ljósgrárennt, Pýrit, stílb., kals., blandlag.

420 Ljósgrárennt

430 Pýrit, stílbít., kals., blandlag

490 Sprungur milli 491-496 m. Ljósgrátt svarf. Pýrit, stílb., kals., blandlag.

510 Ljósgrá. Pýrit, stílb., kals., blandlag.

610 Fersk, einsleit brotkorn.

640 Ljósgrátt. Wairakit, laumontít, stílb, kals., kvars.
Lítill










680 Mikið pýrit, kals., stílbít.

700 Laumontít o.fl.



790 Kalsít, blandlag, stílb., kvars, klórit.

Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun





Berggerðir

	Basalttúff
	Basaltbreksía
	Fín-meðalkorna basalt
	Meðal-grófkorna basalt
	Grófkorna basalt
	Eðjusteinn
	Sandsteinn
	Möl og steinar
	Svarf vantar




Innskot

	Innskot
	Hugsanlegt innskot

Ummyndunarstig

	Engin ummyndun
	Lítill ummyndun
	Meðal ummyndun
	Mikil ummyndun

Vatnsæðar

	Lítill æð
	Meðal æð
	Stór æð

2.2.1 Jarðlagasnið (sjá mynd 2)

0-60 m Svarf vantar

- 60-124 m Basalt með millilögum úr seti og karga. Basaltlögin eru fín- meðalkorna, sennilega þóleíft. Tvö túffrík setlög eru milli hraunlaganna, 2 og 12 m þykk.
- 124-240 m. Basaltúff og basaltbreksía með millilögum. Um er að ræða þrjú tiltölulega þunn lög (um 30-50 m þykk) aðgreind af þunnum millilögum.
- 240-498 m Basalttúff og basaltbreksía með innskotum frá 360 m. Þrjú innskot greindust, tvö þau efstu eru 10-12 m þykk. Engin millilög sáust í þessum kafla holunnar. Ummyndunarsteindir breytast í átt til herra hitastigs.
- 498-610 m. Svarf vantar. Svarfi var safnað á þessu bili en hefur týnst og ekki fundist þrátt fyrir ítarlega leit. Jarðlagasniðið byggir eingöngu á túlkun mæligagna. Þau benda til svipaðra jarðlaga og ofar og neðar í holunni og virðast skiptast á lög af basalttúffi og basaltbreksíu. Einnig gefa mælingarnar vísbendingu um fimm innskot sem eru á bilinu 2-5 m á þykkt milli 546 og 599 m.
- 610-624 m Basaltbreksía, hugsanlegt innskot og undir því 10 m þykkt setberg. Breksían virðist vera framhald lagsins ofar í holunni. setbergið er túffríkur sandsteinn og eitthvað af grófara efni með. Ekki fundust örugg merki um setberg neðar í holunni.
- 624-720 m. Basaltbreksía með tíu 1-8 m þykkum innskotslögum. Það þykkasta er á 664-672 m dýpi. Breksían er fín-meðalkorna, basaltbrot blönduð túffi og er túffið meira ummyndað en basaltið.
- 720-792 m. Basalttúff með fjórum innskotslögum (1-3 m þykk). Frá og með 764 m breytist litur túffsins frá því að vera brúnn og fær grænan blæ. Túffið sýnir merki mikillar ummyndunar.
- 792-1004 m. Á þessu bili er basaltbreksía, grænleit og mikið ummynduð. Hún er sundurskorin af 18 innskotslögum úr dökku þóleífti. Þau þykkustu 9 og 10 m þykk eru neðan 930 m. Þykkasta lagið í 979-989 m hefur mjög ferskan blæ. Holan endar í innskotslagi sem einnig er mjög ferskt að sjá. Bergið, að frátöldum innskotunum, er mjög ummyndað, grænleitt á lit og oxun áberandi við innskotin.

2.2.2 HS-49 Þunnsneiðalýsing

Þunnsneið 16872, dýpi 84 m. Ólivínþóleíft. Blanda af fínkristölluðu ólivínþóleífti og túffríku setbergi. Basaltið er lítið ummyndað.

Ummyndunarsteindir eru: Kvars, kabasít og leirsteindir.

Þunnsneið 16873, dýpi 180 m. Basalttúff. Glerkennt túff, svart gler og vottur af kristölluðu basalti.

Talsverð ummyndun. Í sneiðinni sjást leirsteindir (smektítblanda). Kalsít er áberandi, einnig kvars og stilbít.

Þunnsneið 16874, dýpi 252 m. Basalttúff. Fínkornótt og glerkennt basalt. Brúnn blær á kornum.

Talsverð ummyndun. Ummyndunarsteindir: Smektít, kalsít og skólesít/mesólít fremur en mordenít. Stöku basaltkorn, bæði grófkristölluð og glerjuð, eru fersk og óummynduð og gætu bent til innskotsæða ofar í holunni, sem ekki koma fram í jarðlagasniði.

Þunnsneið 16875, dýpi 346 m. Basaltbreksía. Ólivínbasalt blandað setkornum og gleri. Ummyndun töluverð. Stilbít, kalsít, kvars. Leirsteindir (smektít) í setkornunum.

Þunnsneið 16876, dýpi 466 m. Basalttúff. Glerrík blöðrótt basaltkorn.

Ummyndun er mikil, aðallega smektít, seladónít, kvars, kalsít og skólesít. Dæmi um holufyllingu: Græn seladónítrönd yst og kvars innar í holunni.

Þunnsneið 16877, dýpi 644 m. Basaltbreksía. Glerkennt og fínkristallað ólivínþóleítt. Ummyndun töluverð. Stilbít, kalsít og smektít mest áberandi.

Þunnsneið 16878, dýpi 740 m. Basalttúff.

Brútt túff og glerkennt blöðrótt basalt.

Mikil ummyndun. Ummyndunarsteindir: Smektít, Stilbít, kalsít, kvars og landlagsleirsteindir.

Þunnsneið 16879, dýpi 854 m. Basaltbreksía. Glerkennt basalt og túff. Mikil ummyndun. Lagskiptar holufyllingar. Mikið af kalsíti, blandlagsleirsteindir (klórít?) og kvars.

Þunnsneið 16880, dýpi 994 m. Basaltbreksía. Fínkornótt og glerkennt basalt, Ólivínþóleítt.

Mikil ummyndun. Ummyndunarsteindir: smektít, og klórít, kalsít, stilbít.

2.2.3 Ummyndun í holu HS-49

Í töflu 3 eru niðurstöður XRD greininga. Engin sérstök röð er á steindunum, þ.e. ekki er meira af tegund 1 fremur en annarri, né heldur er um að ræða sérstaka myndunarröð.

Steindirnar sýna vaxandi myndunarhita útfellinga og virðast þær tilheyra þremur hitabeltum. Mörkin sem hér eru sett milli þeirra eru ekki nákvæm. Beltin eru:

- 1) Kabasít-thomsónítbeldið á 0-300 m dýpi.
- 2) Mesólít-skólesítbeldið á 300-448 m dýpi.
- 3) Laumontítbeldið á 448-1004 m dýpi.

Neðan við 360 m greindust 42 innskot í holunni 1-12 m þykk. Frá og með 870 m er ummyndun bergsins mjög mikil.

- 1) 0-300 m Lágghita-zeólítar (kabasít og thomsónít) finnast niður í allt að 300 m dýpi ásamt mesólíti, stilbíti, smektíti og seladóníti. Í þunnsneiðum sést kalsít,

Tafla 3. HS-49 XRD-greiningar á útfellingum.

OX-XRD nr.	Hola nr.	Dýpi m miðað við drifborð	Teg-1	Teg-2	Teg-3	Teg-4
32049	HS-49	94	kabasít	stilbít		
32050	HS-49	166	mesólít	kabasít	thomsónít	
32051	HS-49	264	kabasít	thomsónít	stilbít	kalsít/leir
32052	HS-49	330	stilbít	heulandít	mordenít	kalsít/leir
32053	HS-49	448	stilbít	skólesít	laumontít	
32054	HS-49	616	stilbít	laumontít	kalsít	
32055	HS-49	780	kalsít	wairakít	klórít	
32056	HS-49	862	kalsít	kvars	stilbít	
32057	HS-49	980	laumontít			

kvars og mesólít. Meiri ummyndun er í túffi heldur en kristölluðu basalti og í túffinu eru leirsteindirnar áberandi. Myndunarhiti er um eða innan við 100° C.

2) 300-448 m Á þessu bili verður vart við fyrsta innskotið í holunni, á 360-372 m dýpi. Þó er hugsanlegt að innskotsæðar séu ofar í holunni, sbr. lýsingu á þunn-sneið nr. 16874 frá 252 m. Thomsónít hverfur og ríkjandi steindir eru stilbít, heulandít, mordenít, kalsít, kvars og smektít. Einnig fer pýrít að verða áberandi frá 360 m. Þessi hluti holunnar virðist vera í skólesít-mesólít-beltinu.

3) 448-1004 m Þessi hluti holunnar virðist vera í laumontítbeltinu. XRD greiningar staðfesta að laumontít er í holunni í 448 m og bendir það til myndunarhita á bilinu 150-220° C. Væntanlega eiga innskotin drjúgan þátt í þessum háa myndunarhita.

Engar upplýsingar eru um bilið milli 498-610 m þar sem svarf finnst ekki, vísbendingar um innskot í mæligögnum gefa ástæðu til að ætla að þar ríki svipað ástand og annars staðar í holunni neðan 448 m.

Í 780 m sýna XRD greiningar wairakít og klórít í hópi ummyndunarsteinda. Aðrar algengar steindir á bilinu 449-1004 m eru: Stilbít, skólesít kalsít, kvars, og pýrít. Innkoma wairakíts bendir til vaxandi hita er neðar dregur.

Grunnbergið er mikið ummyndað, einkum er neðar dregur og frá og með 760 m fær það ljósgrágrænleitan blæ og er talið mikið ummyndað frá 720 m. Þetta á þó ekki við um innskotabergið, sem er dökkgrátt og virðist lítið ummyndað.

3. Hola HS-50 - Leirvogstunga, Mosfellsbæ

3.1 Inngangur

Holan er staðsett við Vesturlandsveg, austan megin, um 60 m norðan við brúna á Köldukvísl. Staðarnúmer hennar í gagnagrunni Orkustofnunar er 12974 og Lambert hnit, hnitúð eftir korti, 678770; 413870. Hún var boruð af jarðbornum Narfa á tímabilinu 17. nóvember 1997 - 6. janúar 1998 og tók verkið alls 29 daga. Narfa var komið fyrir á holunni. Áður hafði verið sett niður 14" leiðirör í steiptum kjallara í borplaninu. Borað var með 12 1/2" lofthamri niður á 40,9 m dýpi, 10 3/4" yfirborðsfóðring sett niður í 40 m og hún steipt föst. Steipt var úr 2,5 m³ og 1600 l af vatni dælt á eftir. Kom steypa upp. Þá var settur niður 9 7/8" lofthamar og steypa boruð út. Síðan var borað í bergi frá 40 m niður á 305,7 m dýpi með blöndu lofts og vatns. Þá var tekið upp, 8 5/8" vinnslufóðring sett niður á 302,5 m (miðað við kjallarabrun) og hún steipt föst. Steipt var úr 10 m³ og 1600 l af vatni dælt á eftir. Kom steypa upp, en 600 l af steypu var samt bætt ofan á, væntanlega vegna þess að hún seig. Borun hófst að nýju með 7 7/8" hjólakrónu, en illa gekk að bora út skóinn og skemmdist krónan við það. Sett var niður ný 7 7/8" hjólakróna og hófst borun með vatni á 335 m dýpi. Var borað með þessari krónu í 801 m, sem varð endanleg dýpt holunnar. Nokkrar tafir urðu í seinni áfanga borverksins vegna krapa í Köldukvísl, sem olli erfiðleikum við dælingu. Ekki er getið um æðar í skýrslum bormanna. Í lok borunar var holan hitamæld og reyndist botnhitinn vera 78°C. Í tengslum við upptektina, var ætlunin að framkvæma loftdælingu með stangir í 226 m dýpi, en þegar hún átti að hefjast reyndist krónan hafa verið dregin upp fyrir vatnsborð og var því hætt við.

3.2 Jarðlagalýsing

Dýptarleiðréttingar á jarðlagasniðinu (mynd 3) voru gerðar þar sem hægt var að tengja lagmót í upphaflega jarðlagasniðinu við jarðlagamælingarnar, eða alls á 44 stöðum. Reyndust lagmótin liggja að meðaltali 2,5 m ofar í holunni en svarfgreiningin gaf til kynna, en skekkjurnar lágu á bilinu 0-6 m. Á grundvelli mælinganna voru sett inn ný lagmót á 50 stöðum, en um 90 lagmót höfðu greinst í upprunalega sniðinu, og túlkun jarðlagagerðar breytt á 40 stöðum. Munaði hér mestu um 22 innskot, sem erfitt var að skilgreina í svarfinu.

Samkvæmt svarfgreiningunni einkennist upphleðslubergið af basalttúffi og basaltbreksíu. Ber þar mest á þykkri túffmyndun á dýptarbilinu 74-429 m og breksíum þar fyrir ofan og neðan. Staflinn er allur gegnumskorinn af innskotum, sennilega göngum, og verða þau rúmfrekari í staflanum eftir því sem neðar dregur. Á dýptarbilinu 527-790 er sérstaklega mikið um innskotsberg og má reyndar túlka poruhlutaferilinn þannig að um samfellda innskotsmyndun sé að ræða. Hugsanlega borað í og við berggang. Hér var hins vegar valin sú leið að túlka mest ummynduðu kaflana sem leif af upprunalega upphleðsluberginu fremur en innskot. Magn ummyndunar í innskotunum er samt breytilegt og skera nokkur óummynduð innskot sig greinilega úr. Þetta bendir til þess að innskotin geti verið fleiri en eitt og misgömul.

3.3 Jarðalagasnið (sjá mynd 3)

Holutoppurinn er í 8 m þykku grágrýtislagi, sem væntanlega tilheyrir Reykjavíkurgrágrýtinu. Síðan tekur við móberg niður í 542 m. Þar fyrir neðan eru syrpur af dyngjubasalthraunum með fjölmörgum innskotum og fjórum þunnum setlögum milli 542-789 m. Neðstu 11 m, frá 789-800 m, eru boraðir í basaltbreksíu.

Efsta innskotið greindist í 38 m og er grunnbergið allt sundurskorið af innskotum og eykst fjöldi þeirra og þykkt er neðar dregur. Ofan við 70 m eru innskot um 10% bergsins. Milli 70-542 m eru innskotin um 24%, milli 658-789 m um 50% og milli 658-789 um 83%. Neðsti hluti holunnar frá 789-800 m er í basaltbreksíu, sem er mikið ummynduð, en þar greindust ekki innskot.

0-8 m Efst í holunni er þunnt lag af blöðróttu ólivínþóleífti, fín- meðalkorna, lítið ummynduðu og óþal í holum, sennilega Reykjavíkurgrágrýti.

8-70 m Basaltbreksía með þremur hugsanlegum innskotum. Grunnbergið er lítið ummyndað efst, en ummyndunin eykst með innskotunum, frá og með 38 m. Á þessu dýptarbili eru lághitasteindir eins og thomsónít og óþall auk fleiri steinda. Oxun er áberandi í berginu umhverfis hugsanlegu innskotin, sem eru um 10% bergsins á þessu bili.

70-542 m Basalttúff og basaltbreksía með 35 innskotslögum. Ummyndun í móberginu er mikil, en aftur á móti lítil í innskotunum. Túff er ríkjandi ásýnd niður í 429 m, en neðsti hluti syrpuunnar, frá 429-542 m, er basaltbreksía. Þar er þykkasta innskotslag holunnar (26 m) milli 465-491 m. Ummyndun í móberginu er mikil, en aftur á móti lítil í innskotaberginu. Grunnbergið er grágrænt á lit vegna ummyndunar neðan 132 m, en innskotslögin eru dökkgrá. Í dagbók bormanns er getið um sprungusvæði í 290 m. Einnig virðist bergið vera talsvert sprungið í 491-496 m neðan við þykkasta innskotið þar sem skápur er í holunni. Innskotin eru um 24% bergsins á þessu bili eins og ofar. Svarfið er mjög fínmulíð neðan 338 m.

542-658 m Ólivínþóleíft hraunlög með 12 innskotslögum og þunnum setlögum. Grunnbergið er ólivínþóleíft (dyngjubasalt), oftast meðal- grófkorna, talsvert ummyndað, þó minna en móbergið ofar. Milli 590 og 601 verður vart við setkorn í svarfinu, sem að öðru leyti virðist vera úr innskotum og eru sýnd þrjú þunn innskotslög á jarðalagasniðinu á þessu bili. Innskotin eru 1-9 m þykk og um 50% bergsins innskot.

658-789 m Innskotslög með þunnum lögum af ólivínbasalti og einu þunnu setlagi. Um 83% bergsins á þessu bili er greint sem innskot og eru þau 13 talsins 1-15 m þykk, en grunnbergið virðist vera ólivínþóleíft líkt og ofar. Þunnt lag af sandsteini er á 726 m dýpi. Í reynd má segja að þessi hluti holunnar sé boraður í innskot.

789-800 m Basaltbreksía. Í neðstu 11 m holunnar er aftur komið í móberg. Þar er mikið ummynduð basaltbreksía.

3.4 HS-50 Þunnsneiðalýsingar

Þunnsneið 16881, dýpi 88 m. Basalttúff. Glerkennt basalt og túff, talsvert ummyndað og holufyllt. Knippótt pýroxen sjást í svörtu gleri. Holur eru fylltar af kalsíti, kvasi og stilbíti.

Þunnsneið 16882, dýpi 180 m. Basalttúff. Grágrænt, ummyndað túff og stöku basaltkorn. Í sumum kornum eru kalsít- og kvarsfylltar æðar. Plagíóklas er ummyndað í kalsít. Blandklóríð eru á holuveggjum.

Þunnsneið 16883, dýpi 288 m. Basalttúff. Glerjað ummyndað túff og blöðrótt settúff. Æðar í sumum brotkornum eru fylltar kalsíti og kvasi. Mikil ummyndun: Kalsít og kvars áberandi líka eru þar blandlagsleirsteindir eða klórít.

Þunnsneið 16884, dýpi 356 m. Innskot. Grátt ólivínþóleiít, sumt glerkennt, blandað basaltúffi. Brotkornin eru mjög smágerð. Ummyndun er lítil í basaltinu, en mikil í túffinu: Þar sést m.a. kalsít, stilbít, kvars og blandlagsleir.

Þunnsneið 16885, dýpi 450 m. Basaltbreksía. Túff. Mikil ummyndun. Plagíóklas ummyndað í kalsít. Einnig er kvarts, smektít eða klórít.

Þunnsneið 16886, dýpi 588 m. Ólivínþóleiít, grófkorna. Ólivínþóleiít og setbergsmolar úr millilagi. Meðal ummyndun: Kalsít, kvars, stilbít og smektít eða klórít?

Þunnsneið nr. 16887, dýpi 688 m. Innskot, grófkorna. Grófkorna ólivínþóleiít. Lítil ummyndun: Aðallega kalsít og kvars.

Þunnsneið 16887, dýpi 798 m. Basaltbreksía. Ólivínþóleiít, fínkornótt og túff. Mikil ummyndun: Kalsít; plagíóklasfenókrystallar eru oft ummyndaðir í kalsít. Einnig er kvars, stilbít og sennilega klórít.

3.5 Ummyndun í holu HS-50

Í töflu 4 eru niðurstöður XRD greininga. Engin sérstök röð er á steindunum, þ.e. ekki er meira af tegund 1 fremur en annarri, né heldur er um að ræða sérstaka myndunarröð.

Mikil innskotavirkni er í holunni, einkum neðan til eins og fjallað er um í jarðlagalýsingunni (kafli 2.3.2). Holan virðist liggja í þremur hitabeltum. Hafa ber í huga að mörkin eru ekki dregin nákvæmlega. Beltin eru:

- 1) Kabasít-thomsónítbeldið á ~0-70 m dýpi.
- 2) Mesólít-skólesítbeldið á ~70-654 m dýpi.
- 3) Laumontítbeldið á ~654-800 m dýpi.

- 1) 0-70 m Í efstu 70 m holunnar er thomsónít (XRD greining úr 38 m í efsta innskotinu). Auk þess finnst þar ópall, skólesít, kalsít og stilbít. Thomsónít

Tafla 4. HS-50 XRD-greiningar á útfellingum.

OX-XRD nr.	Hola nr.	Dýpi m miðað við drifborð	Teg-1	Teg-2	Teg-3	Teg-4
32058	HS-50	38	thomsónít	skólesít		
32059	HS-50	114	kalsít	pýrít		
32060	HS-50	264	kalsít	kvars		
32061	HS-50	342	kalsít	kvars	pýrít	
32062	HS-50	472	kalsít	kvars		
32063	HS-50	538	kalsít	kvars		
32064	HS-50	654	wairakít	laumontít	stilbít	kalsít/kvars
32065	HS-50	738	kalsít	kvars	laumontít	klórít?

og óþall benda til lágs myndunarhita, nálægt eða minna en 100°C. Bergið er lítið ummyndað ofan 38 m en ummyndunin eykst þegar komið er að innskotunum.

- 2) 70-654 m Bergið er mikið ummyndað og á það einkum við um móbergið. Kristall- að basalt heldur sér betur, innskotslögin eru lítið ummynduð. Móbergið fær grænleitan blæ, líklega einkum af völdum seladóníts og/eða bland- lagsleirs og klóríts er neðar dregur. Aðrar steindir, sem mikið ber á eru pýrít (frá 96 m), kalsít, kvars og stilbít. Oft eru plagíóklasfenókrystallar ummyndaðir í kalsít. Innskotsbergið er ólivínþóleítt, fersklegt og oftast nær grófkorna. Það er lítið ummyndað. Myndunarhiti gæti verið milli 100-150°C, vaxandi er neðar dregur.
- 3) 654-800 m Frá 654 m fara XRD greiningar að sýna wairakít, laumontít og klórít og auk þess stilbít, kalsít og kvars. Þrjár þær fyrst nefndu benda til hækkaðs myndunarhita, 150-220°C. Á þessu bili flokkast 83% bergsins sem innskot og lítið fer fyrir grunnberginu, sem er talsvert ummyndað, en innskotin eru lítið ummynduð sem fyrr og neðan 604 m virðast sum þeirra ekkert ummynduð. Á það einkum við um innskot neðan 710 m. Hugsanlega eru fersku innskotin yngri en hin sem virðast lítið ummynduð. Neðstu 11 m holunnar eru boraðir í basaltbreksíu og þar er bergið mikið ummyndað.

4. Vatnsæðar í HS-49 og HS-50

Vatnsæðar komu fram á fimm stöðum í HS-49 (tafla 5). Fyrst varð vart við smáleka í holunni á 28-33 m dýpi. Vatn kom einnig á 75 m dýpi. Næsta vatnsæð var æðin í 234 m. Gaf hún 20 l/s af 24°C heitu vatni í loftdælingu með vatnsborði í 100 m. Smáleki kom í holuna á 323 m dýpi og smáskoltap á 437 m dýpi. Ekki eru aðrar æðar nefndar í skýrslum bormanna. Í lok borunar reyndist hitinn í botni vera 61°C og vatnsborð í 101,4 m. Eftir borun hefur botnhiti hækkað í 66°C, en vatnsborð sveiflast í takt við vinnslu á Suður Reykjum. Loftdæling með stangir í 238 m gaf 3 l/s af 28,5°C heitu vatni, sem hitnaði um 2 gráður á tveimur tímum.

Í borskýrslum frá HS-50 er ekki getið um neinar vatnsæðar. Mikil ummyndun er í holunni. Holan er mjög auðug af innskotum einkum neðan við 542 m dýpi. Holan virðist vera boruð í eða við gang og bergið virðist vera mjög þétt af útfellingum. Þórir Sveinbjörnsson borstjóri segir þetta eina þurrustu holu, sem hann hefur borað. Hiti í botni holunnar við lok borunar var 78°C, en hefur hækkað í 101°C eftir borun. Vatnsborð í holunni hefur mælst á 33-34 m dýpi.

Tafla 5. Vatnsæðar í HS-49 samkvæmt borskýrslu.

Hola nr.	Dýpi (m)	Rennsli l/s	Hiti (°C)	Athugasemdir
HS-49	28-33			Smá leki í 28-33 m.
	75			Vatn í 75 m og smá hrun.
	234,0	20	24	Vatnsborð í 100 m.
	323			Smáleki.
	437			Smáskoltap. Vatnsborð í 97,5 m frá kjallarabrún.
	1005,0		61	Hiti í botni. Vatnsborð í 101,4 m.

5. Jarðlagamælingar

Hefðbundnar jarðlagamælingar voru gerðar bæði í holu HS-49 og í HS-50. Auk holuvíddar, var mæld náttúruleg gammageislun, rafviðnám og sjálfspenna bergsins í borholuveggjunum ásamt því hversu vel nifteindir ná að dreifa sér um bergið.

Jarðlagamælingarnar veita upplýsingar um uppbyggingu jarðlagastaflans sem borað er í gegnum. Með samtúlkun við greiningar á borsvarfi má greina milli jarðmyndana, bæði einstakra jarðlaga og heilla syrpna, og ákvarða þykkt þeirra. Mælingarnar gefa einnig upplýsingar um poruhluta (vatnsinnihald) bergsins og vísbendingar um efnasamsetningu þess. Með tengingu þessara upplýsinga við borholujarðfræði fást betri upplýsingar um jarðlagastaflann. Víddarmælingar falla ekki undir eiginlegar jarðlagamælingar. Þær geta stundum gefið vísbendingar um jarðlagagerð og eru einnig notaðar til þess að leiðrétta jarðlagamælingarnar fyrir víddaráhrifum. Mælingar á sjálfspennu reyndust ekki gefa áhugaverðar niðurstöður í þessum holum og er því sleppt úr skýrslunni.

Tafla 6. Jarðlagamælingar í holum HS-49 og 50.

Nafn	Staður	Dagsetning	Svunta	Hvað mælt	Dýpi frá (m)	Dýpi til (m)	Athugasemdir
HS-49	14096	20.06.1997	18305	Vídd (mm)	0	560	
		15.05.1998	19805	Vídd, y-hluti (mm)	2.5	1000	
		15.05.1998	19804	Vídd, x-hluti (mm)	2.5	1000	
		15.05.1998	19807	Nifteindir (API NU)	110	1000	
		15.05.1998	19806	Gamma (API-GU)	110	998	
		15.05.1998	19808	16" viðnám	550	1001	
		15.05.1998	19809	64" viðnám	550	1001	
		15.05.1998	19810*	Sjálfspenna (mV)	550	1001	
		HS-50	12974	27.11.1997	19104	Vídd (mm)	6.5
27.11.1997	19105			Nifteindir (API NU)	11.5	302.5	
27.11.1997	19106			Gamma (API-GU)	10	302.5	
27.11.1997	19107			16" viðnám	38.5	302	
27.11.1997	19108			64" viðnám	39.5	300.5	
27.11.1997	19109*			Sjálfspenna (mV)	40	302	
04.06.1998	19884			Vídd, x-hluti (mm)	1.5	800	
04.06.1998	19885			Vídd, y-hluti (mm)	1.5	800	
04.06.1998	19886			Nifteindir (API NU)	34	800	
04.06.1998	19887			Gamma (API-GU)	34	800	
04.06.1998	19888			16" viðnám	299.3	800	
04.06.1998	19891*			16" viðnám	284	800	mælt upp
04.06.1998	19889			64" viðnám	298.8	800	
04.06.1998	19892*			64" viðnám	283.5	800	mælt upp
04.06.1998	19890*			Sjálfspenna (mV)	299.3	800	
04.06.1998	19893*	Sjálfspenna (mV)	284	800	mælt upp		

* Mæling ekki notuð í frekari úrvinnslu

Yfirlit um allar jarðlagamælingar, sem gerðar voru í holum HS-49 og HS-50, er sýnt í töflu 6. Mælingarnar voru skráðar í gagnagrunn Orkustofnunar og er svuntunúmer þeirra

í grunninum að finna í töflunni.

Eftir að mælingunum hafði verið komið fyrir í gagnagrunninum voru þær yfirfarnar og leiðréttar. Fyrst voru gerðar dýptarleiðréttingar og leiðrétt fyrir holuvídd. Mæliferlarnir eru skráðir sem fall af dýpi, en núllstillingin er þó ekki alltaf nákvæm og getur það valdið innbyrðis hliðrun milli mæliferlanna. Í holu HS-49 voru þessar skekkjur á bilinu 1,0-4,0 m. Leiðrétt var fyrir þeim með því að skoða dýpi á fóðringarenda í víddarmælingunum og hliðra mæliferlunum, þar sem þess þurfti, svo dýpinu bæri saman við uppgefið dýpi í fóðringarskýrslu. Hinir ferlarnir voru svo stilltir af miðað við víddarmælinguna á grundvelli úreikninga á fylgni milli ferlanna sem fall af innbyrðis hliðrun. Þessari aðferð má beita vegna þess að víddaráhrif koma yfirleitt greinilega fram í nifteindamælingunni og hún sýnir góða fylgni við viðnámsmælingarnar. Í holu HS-50 voru skekkjurnar hins vegar svo óverulegar að leiðréttingar reyndust ónauðsynlegar.

Tvenns konar víddarmælar voru notaðir við mælingarnar, þriggja og fjögurra arma. Þriggja arma mælirinn mælir einungis meðalvídd holunnar, en fjögurra arma mælirinn mælir víddina í tvær stefnur (X og Y) hornrétt á hvor aðra. Til þess að tryggja sem nákvæmastar víddarmælingar voru þær bornar saman við þekkt innanmál fóðringanna. Þriggja arma mælingunum bar vel saman við innanmálin, en í ljós kom nokkur skekkja í fjögurra arma ferlunum. Kerfisbundinn munur var á ferlunum tveimur og sýndi Y-hlutinn 7-9 mm lægra gildi en X-hlutinn. Þar að auki bar meðaltali ferlana ekki eins vel saman við innanmál fóðringanna og í þriggja arma mælingunum. Leiðrétt var fyrir þessum skekkjum.

Poruhluti bergsins var reiknaður út frá nifteindaferlinum og gammaferilinn umreiknaður yfir í kísilsýruinnihald. Í báðum tilvikum byggðu útreikningarnir á leiðréttum víddarmælingum.

Eftir þessa meðhöndlun voru ferlarnir bornir saman við jarðlagasniðin. Í báðum holunum, reyndist í meginatriðum vera ágætt samræmi milli mæliferlanna og jarðlagasniðanna, þótt misræmi kæmi í ljós sums staðar. Gerðar voru tengingar milli ferlanna og jarðlaga, sem túlkuð höfðu verið út frá borsvarfi. Á grundvelli þessa samanburðar og tenginga voru svo gerðar þrenns konar leiðréttingar á jarðlagasniðunum. Í fyrsta lagi voru gerðar dýptarleiðréttingar. Vegna blöndunar svarfs á leiðinni frá holubotni til yfirborðs veita jarðlagamælingarnar oft betri upplýsingar um staðsetningu jarðlagamóta og þykkt jarðlaga en svarfgreiningin. Yfirleitt sýnir svarfgreiningin einnig meira dýpi en jarðlagamælingarnar vegna vegna tímans sem það tekur svarfið að berast frá holubotni til yfirborðs. Leiðrétt var fyrir þessum skekkjum með því að færa lagmót í jarðlagasniðunum til samræmis við mælingarnar. Þar með leiðréttist einnig sjálfkrafa sá dýptarmunur sem stafaði af því að jarðlagamælingarnar eru miðaðar við holuflangs en svarfgreiningin við drifborð borsins. Í öðru lagi, var jarðlagasniðunum breytt á nokkrum stöðum þar sem jarðlagamælingarnar bentu eindregið til þess að túlkun borsvarfsins fengi ekki staðist. Í þriðja lagi var fyllt upp í jarðlagasniðin á grundvelli jarðlagamælinganna þar sem svarfsýni vantaði.

Leiðréttar mælingar og útreiknaðir ferlar eru teiknaðir upp ásamt leiðréttu jarðlagasniði, magni ummyndunar, fóðringum og staðsetningum á æðum á myndum 2 og 3 hér að fram-

an. Viðnámsferlarnir eru teiknaðir á línulegan skala svo betur sjáist breytingar í viðnámi þar sem það er hátt, en það gerir auðveldara að greina innskot frá upphlöðnu bergi. Víddar-, viðnáms-, poruhluta- og kísilsýruferlarnir eru aðeins sýndir þar sem hægt var að mæla í opinni holu. Nifteinda- og gammaferlarnir eru hins vegar einnig sýndir inni í fóðringum, vegna þess að þeir ná að nema jarðlögin gegnum fóðringarnar, þótt ekki séu þeir eins áreiðanlegir þar og í opinni holu.

Á myndum 4-7 eru birt stólparit af tíðnidreifingum poruhluta, kísilsýru og viðnáms í holunum og meðaltöl eru birt í töflu 7. Hér verður gerð stutt grein fyrir mælingunum í hvorri holu fyrir sig.

Tafla 7. Meðaltöl og staðalfrávik dreifinga jarðlagamælinga í holum HS-49 og HS-50.

Hola	Poruhluti(%) %	Kísillsýra(%) %	16" viðnám (Ohmm)	64" viðnám (Ohmm)
HS-49	30 +/- 8	45 +/- 2	75 (+/- 76; -38)*	70 (+/- 30; -52)*
HS-50	22	46 +/- 2	178**	206**

* meðaltöl og staðalfrávik reiknuð á lógaritmískum skala

** staðalfrávik ekki reiknuð vegna þess hve dreifingarnar eru óreglulegar

5.1 Jarðlagamælingar í holu HS-49

Efsti hluti holunnar, bak við yfirborðsfóðringu (0-58 m), var ekki jarðlagamældur fremur en vant er. Að þessu sinni reyndist heldur ekki unnt að mæla miðhluta hennar (58-564 m), vegna þess að borholumælingabílar Orkustofnunar voru uppteknir í öðrum verkum. Víddarmæling var þó gerð 20. júní, áður en vinnslufóðringin var sett niður. Neðsti hluti holunnar var svo jarðlagamældur tæpu ári seinna, 15. maí 1998. Hefðbundnar jarðlagamælingar voru þá gerðar neðan fóðringar á dýptarbilinu 565-1000 m, en þar að auki var þess gætt að skrá gammageislun og nifteindir í vinnslufóðringunni. Hér verður þó einungis fjallað um neðsta hluta holunnar, 565-1000 m, sem mældur var ófóðraður.

Meðalstyrkur kísilsýru er 45 +/- 2%. Ferillinn sýnir að staflinn er úr basalti og kemur súrt berg hvergi fyrir í þessum hluta holunnar. Ferillinn bendir heldur ekki til þess að styrkur kísilsýru í innskotsberginu sé annar en í upphleðsluberginu. Hugsanlega eru syrpuskipti í upphleðsluberginu á um 860 m dýpi, því um 3 prósentueiningum virðist muna á meðalstyrk kísilsýru í berginu ofan og neðan þessa dýpis.

Meðalporuhluti kaflans er 30 +/- 8%, sem er mjög hátt, en kemur samt vel heim og saman við að jarðlögin eru að meginuppistöðu breksíur og túff. Algengustu gildin liggja á bilinu 33-38% og má að miklu leyti rekja þau til túffmyndunarinnar á dýptarbilinu 720 -792 m. Það örlar einnig á toppi í poruhlutadreifingunni á bilinu 13-17% og á hann rætur sínar að rekja til innskotanna.

Viðnámsmælingarnar voru framkvæmdar með tveimur skautabilum, 16" og 64". Þær sýna lognormal-dreifingu og er 16" viðnámið að meðaltali 75 (37-151) Ohmm en 64" viðnám-

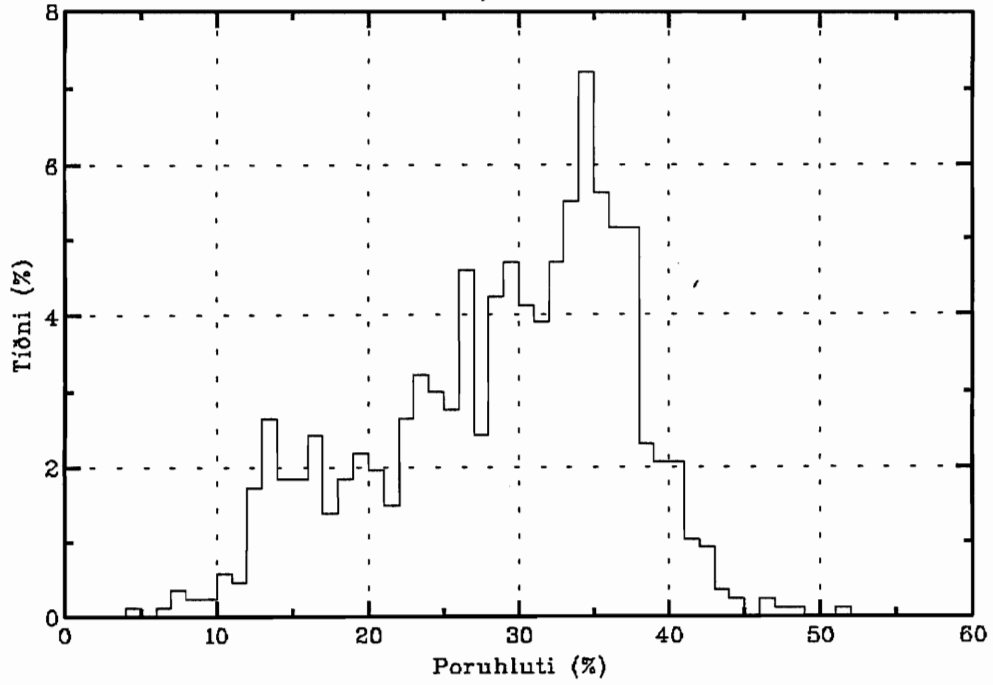
ið 70 (18-100) Ohmm. Mæliferlunum ber vel saman. Háviðnámsstoppar eru þó hærri í 16" mælingunni en í 64" mælingunni og skýrist það a.m.k. að hluta af hærri upplausn í 16" mælingunni. Annar áhugaverður munur á mælingunum er sá, að á nokkrum stöðum þar sem grannir toppar koma greinilega fram í 16" mælingunni, sýnir 64" mælingin lítil sem engin viðbrögð eða jafnvel neikvætt útslag, þ.e.a.s. í öfuga átt við toppinn í 16" mælingunni. Þessu fylgja stundum veik jákvæð útslög báðum megin við neikvæða útslagið. Þessi hegðun viðnámsmælinga í borholum er velþekkt þar sem til staðar eru þunn háviðnámslög og er ástæðan sú að lengri mælingin brenglast þegar lagþykktir fara niður undir og niður fyrir sjálft skautabilið. Mörg þunn háviðnámslög eru einmitt í holunni, sérstaklega innskot.

Viðnám bergsins umhverfis holuna virðist ráðast að verulegu leyti af vatnsinnihaldi (poruhluta) bergsins, sem aftur ræðst af myndunarumhverfi þess. Til dæmis er poruhlutinn mjög hár á dýptarbilinu 700-800 m, þar sem basalttúff er ráðandi og viðnámið einna lægst í holunni. Fyrir ofan og neðan þetta bil er poruhlutinn lægri, viðnámið að meðaltali töluvert herra og meira um innskot og breksúr. Þetta kemur ekki á óvart því samkvæmt velþekktu reynslusambandi viðnáms og poruhluta, Archie-jöfnunni (Archie, 1942), lækkar viðnám bergs með vaxandi poruhluta. Það vakti því sérstaka athygli að greinileg frávik frá þessu sambandi er að finna í holunni. Ákaflega skýrt dæmi um þetta er að finna á dýptarbilinu 966-1000 m, neðst í holunni. Þar sést að viðnám í grófkorna basaltinnskoti með um 15% poruhluta er 30-50 Ohmm, þótt miklu gropnari basaltbreksúr með 20-30% poruhluta fyrir ofan og neðan innskotið sýni 150-300 Ohmm viðnám.

Þetta varð til þess að fylgni poruhluta, viðnáms og jarðlagagerðar í holunni var athuguð nánar. Kom þá í ljós að í upphleðsluberginu verður hvergi vart við að viðnám lækki eða standi í stað með lækkandi poruhluta. Þess konar frávik, sem eru öfug við það sem búast má við út frá Archie-jöfnunni, tengjast því innskotunum. Frekari samanburður sýndi að þetta öfuga samband gildir um tæplega helming innskotanna. Þetta er mjög sterk vísbending um að í mælingunum fari hluti rafstraumsins eftir steindunum bergsins og ekki aðeins um vatnið í holrýminu, eins og jafna Archie í raun felur í sér.

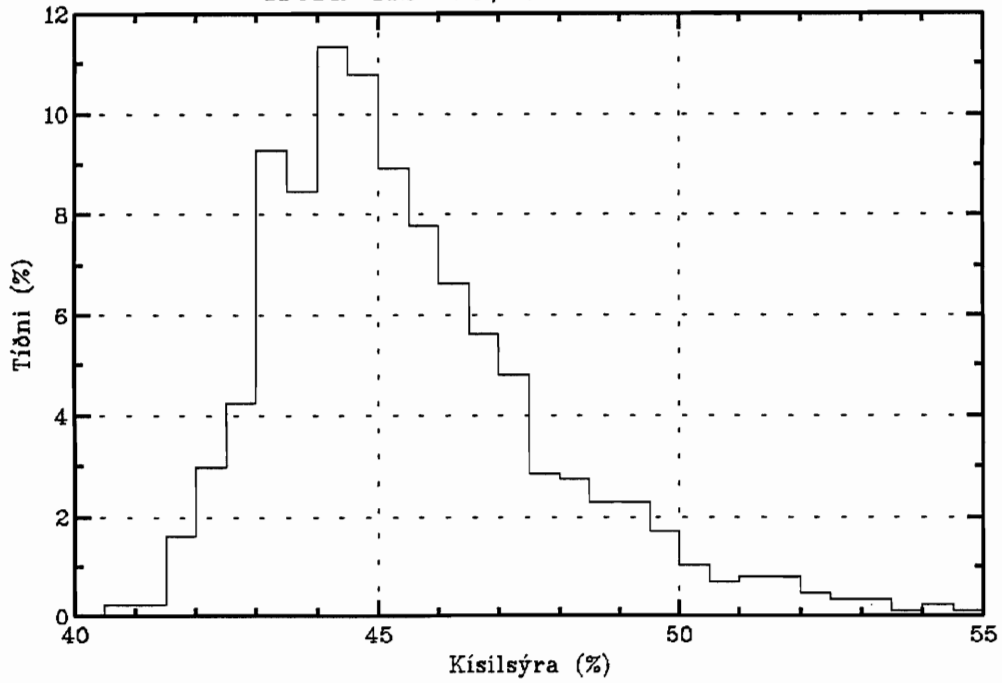
18 Jan 2000 STG
xy V1.0

Hola HS-49, 565 - 1000 m

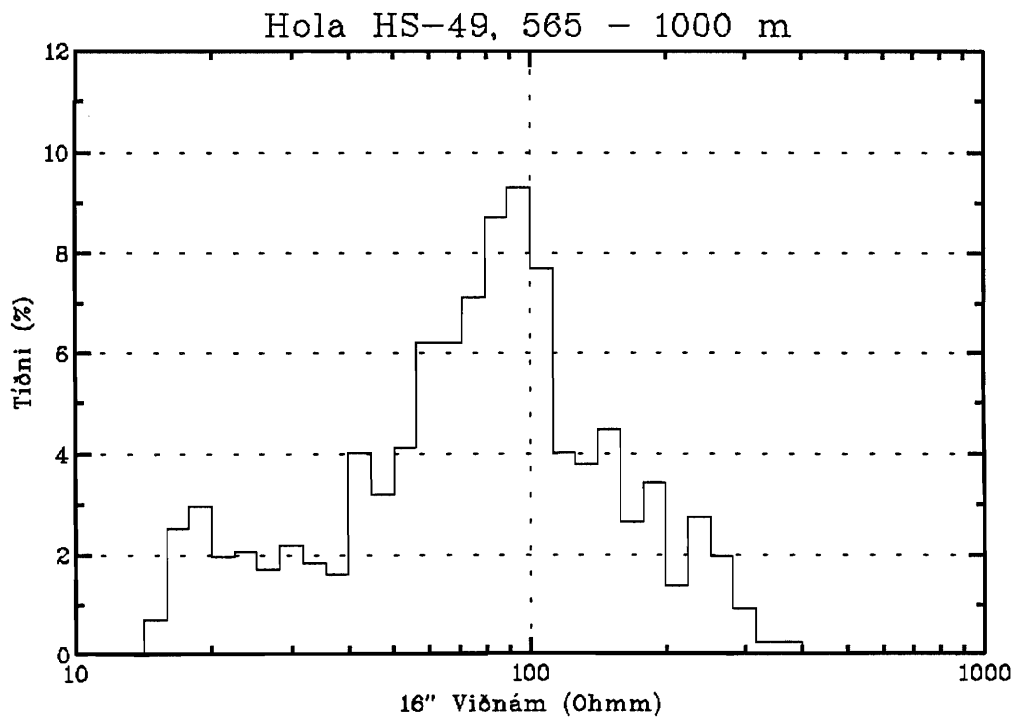
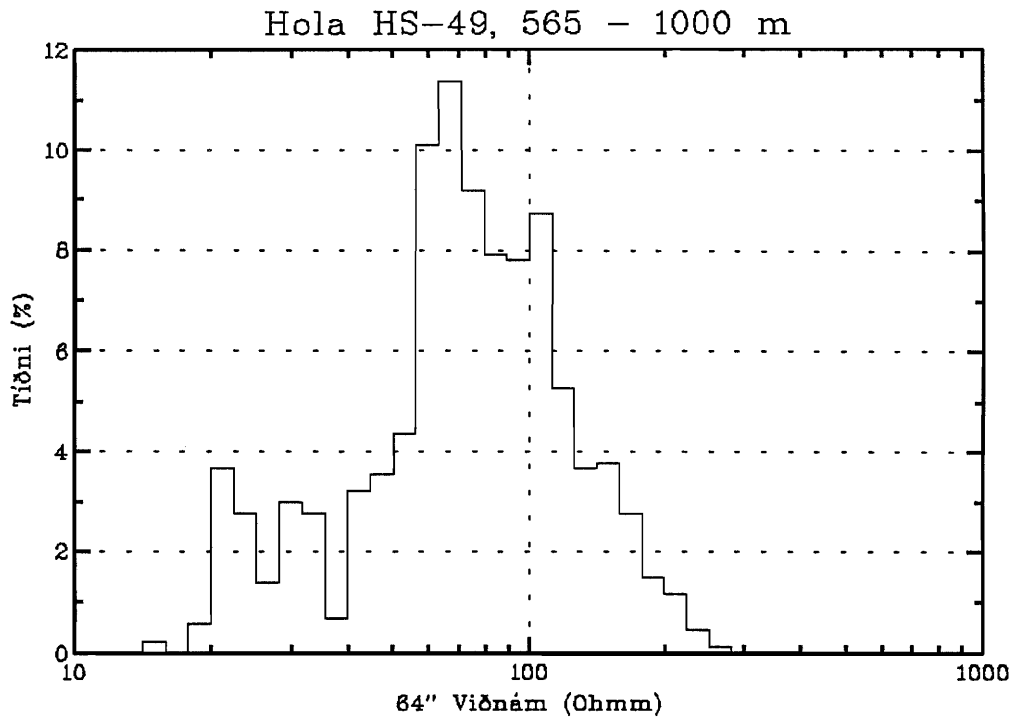


18 Jan 2000 STG
xy V1.0

Hola HS-49, 565 - 1000 m



Mynd 4. Tíðnidreifing poruhluta og kísilsýru í holu HS-49.



Mynd 5. Tíðnidreifing viðnáms í holu HS-49.

5.2 Jarðlagamælingar í holu HS-50

Yfirborðsfóðringin nær niður á 40 m dýpi og var ekki jarðlagamælt áður en hún var sett niður. Miðhluti holunnar (40- 305 m) var jarðlagamældur 27. nóvember 1997, áður en vinnslufóðringunni var komið fyrir. Neðsti hlutinn (302-800 m) var svo mældur um 6 mánuðum eftir að borun lauk.

Styrkur kísilsýru er að meðtali 46 +/- 2% og sýnir kísilsýruferillinn að staflinn er úr basalti. Vísbendingar um súr berglög eru einungis á tveimur stöðum í holunni, 508-514 m og 487-490 m, og er í fyrra tilvikinu, sennilega um bergganga að ræða. Áberandi syrpu-skipti í upphleðsluberginu sjást ekki í kísilsýruferlinum og sker innskotsbergið sig ekki úr að þessu leyti heldur.

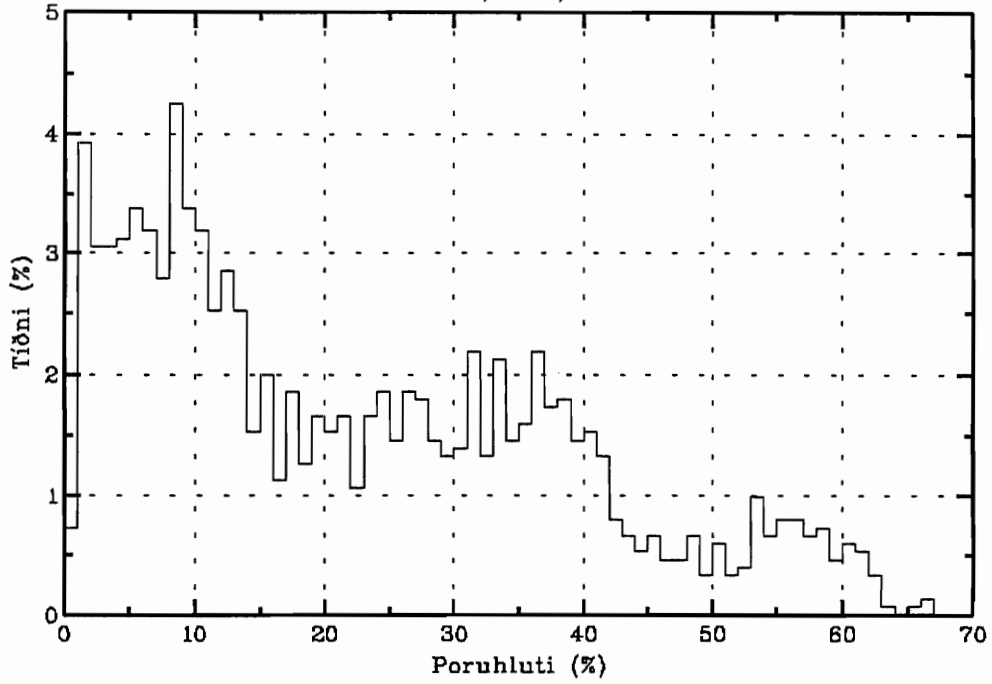
Poruhlutinn er langt frá því að vera normaldreifður því tíðnidreifing hans er mjög mótuð af innskotunum, sem koma fram toppur á bilinu 1-14%. Óvenjulega gropið túfflag ofarlega í holunni kemur fram sem hækkun á bilinu 53-63% og bjagar það dreifinguna líka. Mjög ólíklegt er að poruhlutinn sé raunverulega svona hár, en þessi háu gildi gætu stafað af miklu magni bundins vatns í túffinu, sem er mjög mikið ummyndað.

Viðnámsferlunum ber vel saman saman og er meðalgildi 16" ferilsins 178 Ohmm, en 64" ferilsins 206 Ohmm. Tíðnidreifingar viðnámsferlanna eru ekki lognormal eins og í holu HS-49, heldur er þær tvítýphtar. Neðri toppurinn á bilinu 3-20 Ohmm stafar af lágviðnámslagi ofan 255 m, en sá efri af jarðlagastaflanum þar fyrir neðan.

Við fyrstu sýn virðist viðnám bergsins lækka með vaxandi poruhluta eins og í jöfnu Archie. Virðist þetta gilda bæði í smæð og lengd. Til dæmis er viðnámið fremur lágt (< 200 Ohmm víðast hvar) í efri hluta holunnar, ofan 500 - 530 m, þar sem poruhlutinn yfir 10%, en miklu hærra þar fyrir neðan, þar sem poruhlutinn er lægri, þó sveiflur séu miklar (50-3000 Ohmm). Á miklu styttri lengdarskala, má einnig víða sjá þunn innskot með lágan poruhluta og hærra viðnám en grannbergið. Við nánari athugun kom þó í ljós að í þessari holu gildi sama öfuga samband og fannst í holu HS-49 um öll innskot neðan 610 m dýpis, eða um þriðjung innskotanna. Ofan þessa dýpis var sambandið hins vegar eins og búast mátti við út frá jöfnu Archie. Í holu HS-50 koma því einnig fram sterkar vísbendingar um að rafleiðni bergsins umhverfis holuna ráðist að einhverju leyti af steindum bergsins, en ekki af viðnámi poruvökvans eingöngu.

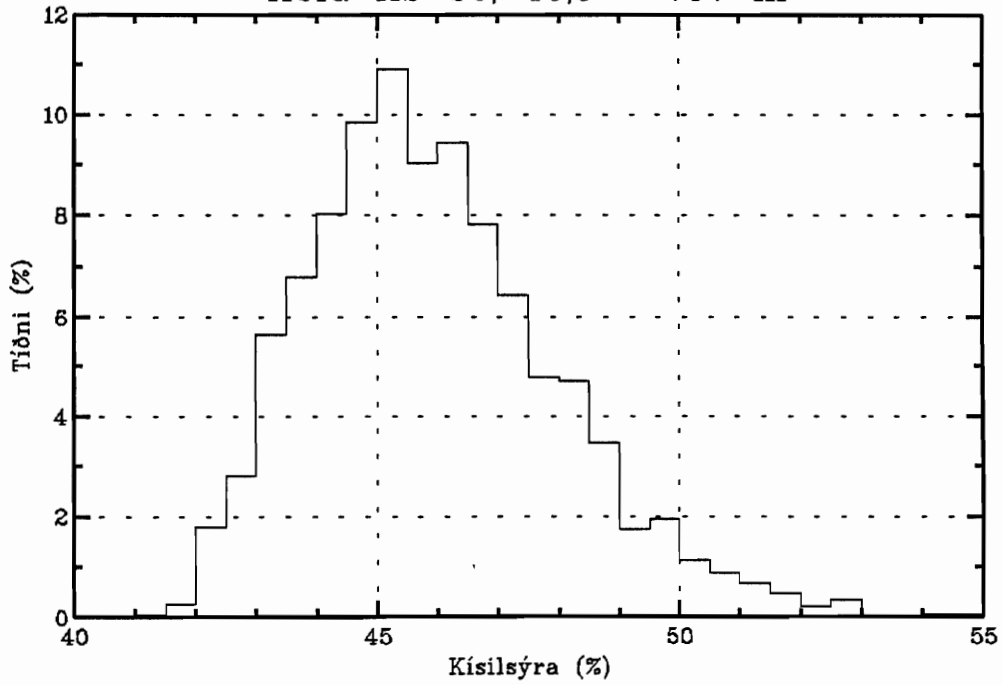
18 Jan 2000 STG
xy V1.0

Hola HS-50, 40,5 - 797 m

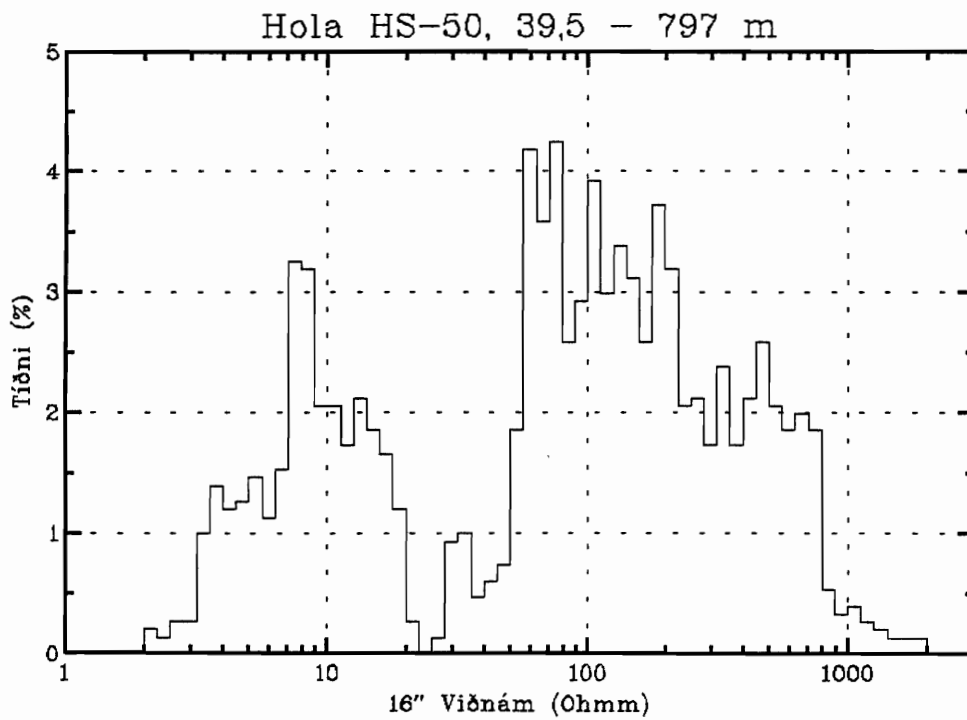
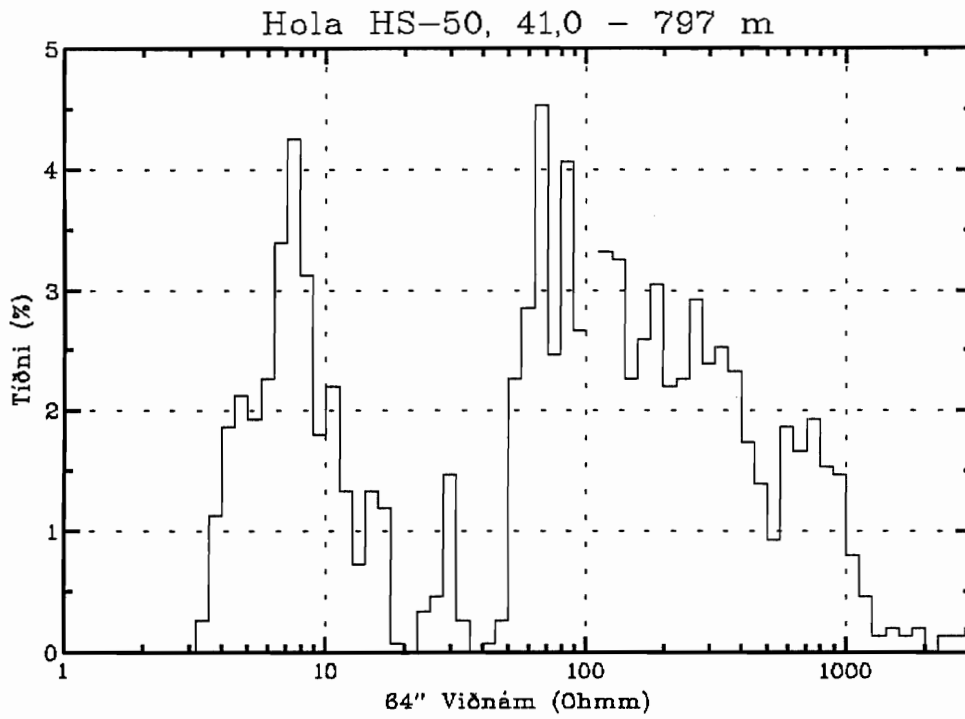


18 Jan 2000 STG
xy V1.0

Hola HS-50, 40,5 - 797 m



Mynd 6. Tíðnidreifing poruhluta og kísilsýru í holu HS-50.



Mynd 7. Tíðnidreifing viðnáms í holu HS-50.

6. Heimildir

Archie, G.E., 1942. *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*. Tran. AIME, 146, 54-67.

Sigurður Sveinn Jónsson, Helga Tulinus, Þórður Arason, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Benedikt Steingrímsson, 1996. *Höfuðborgarsvæði. Holur HS-35 og HS-37 til HS-43. Jarðfræði og jarðlagamælingar*. Orkustofnun, OS-96068/JHD-38 B.

Sigurður Sveinn Jónsson, Steinar Þór Guðlaugsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Helga Tulinus og Benedikt Steingrímsson, 1998: *Höfuðborgarsvæði Holur HS-45 til HS-48. Jarðfræði og jarðlagamælingar*. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun, OS-98015.