



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

HITAVEITA SELFOSS

**Hitadreifing í jarðhitakerfinu
við Laugardælur og Þorleifskot**

Ómar Sigurðsson

Unnið fyrir Hitaveitu Selfoss

OS-95009/JHD-06 B

Mars 1995



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 812

HITAVEITA SELFOSS

**Hitadreifing í jarðhitakerfinu
við Laugardælur og Þorleifskot**

Ómar Sigurðsson

Unnið fyrir Hitaveitu Selfoss

OS-95009/JHD-06 B

Mars 1995

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. UPPHAF HITAVEITU SELFOSS	4
3. BORANIR	5
4. HITAMÆLINGAR	6
5. HITADREIFING	9
6. UMRÆÐA OG VARMANÁM	10
7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	12
8. TILLÖGUR	12
9. HEIMILDIR	13

TÖFLUR

1. Boranir við Laugardælur	6
2. Boranir við Þorleifskot	7
3. Dýpi á vatnsæðar í jarðhitaholum við Laugardælur og Þorleifskot	8

MYNDIR

1. Staðsetning þekktra borholna á svæðinu við Laugardælur og Þorleifskot	14
2. Meðalupphafshiti í jarðhitakerfinu við Laugardælur og Þorleifskot	15
3. Hitamælingar úr holu ÞK-1	16
4. Hitamælingar úr holu ÞK-3	17
5. Hitamælingar úr holu ÞK-4	18
6. Hitamælingar úr holu ÞK-6	19
7. Hitamælingar úr holu ÞK-7	20
8. Hitamælingar úr holu ÞK-8	21
9. Jafnhitalínur á 50 m dýpi 1994	22
10. Jafnhitalínur á 100 m dýpi 1994	22
11. Jafnhitalínur á 150 m dýpi 1994	23
12. Jafnhitalínur á 300 m dýpi 1994	23
13. Jafnhitalínur á 400 m dýpi 1994	24
14. Jafnhitalínur á 600 m dýpi 1994	24
15. Jafnhitalínur á 1300 m dýpi 1994	25

16. Jafnhitalínur á 1700 m dýpi 1994	25
17. Jafnhitalínur á 100 m dýpi 1984	26
18. Jafnhitalínur á 150 m dýpi 1984	26
19. Jafnhitalínur á 300 m dýpi 1984	27
20. Jafnhitalínur á 400 m dýpi 1984	27
21. Hitasnið (N45°A) samsíða ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-3	28
22. Hitasnið (N45°A) samsíða ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-10	28
23. Hitasnið (N135°A) þvert á ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-13	29
24. Hitasnið (N135°A) þvert á ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-7	29
25. Dæmi um kólnunarhraða á 650 m dýpi í jarðhitakerfinu	30

1. INNGANGUR

Hitaveita Selfoss hefur nú nýtt jarðhitakerfið við Laugardælur og Þorleifskot í hart nær hálföld. Í upphafi var vatnsnámið í landi Laugardælna en það var fljótlega fært yfir á land Þorleifskots. Allt frá upphafi hefur hitaveitan átt við það vandamál að stríða að vatnið frá vinnsluholunum hefur farið kólnandi. Ástæða þess varð einnig fljótt ljós, en kólnunin stafar af því að kalt grunnvatn dregst að jarðhitakerfinu þegar vatnsborð lækkar í því. Fyrstu vinnsluholurnar voru mjög grunnar, þannig að þetta gerðist nokkuð hratt, því rennislleiðir grunnvatnsins að holunum voru mjög stuttar. Seinni vinnsluholur voru stöðugt boraðar djúpri til að vinna úr vatnsleiðurum neðar í jarðhitakerfinu og þar með lengja rennislleiðir grunnvatnsins að holunum. Kólnunin varð þá hægari þar sem grunnvatnið hafði lengri tíma til að hitna áður en það blandaðist jarðhitavatninu.

Sá eiginleiki jarðhitakerfisins að veita inn grunnvatni svo greiðlega, sem er orsök kælingarvandamálsins, er jafnframt einn stærsti kostur þess. Nýting jarðhitakerfisins verður miklu betri en ella, þar sem grunnvatnið tekur upp varma úr berginu og hitnar en bergið kólnar. Þannig verður lítil hættá á vatnsþurrð í jarðhitakerfinu, afköst þess verða meiri en annarra jarðhitakerfa af svipaðri stærð og vatnsborð lækkar tiltölulega lítið í því við vinnslu. Kostnaður við dælingu verður minni og holur almennt gjöfulli, en það hefur verið reyndin fyrir Hitaveitu Selfoss.

Nú er hins vegar svo komið að inni á vinnslusvæði hitaveitunnar nær kælingin niður á að minnsta kosti 650 m djúpi og vatnsgæfustu jarðlögin kólna um allt að 2°C/ári. Vatn er nú aðallega tekið úr vatnsæðum á um 550 m, 650 m og 900 m djúpi. Haldist kælingarhraðiinn svipaður næstu ár mun hiti vatns úr núverandi vinnsluholum nálgast nýtingarmörk til hitaveitunotkunar (55°C) eftir 10 ár.

Í þessari skýrslu er fjallað um hitaástand jarðhitakerfisins við Laugardælur og Þorleifskot eins og það er um þessar mundir. Kannaðar voru eldri rannsóknir á hitaástandi þess ásamt bor-sögu svæðisins, en hún endurspeglar hitabreytingar í kerfinu gegnum árin. Í lok skýrslunnar eru settar fram tillögur sem miða að því að afla meira og heitara vatns úr jarðhitakerfinu auk þess að lengja nýtingartíma núverandi vinnsluholna.

Í þessari skýrslu er bæjarnafnið Laugardælur notað í stað Laugardælir, sem oft hefur birst í skýrslum um þetta svæði. Bæjarnafnið Laugardælur er talið réttara af íslensku- og staðháttarfróðum mönnum, en dælur er þá fleirtalan af kvennkynsorðinu dæl sem merkir dæld, lægð og oft með tjörn. Það hefur því lýst staðháttum við bæinn. Orðið dælir er hins vegar karlkyns og merkir dalbúar sem á tæplega við um íbúa í Laugardælum.

2. UPPHAF HITAVEITU SELFOSS

Í yfirgripsmikilli grein Gunnars Böðvarssonar frá 1951 um rannsóknir á jarðhita í Hengli og nágrenni dregur hann saman niðurstöður heitavatsborana áratuginna á undan (Gunnar Böðvarsson, 1951). Í þeirri samantekt gerir hann skil á fyrstu niðurstöðum rannsókna á jarðhitasvæðinu við Laugardælur og Þorleifskot. Þar sem niðurstöður þeirra rannsókna hafa fullt gildi enn í dag, auk þess sem þær tengjast sögu svæðisins og efni þessarar skýrslu, verða skrif Gunnars birt hér nær orðrétt:

"Í Hraungerðishreppi í Árnessýslu hafa allumfangsmiklar boranir verið framkvæmdar fyrir hitaveituna á Selfossi. Fyrsta holan var gerð af rannsóknarráðinu í landi Laugardælna.

Þar er laug í túninu fyrir ofan bæinn; hiti hennar hefur verið nokkuð breytilegur allt frá 5°C í 30°C, en í landskjálftanum 1896 var hann skamman tíma allt að 60°C. Jarðhita verður ekki annarsstaðar vart í landi Laugardælna, en hinsvegar er hlaðinn brunnur í landi Þorleifskots, um 500 m fyrir austan Laugardælur. Einhver velgja kvað vera í honum, en hann frýs þó að vetri til.

Rannsóknarráðið boraði 22 m djúpa holu við laugina, og mældust 60°C á botni hennar. Haustið 1945 gerði jarðborunardeildin tilraun til þess að dýpka holuna, en það gekk erfiðlega, og komst borinn aðeins örfáa metra niður. Var þá afráðið að nota meitilbor við þessa borun, og kom hann á staðinn í lok ársins 1945. Í febrúar 1946 var lokið við að bora 67 m djúpa holu, og fengust 20 l/sek af 75°C heitu vatni, en dælan gat ekki afkastað meiru. Þótti þetta góður árangur.

Borunum var síðan haldið áfram seinni helming ársins 1946 með öðrum meitilbor, og höfðu í lok ársins alls verið boraðar 6 holur, að holu rannsóknarráðsins undanskilinni. Jarðfræðilegar aðstæður torvelduðu verkið, og tókst aðeins að koma einni holunni niður fyrir 50 m, en hún er 91 m á dýpt. Ekki rann heitt vatn úr neinni, en hinsvegar mældust 80°C á botni þeirrar dýpstu.

Fyrri hluta ársins 1947 voru mælingar á jarðviðnámi gerðar á þessum stað. Voru það með þeim fyrstu sem framkvæmdar voru hér á landi. Viðnámið reyndist óvenju lágt á stóru svæði umhverfis þann stað, sem borað hafði verið á, og var það talið bera vott um mikinn jarðhita. Reyndist illmögulegt að finna nokkur takmörk jarðhitasvæðisins. Að þessum mælingum loknum var talið nauðsynlegt að gera eina dýpri holu, og var til þess valinn demantsbor. Var borað með honum vorið 1947, og gekk það greiðlega, en holan varð 175 m djúp. Mesti hiti, sem mældist í holunni var 72°C. Kom það nokkuð á óvart, þar sem 79°C heitt vatn hafði komið upp í holu, sem aðeins er 20 m frá þessari.

Þá voru framkvæmdar prófdælingar á meitilborholunum, og reyndust þær gefa allmikið magn af um 70°C heitu vatni. Með hliðsjón af dælingunum og niðurstöðum viðnámsmælinganna var talið rétt að hefjast handa um byggingu hitaveitu til Selfoss.

Hitaveitan var tekin í notkun sumarið 1948, og gekk allt að óskum fyrstu mánuðina. Síðla ársins fór þó að bera á því, að vatnið kólnaði, og stafaði það augsýnilega af innstreymi kalds vatns inn í þær holur, sem dælt var úr; var þá aðallega dælt úr þeirri, sem er 91 m djúp. Vatnið kólnaði fyrst í stað smám saman og komst niður að 50°C, en þá kólnaði það skyndilega í h.u.b. 30°C, og varð holan því ónothæf. Var þá skipt um holu og dælt úr annarri 75 m djúpri holu, sem boruð hafði verið um haustið. Í byrjun ársins 1949 var hiti

vatnsins úr henni einnig kominn niður að 50°C, og var þá auðséð, að við svo búið mátti ekki standa. Var þá hafist handa um nýja og gaumgæfilega rannsókn svæðisins.

Stór hluti láglandis Árnassýslu er þakinn hinu mikla hrauni, sem á upptök sín við Veiðivötn og er venjulega nefnt Þjórsárhraun. Í Laugardælum er þykkt þess h.u.b. 20 m. Undir því er set, sem reyndist h.u.b. 20m í borholunum. Þá tekur við grágrýti, sem eflaust er efsti hluti grágrýtismyndunarinnar á þessum slóðum, þ.e. Hreppamyndunin. Virðist heita vatnið koma frá setinu, en sökum þess, hve það og hraunið fyrir ofan er lekt, var ógerningur að hindra blöndun við yfirborðsvatn. Fyrir neðan 50 m dýpt voru holurnar 68°C til 70°C.

Sá grunur vaknaði, að heita vatnið kæmi ekki upp á staðnum, heldur væru upptökin annars staðar, en setið leiddi það langar leiðir. Gat þetta verið í samræmi við niðurstöður viðnámsmælinganna frá 1947, sem sýndu mikla útbreiðslu heita vatnsins. Þó var á því stigi málsins ekki gerlegt að ganga algerlega úr skugga um þetta, og var því ákveðið að gera úrslitatilraun til þess að ná vatni úr berggrunninum, fyrir neðan setið, og voru í þeim tilgangi boraðar 2 holur með meitilbornum í byrjun ársins 1949. Var sú dýpri 137 m á dýpt, og voru dælnar tengdar við hana. Þetta gaf enn slæma raun, og var hiti vatnsins um 47°C.

Var þá tekið upp það ráð að mæla nákvæmlega hita í þessari holu, meðan á dælingu stóð. Hafði þá fengist ágætur rafviðnámshitamælir (termistor), sem notaður var við mælingarnar. Kom þá í ljós, að 67°C heitt vatn streymdi inn í holuna á 50 til 60 m dýpi, en þar fyrir ofan kom það mikið kalt vatn, að hitinn fór niður í 47°C. Á bilinu frá 65 m niður í 95 m kólnaði holan um tæpar 5°C. Þessi niðurstaða var mjög athyglisverð, og tók hún af allan vafa um, að heita vatnið kæmi ekki upp á staðnum.

Augsýnilega var þá ekki um annað að ræða en að finna uppstreymisstaðinn. Sumarið 1949 voru nákvæmar viðnámsmælingar gerðar á ný, og var hægt að haga þeim með hliðsjón af hinum jarðfræðilegu aðstæðum, sem komu fram við boranirnar.

Svæðið umhverfis Laugardælur og austur fyrir Þorleifskot var tekið til gaumgæfilegrar athugunar. Reyndist lægst viðnám á eins hektara svæði umhverfis Þorleifskot, en jafnvíðnámslínur virtust benda til þess, að vatnið rynni þaðan neðanjarðar til Laugardælna.

Að fengnum þessum niðurstöðum var í byrjun ársins 1950 ákveðið að bora við Þorleifskot, og gaf það góða raun. Úr tveim fyrstu holunum fengust 15 l/sek af 82°C heitu vatni. Kom það úr grágrýtislagi á 130 til 140 m dýpt. Borun er nú haldið áfram."

3. BORANIR

Mikið hefur verið borað eftir heitu vatni og til rannsókna umhverfis Laugardælur og Þorleifskot. Eins og segir í skrifum Gunnars Böðvarssonar hér á undan þá var borað í fyrstu í grennd við laug hjá Laugardælum. Líklega hefur laugin verið í grennd við gamla dæluhúsið sem er nálægt húsinu Tindum. Á grundvelli viðnámsmælinga var leit að heitu vatni færð austur fyrir Þorleifskot og borað þar. Flestar voru holurnar boraðar mjög nálægt hver annarri og elstu holurnar voru grunnar á okkar tíma mælikvarða eða innan við 100 m á dýpt. Í töflum 1 og 2 er birt yfirlit um jarðhitaholur við Laugardælur og Þorleifskot. Auk þeirra holna sem taldar eru í töflum 1 og 2 voru boraðar fimm holur við Tinda á árinu 1949 til að kanna grunnvatnsborð og voru þær allar innan við 10 m á dýpt. Á árinu 1994 voru síðan boraðar níu holur

á svæðinu norðan bæjanna og að Ölfusá til að kanna hitastigul þar (Helgi Torfason o.fl., 1995). Mynd 1 sýnir staðsetningu þeirra holna sem nú er vitað hvar eru á svæðinu.

TAFLA 1. Boranir við Laugardælur

Hola	Framkvæmd	Tími	Dýpi (m)
LD-1	Borun	1944	22
	Dýpkun	sept. 1945	29
LD-2	Borun	des 1945-feb. 1946	67
LD-3	Borun	maí-ágúst 1946	40
LD-4	Borun	ágúst-sept. 1946	51
	Hreinsun	maí 1947	51
LD-5	Borun	sept. 1946	21
LD-6	Borun	okt. 1946	20
LD-7	Borun	okt.-des. 1946	91,5
LD-8	Borun	ágúst 1947	175
LD-9	Borun	sept.-okt. 1948	75
	Dýpkun	jan.-feb. 1949	97
LD-10	Borun	marz-apr. 1949	33
LD-11	Borun	apr.-júlí 1949	137
LD-12	Borun	nóv.-des. 1949	20
LD-13	Borun	jan.-marz 1950	69
LD-14	Borun	sept. 1982	15,7
LD-15	Borun	sept. 1982	9,7

Í töflu 3 er tekið saman yfirlit um vatnsæðar í borholunum við Laugardælur og Þorleifskot. Er þar stuðst við hitamælingar og ýmsar skýrslur og greinargerðir um holurnar (Svanbjörg H. Haraldsdóttir, 1986). Virkustu æðarnar eru merktar með stjörnu (*), en á nokkrum stöðum er aðeins um vísbendingar að ræða og þær æðar líklega nær óvirkar í núverandi ástandi holnanna. Þær eru engu að síður taldar með í töflu 3 til að gefa betri mynd af eiginleikum jarðhitakerfisins og benda á skyldleika milli holna. Sem dæmi um nær óvirkar æðar má benda á djúpæðarnar í holu ÞK-13.

4. HITAMÆLINGAR

Í þeirri athugun sem gerð var nú á hitadreifingu í jarðhitakerfinu við Laugardælur og Þorleifskot var aðallega borin saman hitadreifingin á ákveðnum tímum og breytingar skoðaðar. Ekki var farið út í að reyna að ákvarða upphafshita við hverja einstaka holu þar sem gæði elstu hitamælinganna eru ekki nægjanleg til ákvörðunar á berghita. Flestar hitamælingar gerðar fyrir 1984 hafa verið tengdar aðgerðum í holunum og því truflaðar með tilliti til berg-hita. Einnig er jarðhitakerfið að kólna og nær kælingin stöðugt dýpra í það (Ómar Sigurðsson og Magnús Ólafsson, 1994), en holurnar hafa verið boraðar á mismunandi tímabilum og upphafshitaferill hvernar holu því háður tíma.

Til er áætlun á upphafshita í jarðhitakerfinu út frá hitamælingum í holunum við Þorleifskot, sem var lokaverkefni nemanda í Jarðhitaskóla Sameinuðu þjóðanna (Juraj Franko, 1991). Líta

TAFLA 2. Boranir við Þorleifskot

Hola	Framkvæmd	Tími	Dýpi (m)
ÞK-1	Borun	apr.-maí 1950	45
	Dýpkun	júní-sept. 1950	249
	Dýpkun	apr.-maí 1963	390
	Steypt	maí 1975	370
ÞK-2	Borun	júní-des. 1950	152
	Steypt	maí 1975	0
ÞK-3	Borun	sept.-des. 1950	213
	Dýpkun	nóv. 1958-feb. 1959	446
	Hreinsun	júlí 1966	446
	Steypt		365
ÞK-4	Borun	jan.-maí 1951	242
	Dýpkun	marz-apr. 1963	315
	Hreinsun	marz 1964	315
	Steypt	maí 1975	315
ÞK-5	Borun	maí 1951	31
	Dýpkun	maí 1951-feb. 1952	372
	Steypt	maí 1975	0
ÞK-6	Borun	júlí-sept. 1963	502
	Steypt	maí 1975	502
ÞK-7	Borun	sept.-des. 1963	430
	Steypt		425
ÞK-8	Borun	maí-ágúst 1966	489
	Dýpkun	júlí-ágúst 1972	738
	Dýpkun	júní 1977	781
	Steypt	feb.-marz 1986	634
ÞK-9	Borun	feb.-marz 1976	25
	Dýpkun	des. 1976-jan. 1977	1335
	Steypt	apr.-maí 1991	1335
ÞK-10	Borun	jan.-feb. 1978	36
	Dýpkun	apr.-júní 1979	1859
ÞK-11	Borun	feb.-marz 1980	34
	Dýpkun	júlí-okt. 1980	2007
ÞK-12	Borun	júní-sept. 1982	83
	Dýpkun	nóv. 1982-feb. 1983	1936
ÞK-13	Borun	feb.-ágúst 1985	1715
ÞK-14	Borun	júlí 1988-júní 1989	1433

má á þann upphafshita sem meðalhita á viðkomandi dýpi í kerfinu á þeim tímum er borholur náðu því dýpi. Mynd 2 sýnir meðalhitann eins og hann var áætlaður inni á jarðhitasvæðinu við Þorleifskot og við suðvesturjaðar þess umhverfis holu ÞK-11. Meðalhitinn er áætlaður lægri við holu ÞK-11, en inni á svæðinu sem sýnir að hitadreifing hefur verið til staðar á svæðinu frá upphafi.

TAFLA 3. Dýpi á vatnsæðar í jarðhitaholum við Laugardælur og Þorleifskot. Virkustu æðar í núverandi vinnsluholum merktar með stjörnu (*).

LD-7	LD-11	ÞK-1	ÞK-2	ÞK-3	ÞK-4	ÞK-5	ÞK-6	ÞK-7	ÞK-8	ÞK-9	ÞK-10	ÞK-11	ÞK-12	ÞK-13	ÞK-14
30	30	35	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	60	70	60	60	60	60	70	50	-	-	-	-	-	-
78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	120	120	120	130	130	140	-	-	-	-	130	-	140
		150	-	160	170	170	170	-	180	160	-	-	-	170	-
		-	-	-	200	190	-	190	-	-	-	-	-	-	200
		-	-	240	240	-	-	240	260	250	-	-	-	-	-
		290	-	300	290	-	-	-	-	290	300	300	300	300	-
		330	-	-	-	-	330	330	-	-	-	-	-	-	330
			360	-	-	-	360	-	350	340	-	*370	-	-	-
							400	400	400	-	400	-	-	-	-
							(440)	-	430	430	-	-	-	-	-
							490	-	-	-	-	-	500	-	-
									550	570	*550	580	-	*560	550
									620	-	-	-	620	*640	640
										730	720	720	-	-	-
										-	-	-	790	-	780
										-	-	-	-	-	*840
										900	-	890	-	-	-
										-	-	950	940	-	940
										980	980	-	-	-	-
										-	-	-	-	-	1010
										-	1120	*1100	-	-	-
										-	-	-	*1230	-	-
										-	1300	-	1300	-	(1340)
											-	-	*1430	1410	-
												-	1510	1510	-
											1550	1560	-	-	-
											-	-	1630	1630	-
											1710	-	-	-	-
												1800	-	-	-
												1950	-	-	-

Þegar dýpri holurnar voru boraðar (holur 9-12) sást í hitamælingum að hiti hækkaði mikið á 1000-1100 m dýpi. Eftir borun holu ÞK-12 var endanlega staðfest að jarðhitakerfið skiptist í efra og neðra vatnskerfi (Jens Tómasson, 1983) og virðist rennslissamband (þrýstingssamband) milli þessarra tveggja kerfa vera tregt. Efra vatnskerfið nær frá yfirborði og niður á tæplega 1100 m dýpi og er það dýpst við holu 11. Neðra vatnskerfið byrjar svo neðan 1200 m dýpis og virðist ná eins djúpt og borað hefur verið (sjá töflu 3). Samanburður hitamælinga sýnir að hiti hefur ekki breytst í neðra vatnskerfinu síðastliðin 12 ár og er því líklegt að hann hafi lítið breytst frá upphafi nýtingar svæðisins.

Á myndum 3 til 8 eru teiknaðir nokkrir hitaferlar úr holum við Þorleifskot, sem breytt hefur verið í mælingaholur, þannig að steipt hefur verið í þær grannt rör. Holurnar eru þéttar að öðru leyti þannig að ekkert rennsli er í þeim hvorki innan í rörunum né utan þeirra. Hitaferlarnir sem mældir voru nokkru eftir að holunum var breytt, sýna þá ríkjandi berghita við holurnar á hverjum tíma. Á myndunum eru einnig sýndar mælingar frá þeim tímum er viðkomandi hola var boruð, sem gefur þá hugmynd um mesta hita sem hefur verið við holuna þá. Við samanburð á hitaferlunum á myndunum sést vel að jarðhitakerfið er að kólna, eins og þekkt hefur verið frá upphafi nýtingar þess. Einnig sést á myndunum hversu hratt það kólnar á ákveðnu dýpi og að kælingin nær niður á minnst 650 m dýpi (mynd 8). Nokkur atriði eru eftirtektarverð á myndum 3 til 8 og má í fyrsta lagi nefna hitatopp á 80-110 m dýpi, en hann er hitaleif í þétu jarðlagi á því dýpi. Í öðru lagi dýpkar á þennan hitatopp til vesturs sem bendir til að jarðlögum halli til vesturs. Í þriðja lagi má benda á að frá 1975 til 1984 breyttist hitinn í

Þessari hitaleif ekki mikið, en á síðustu 10 árum hefur kælingin orðið örari. Undir þetta jarðlaginu sem áður er nefnt eru lek jarðlög sem kólna nokkuð hratt, sérstaklega er kælingin mikil á þröngu dýptarbili (140-160 m) við holu ÞK-1 sem er austast á vinnslusvæðinu. Eins og áður sagði nær efri hluti jarðhitakerfisins, efra vatnskerfið, niður á rúmlega 1000 m dýpi og kæling nær niður á minnst 650 m dýpi í því. Neðan 400 m dýpis er hiti enn á nokkru svæði yfir 80 °C, en með kælingarhraða allt að 2°C/ári þurfa ekki að líða nema rúm 10 ár þar til hiti í aðalvatnsæðum núverandi vinnsluholna ÞK-10 og ÞK-13) nálgist nýtingarmörk til hitaveitu.

5. HITADREIFING

Út frá tiltækum hitamælingum má fá þokkalega mynd af hitadreifingunni í jarðhitakerfinu við Laugardælur og Þorleifskot eins og hún var á árinu 1994. Þá eru til góðar mælingar úr holum sem eru dreifðar um stórt svæði, en á árinu 1994 bættust við 9 hitastigulsholur á svæðinu norður af bæjunum og að Ölfusá. Þannig fæst góð mynd af hitadreifingunni niður á um 150 m dýpi. Þegar hitadreifingin er skoðuð dýpra fækkar holum sem ná niður á viðkomandi dýpi og svæðið sem þær eru á minnkar. Þó má fá hugmynd um hitadreifinguna inni á vinnslusvæðinu niður á 600 m dýpi. Er komið er dýpra fækkar holunum enn og fáar hitamælingar eru til sem gefa ótruflaðan hita fyrir dýptarbilið 600-1000 m. Þegar komið er niður í neðra vatnskerfið má líta svo á að hiti sé óbreyttur þar og því nota hitamælingar sem gerðar eru á ólíkum tímum. Til að kanna hvernig hitadreifingin í jarðhitakerfinu hefur breytst með tímanum má nota hitamælingar frá 1984. Þær gefa hugmynd um hitadreifinguna niður á 400 m dýpi, en fáar hitamælingar gefa hitann dýpra frá því tímabili. Ef fara á lengra aftur í tíma, þá fækkar hitamælingum og fáar mælingar eru nær samtíma úr nokkrum holum. Það er því erfitt að fá mynd af hitadreifingunni á ákveðnu dýpi lengra aftur í tímann. Hins vegar er hægt að bera einstakar hitamælingar úr hverri holu við þá hitadreifingu sem er ákvörðuð fyrir árin 1984 og 1994 og áætla þannig hitabreytinguna til eða frá þeim tíma er mælingin var gerð.

Myndir 9 til 16 sýna hvernig hitadreifingin er ákvörðuð á 50 m, 100 m, 150 m, 300 m, 400 m, 600 m, 1300 m og 1700 m dýpi á árinu 1994. Ef litið er á mynd 9 gefa jafnhitalínurnar til kynna að hiti sé hæstur næst yfirborði austan við vinnslusvæðið (austur af holum ÞK-3 og ÞK-4). Einnig sést að hiti lækkar hratt til norðurs. Mynd 10 sýnir jafnhitalínur á 100 m dýpi eða í þetta jarðlaginu með hitaleifinni. Þar sést að hiti er hæstur austast á vinnslusvæðinu. Þegar komið er nokkur hundruð metra norður fyrir bæina er svæðið orðið kalt og er áberandi hvað hiti í hitastigulsholunum, sem boraðar voru þarna á árinu 1994, er miklu lægri en í holum inni á vinnslusvæðinu. Þá lækkar hiti einnig vestur og suðvestur af vinnslusvæðinu. Þetta er í samræmi við jafnvíðnámskort gerð af Þorsteini Thorsteinsson eftir víðnámsmælingum frá 1949 (Jens Tómasson, 1966). Mynd 11 sýnir jafnhitalínur á 150 m dýpi, þar sem mikil kæling hefur átt sér stað í jarðhitakerfinu. Þar sést að hiti er hvað lægstur austast á svæðinu (holur ÞK-1 og ÞK-4), sem bendir til að grunnvatn renni inn á vinnslusvæðið úr austri. Einnig er áberandi kuldatunga sem teygir sig úr norðri um holu HT-7 og í átt að holu ÞK-12. Þessa tungu má greina ofar líka og virðist hún fylgja og hafa sömu stefnu og sprungu sem vitað er um þarna. Þegar farið er dýpra takmarkast upplýsingar um hita við holur inni á vinnslusvæðinu. Á mynd 12 sést að á 300 m dýpi, þar sem töluverð kæling á sér stað í jarðhitakerfinu, virðist kælingin mest á þröngri rás með stefnu um holur ÞK-3 til ÞK-6. Þetta getur bent til að grunnvatnið renni þarna niður um sprungu með þessa stefnu. Sprunga er ekki þekkt þarna á yfirborði og verið getur að hún nái aðeins upp í leka jarðlagið á 110-150 m dýpi. Stefna kælirásarinnar er

hins vegar sú sama og fyrir þekktar sprungur á svæðinu. Dýpra fækkar holum enn og á 400 m dýpi (mynd 13) er kælirásin ekki eins áberandi. Hitamælingar benda til að hiti sé hæstur á því dýpi norðan við núverandi vinnsluholur. Þegar komið er niður á 600 m dýpi vottar enn fyrir kælirásinni í austurjaðri vinnslusvæðisins (mynd 14) og hiti virðist hæstur til vesturs eða norðvesturs frá Þorleifskoti. Hitamælingar frá 1965 ýttu undir svipaðar hugmyndir (Jens Tómasson, 1966). Eins og áður sagði er erfitt að skoða hitadreifinguna í efra vatnskerfinu dýpra og þegar komið er niður í neðra vatnskerfið eru aðeins 5 holur sem ná niður í það. Myndir 15 og 16 sýna jafnhitalínur í neðra vatnskerfinu á 1300 m og 1700 m dýpi. Þó fáar holur ná niður á þessi dýpi benda mælingar eindregið til að hiti hækki til austurs eða suðausturs í neðra vatnskerfinu.

Myndir 17 til 20 sýna hitadreifinguna á 100 m, 150 m, 300 m og 400 m dýpi eins og hún er talin hafa verið 1984. Almenn er hitadreifingin svipuð árin 1984 og 1994, en hiti um 10°C lægri 1994. Þegar vinnslu- og eftirlitsholur voru hitamældar 1984 var vatnsborð á meira en 50 m dýpi í þeim. Því er ekki hægt að gera mynd af hitadreifingunni á 50 m dýpi það árið. Lögun jafnhitalína í hitalefni á 100 m dýpi er svipuð árin 1984 og 1994 (mynd 17). Hiti er hæstur austast á vinnslusvæðinu og hitatoppur við holu ÞK-10. Hiti lækkar síðan til vesturs og suðvesturs. Á 150 m dýpi er myndin einnig svipuð 1984 og 1994. Þar er hiti lægstur austast á svæðinu (hola ÞK-1), sem bendir til aðstreymis grunnvatns úr austri inn á vinnslusvæðið. Hitahámark er svo um miðbik vinnslusvæðisins (mynd 18). Þegar komið er niður á 300 m og 400 m dýpi helst myndin áfram svipuð árin 1984 og 1994. Mest áberandi er kælirásin á austurjaðri svæðisins í stefnu milli holna ÞK-3 og ÞK-6 (mynd 19). Einnig hærri hiti norðvestan til á svæðinu (mynd 20).

Á myndum 21-24 eru sýnd hitasnið gegnum jarðhitakerfið. Myndir 21 og 22 sýna hitasnið sem liggja N45°A og eru nær samsíða ríkjandi sprungustefnu á svæðinu. Annað sniðið liggur um holu ÞK-3 austast á vinnslusvæðinu (mynd 21), en hitt sniðið liggur um holu ÞK-10 inni á miðju svæðinu (mynd 22). Austast sést kæling á um 150 m dýpi við holuþyrpinguna þar. Einnig sést kæling við holu ÞK-8 á um 300 m dýpi sem kemur líka fram við holu ÞK-10. Myndir 23 og 24 sýna svo hitasnið sem liggja N135°A eða nær þvert á ríkjandi sprungustefnu. Mynd 23 sýnir snið sem liggur um holu ÞK-13 og mynd 24 snið sem er norðar og liggur um holu ÞK-7. Hitasniðið um holu ÞK-13 er nokkuð flókið, en sýnir aðallega kælingu austast á um 150-200 m dýpi og á um 600 m dýpi. Einnig að það gryn timer mjög á háan hita suðaustur af svæðinu. Á mynd 24 er mest áberandi kælirásin sem kemur fram á um 120 m dýpi og teygir sig niður í jarðhitakerfið í grennd við holu ÞK-4.

6. UMRÆÐA OG VARMANÁM

Í meginatriðum er hitadreifingin í jarðhitakerfinu eins 1984 og 1994. Munurinn er að hiti er almennt um 10°C lægri 1994. Líklegt er að svipuð hitadreifing hafi verið lengi í jarðhitakerfinu, jafnvel allt frá því vinnsla hófst úr kerfinu. Alla vega benda elstu rannsóknir á svæðinu til að hiti hafi verið hæstur austast á núverandi vinnslusvæði. Einnig að hiti lækki til norðurs og eins til vesturs og suðvesturs þegar komið er vestur fyrir Laugardælur.

Árið 1982 voru gerðar viðnámsmælingar á svæðinu norður og norðaustur af bæjunum (Gylfi Páll Hersir og Ólafur G. Flóvenz, 1982). Ekki virðast jafnhitalínur falla að eða fylgja lágviðnámsrennum sem þar koma fram. Hins vegar sýna jafnhitalínurnar fylgni við þekktar sprung-

ur og sprungustefnu á svæðinu.

Lauslega má áætla varmanámið úr jarðhitakerfinu og bera það saman við varma sem tekinn hefur verið úr því sem heitt vatn. Ef aðeins er litið á efstu 650 metrana með eftirfarandi forsendum; eðlisþungi bergs 2800 kg/m^3 , varmarýmd bergs $0,89 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$, grop $0,15$ og flatarmál svæðis $0,9 \text{ km}^2$ (u.þ.b. flatarmál svæðis innan 30°C jafnhitalínu á 100 m dýpi 1994) þá fæst varmatap bergsins yfir 46 ára tímabil um $3,62 \times 10^{13} \text{ kJ}$. Ef varmaflutningur með vatni á sama tímabili samsvarar 60 l/s af 80°C vatni í 30 ár og 100 l/s af 75°C vatni í 16 ár þá er sá varmi um $3,48 \times 10^{13} \text{ kJ}$ eða um 96% af varmatapi bergsins. Ef svæðið er stærra þá lækkar þetta hlutfall og eins ef vinnslan hefur verið minni að jafnaði. Varmanýtnin úr jarðhitakerfinu er þó greinilega mjög góð. Lita má á fleiri svona dæmi og reikna með að meðalhiti í efstu 400 m sé um 50°C og um 75°C á bilinu 400-650 m. Ef bergið kólnar í 55°C þá dugar sá varmi til að hita 100 l/s af 20°C vatn upp í 75°C í um 13 ár. Í reynd gerist þetta ekki þannig heldur tekur vatnið varma úr berginu og kælir það, en hitnar aðeins upp í hita bergsins. Tíminn sem þetta gerist á verður því lengri.

Til að sýna þetta betur var sett upp mjög einfalt reiknilíkan af jarðhitakerfinu með sama rúmmál og áður var notað. Það er með áður nefndri hitaskiptingu og ofangreindum eðliseiginleikum ásamt lekt frá prófun á víxlverkun milli holna ÞK-7, ÞK-8 og ÞK-10 (Gísli Karel Halldórsson, 1980). Í fyrsta tilfellinu kemur 20°C vatn inn í jarðhitakerfi við yfirborð og seitlar niður á 650 m dýpi þar sem 100 l/s eru teknir úr því. Annað tilfellið sýnir þegar kalda vatninu er leyft að koma frá hlið inn í jarðhitakerfið. Þriðja tilfellið sýnir svipað en þá kemur vatnið inn á dýptarbilinu 400-650 m. Í síðasta tilfellinu kemur það inn í lekara lag á 600 m dýpi. Mynd 25 sýnir niðurstöður þessara reikninga. Rétt er að minna á að þetta eru mjög einfölduð líkön sem þó taka mið af gerð jarðhitakerfisins. Þau sýna því aðallega mismun í kælingarhraða fyrir ofangreindar forsendur, en þurfa ekki endilega að sýna þá raunkælingu sem mælist í jarðhitakerfinu. Mynd 25 sýnir þannig hitann í berginu á 650 m dýpi með tíma í ofangreindum líkönum.

Í dæmunum að ofan er kólnunarhraðinn nokkuð minni en sést í eftirlitsholunum við Laugar-dælur og Þorleifskot. Það getur stafað af því að innstreymi kaldavatsins fer um stærra rúmmál bergs í einföldu reiknilíkönunum en gerist í reynd og varmanýtingin verður því meiri í reikningunum. Í reynd skiptast á í kerfinu mjög lek jarðlög og lög með minni lekt. Þegar leku jarðlögin ná sambandi við kalda aðstreymið þá kólna þau nokkuð hratt, en hitaleif verður eftir í þéttari jarðlögum. Fyrir fyrsta tilfellið er kólnunarhraðinn um tvöfalt minni en hann mælist í þéttari jarðlögum. Kólnunarhraðanum þar svipar hins vegar til þess er þriðja tilfellið gefur og í lekari jarðlögum getur hann verið tvöfalt meiri. Þannig skiptir máli fjarlægð vinnsluholnanna (vatnsæðanna) til aðstreymisins, en varmanýtingin úr berginu verður betri með meiri fjarlægð eins og sést á mynd 25. Ef fjarlægðin er stutt eða kælingin hefur náð niður í lekt jarðlag þá kólnar vatnið sem holurnar vinna mun hraðar en sýnt er á mynd 25.

7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

- Hæstur hiti grynnt og dýpst í jarðhitakerfinu er austan eða suðaustan við núverandi vinnslusvæði. Hugsanlegt er því að uppstreymi heits vatns sé á þeim slóðum. Með frekari nýtingu svæðisins í huga er því nauðsynlegt að afmarka jarðhitakerfið til austurs og suðausturs.
- Hitaleif í þéttu jarðlagi á 80-110 m dýpi kólnar nú hratt. Einnig nær kæling orðið djúpt niður í efra vatnskerfið (meira en 650 m). Kælingin nær því nú til gjöfulustu vatnsæðanna í aðalvinnsluholum hitaveitunnar, þannig að eftir rúm 10 ár getur hiti vatnsins verið farinn að nálgast nýtingarmörk til hitaveitu. Hitaveitan mun því þurfa að afla sér meiri orku fyrir þann tíma, en hugsanlega má fá hana að hluta eða öllu leyti úr dýpra vatnskerfinu.
- Eins og hitadreifingin er túlkuð nú virðist efra vatnskerfið vera enn heitt vestur og norðvestur af Þorleifskoti. Hugsanlega mætti með borun grunnrar holu þar, grynri en 1000 m, fá tímabundið heitara vatn. Sú hola yrði á svæði um 100-150 m norður af holu ÞK-10.
- Eftir frekari rannsóknir á svæðinu austur og suðaustur af núverandi vinnslusvæði mætti huga að aðgerðum til að hægja á kælingu jarðhitakerfisins. Ef kælrásin, sem kemur fram á austurjaðri vinnslusvæðisins, er aðalveitir grunnvatns niður í jarðhitakerfið mætti hugsanlega reyna að þétta hana að einhverju leyti, en kólnunarhraðinn skiptir máli fyrir nýtingu kerfisins.

8. TILLÖGUR

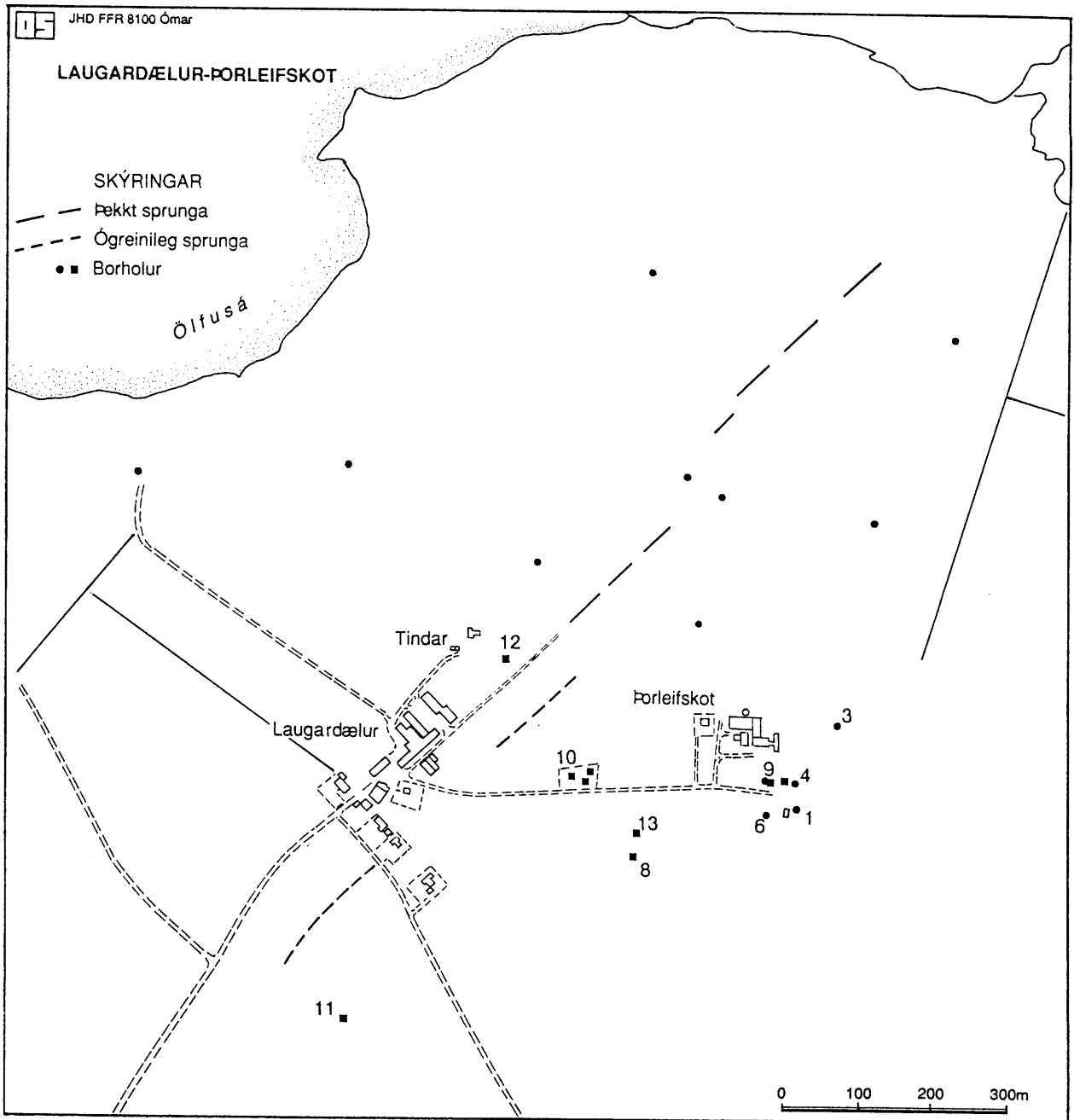
- Lagt er til að boraðar verði 2-4 hitastigulsholur, 150 m djúpar, austur og suðaustur af núverandi vinnslusvæði við Þorleifskot. Holurnar þurfa að vera minnst 150 m djúpar til að sýna væntanlegan viðsnúning í hitastigli á 120-130 m dýpi. Fyrstu 2 holurnar ætti að hafa annars vegar um 200 m austur af holu ÞK-4 og hins vegar um 300 m suðaustur af holu ÞK-6. Staðsetning seinni holna ætti að ráðast af niðurstöðum úr fyrstu tveim holunum. Þriðja holan yrði hugsanlega staðsett austur til norðaustur af holu ÞK-3.
- Ef niðurstöður frá hitastigulsholum styðja þær hugmyndir um jarðhitakerfið sem hér eru settar fram er lagt til að boruð verði djúp hola (allt að 2000 m) austan eða suðaustan núverandi vinnslusvæðis. Markmið með djúpri holu væri að kanna efra vatnskerfið, en fyrst og fremst að finna gjöfular vatnsæðar í neðra vatnskerfinu.
- Lagt er til að reynt verði að staðsetja líklega sprungu sem ætti að liggja nálægt stefnu milli holna ÞK-3 og ÞK-6 sem nákvæmast. Þessi sprunga virðist veita grunnvatni niður í jarðhitakerfið. Grunnvatnið virðist aðallega koma í sprunguna úr leku jarðlagi á rúmlega 120 m dýpi. Sprungan er ekki þekkt á yfirborði og því óvíst að hún nái upp til yfirborðs, en hún hefur sömu stefnu og er ríkjandi fyrir þekktar sprungur á svæðinu. Í framhaldi er lagt til að boraðar verði 4 holur, um 150 m djúpar, í línu eftir sprungunni með 50-75 m millibili. Síðan verði þunnri steypu þrýst í sprunguna um holurnar (grautun). Markmiðið yrði að þétta sprunguna á kafla og hægja þannig á rennsli grunnvatns niður hana. Með því að hægja á niðurrennsli grunnvatns í jarðhitakerfið mun kólnun þess hægja á sér. Rennisleiðir grunnvatnsins lengjast og varmanámið úr berginu verður úr stærra rúmmáli sem hægir á kólnunarhraðanum. Svona aðferðir eru algengar við þéttingu bergs undir stíflu-

mannvirkjum, en hafa hvorki verið reyndar á jarðhitasvæðum né svo djúpt. Hér yrði því að vissu marki um tilraun að ræða, en hún er hlutfallslega ódýr miðað við mögulegan ávinning. Sem dæmi um ávinning má nefna að ef kólnunarhraði minnkar um helming þá tvöfaldaast nýtingartími núverandi vinnsluholna.

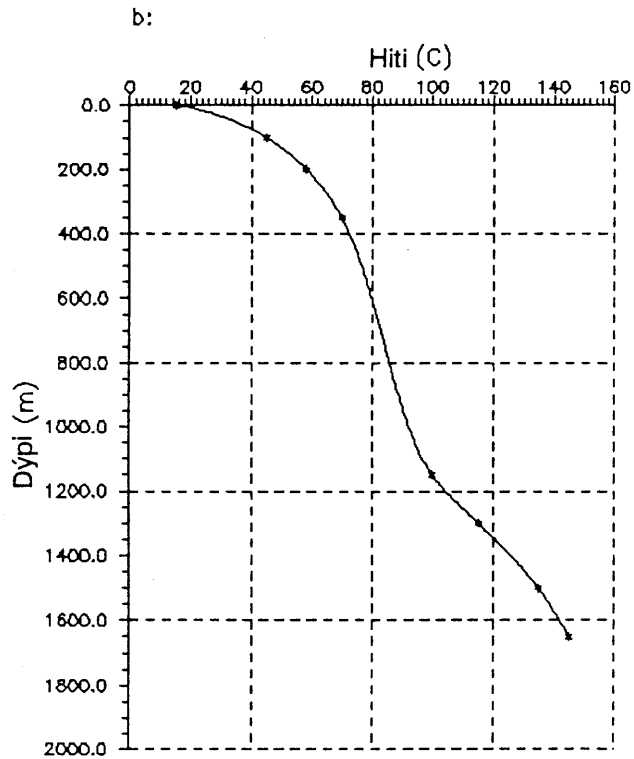
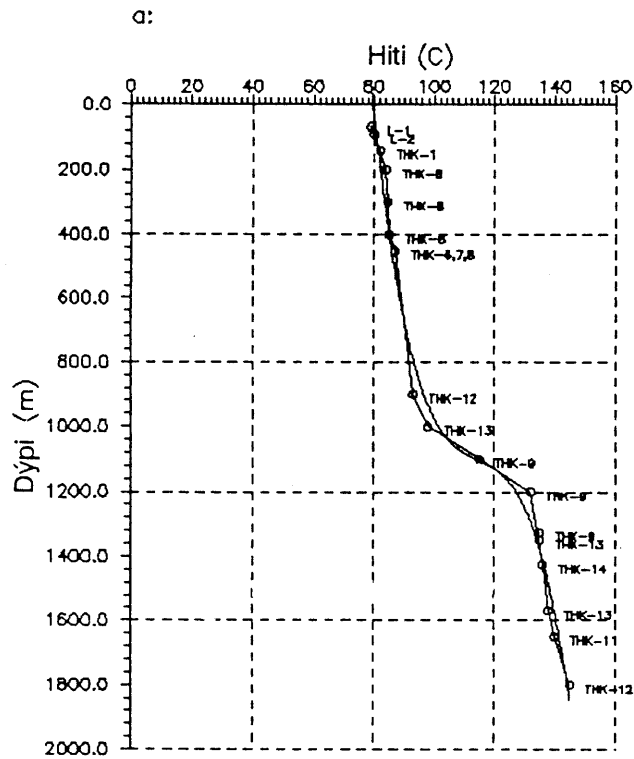
- Lagt til að steyppt verði í vatnsæðarnar á 370 m dýpi í holu ÞK-11, en nú rennur úr þeim og niður í vatnsæð á um 1100 m dýpi holunni. Einnig þarf fljótlega að steypa í vatnsæðar á um 550 m og jafnvel 640 m dýpi í holu ÞK-14, en sú hola er aðeins fódruð í 476 m dýpi. Mælt er með að byrjað verði á að steypa í æðarnar frekar en að endurfóðra holurnar. Ástæðan er eðli jarðhitakerfisins og að slík steyping getur endst í allt að 10 ár.
- Lagt er til að hruntappi á rúmlega 980 m dýpi í holu ÞK-10 verði boraður út og holan hreinsuð til botns. Vitað er um nokkrar vatnsæðar neðan hruntappans í holunni og gæti þurft að beita örvunaraðgerðum á þær. Með aukinni þekkingu og betri mælitækni hefur áhætta í örvunaraðgerðum minnkað og má benda á nýlegan árangur á Seltjarnarnesi. Ef aðgerðirnar skila árangri og neðra vatnskerfið verður virkt í holunni þarf að steypa í efri æðar holunnar.
- Þegar vatn í holu ÞK-13 hefur kólnað niður að nýtingamörkum er lagt til að holan verði dýpkuð í minnst 2000 m dýpi og reynt að fá vatn úr neðra vatnskerfinu þar. Líklegt er að beita verði örvunaraðgerðum til þess.

9. HEIMILDIR

- Gunnar Böðvarsson, 1951: Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. Tímarit V.F.Í. 36. árg. s. 1-44.
- Gísli Karel Halldórsson, 1980: Niðurstöður dæluþrófana á vinnslusvæði Hitaveitu Selfoss. Orkustofnun greinargerð GKH-80/01, 28 s.
- Gylfi Páll Hersir og Ólafur G. Flóvenz, 1982: Viðnámsniðsmælingar við Selfoss. Orkustofnun OS-82067/JHD-13 B, 29 s.
- Helgi Torfason, Guðni Axelsson og Ragna Karlsdóttir, 1995: Hitaveita Selfoss. Rannsóknarboranir norðan Þorleifskots og Laugardælna 1994, Orkustofnun, skýrsla í handriti.
- Jens Tómasson, 1966: Jarðhiti í nágrenni Selfoss. Raforkumálastjóri, jarðhitadeild, 39 s.
- Jens Tómasson, 1983: Borun ÞG-12. Orkustofnun greinargerð JT-83/01, 15 s.
- Juraj Franko, 1991: The cooling of the Selfoss geothermal reservoir in southern Iceland. UNU Geothermal Training Programme, Reykjavík, Iceland. Report 6, 31 s.
- Ómar Sigurðsson og Magnús Ólafsson, 1994: Hitaveita Selfoss. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1993-1994. Orkustofnun OS-94050/JHD-29 B. 34 s.
- Svanbjörg H. Haraldsdóttir, 1986: Þorleifskot. Mælingar í borholum ÞG-8 - ÞG-12. Orkustofnun OS-86010/JHD-03 B, 102 s.



MYND 1. Staðsetning þekkra borholna á svæðinu við Laugardællur og Porleifskot.

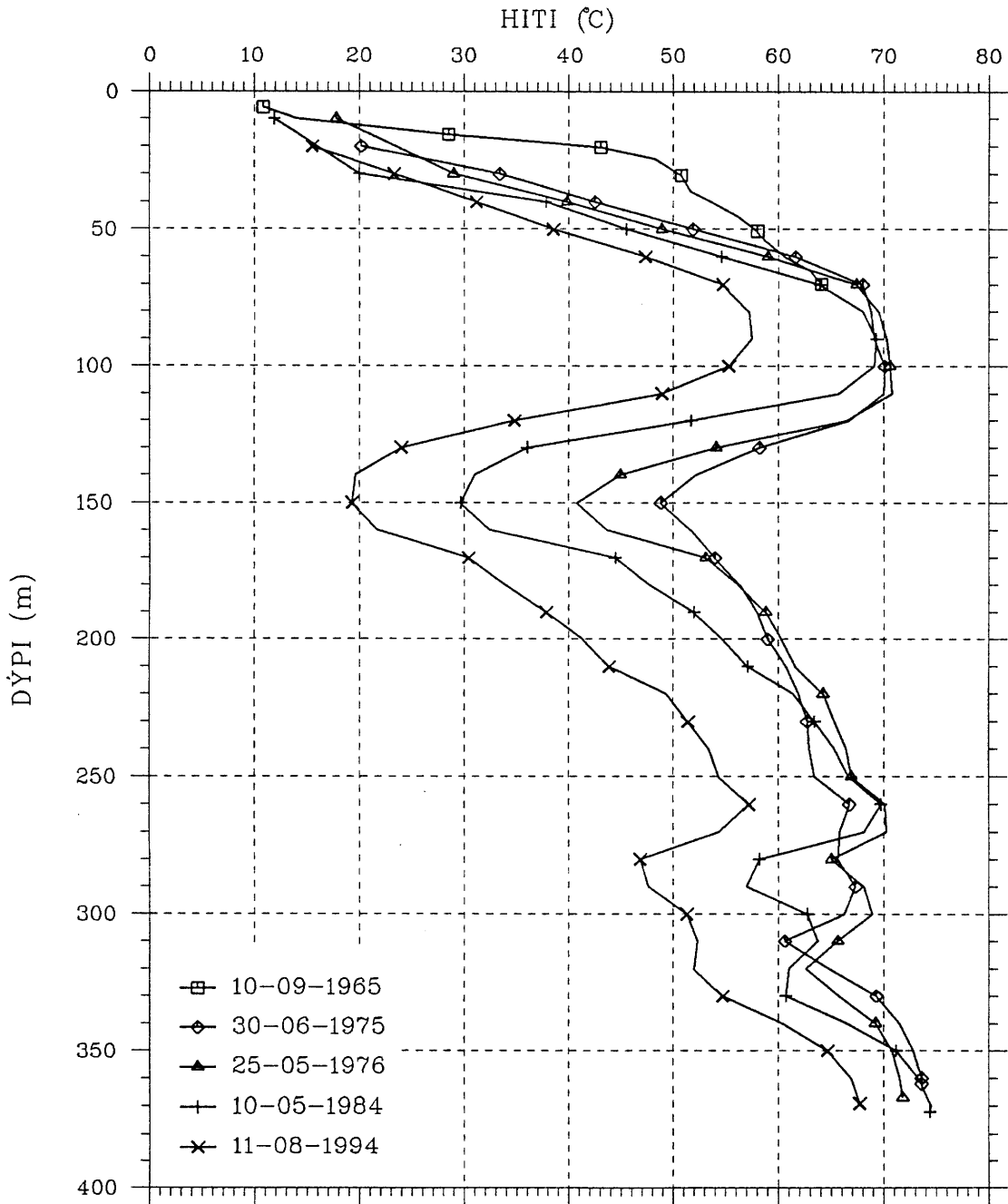


JHD HSP 8706 JF
91.10.0808 T

MYND 2. Meðalupphafshiti í jarðhitakerfinu við Laugardælar og Þorleifskot. A) Inni á vinnslusvæðinu. B) Við suðvestur jaðar vinnslusvæðisins (holu ÞK-11). (Mynd frá Juraj Franko, 1991).

☐ 30 Nov 1994 omar
L= 87401 Oracle

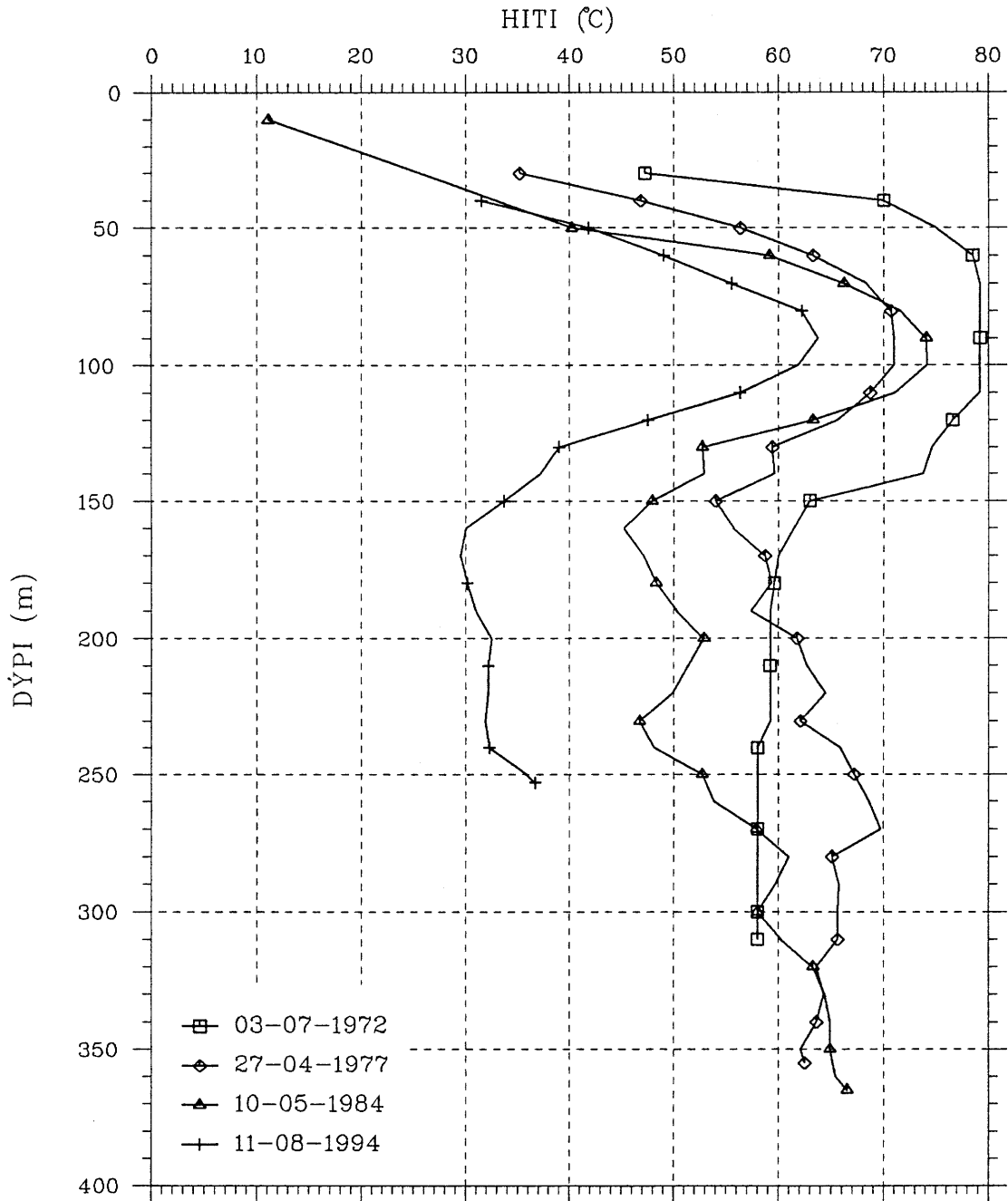
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot ÞK-1



MYND 3. Hitamælingar úr holu ÞK-1.

IF 30 Nov 1994 omar
L= 87403 Oracle

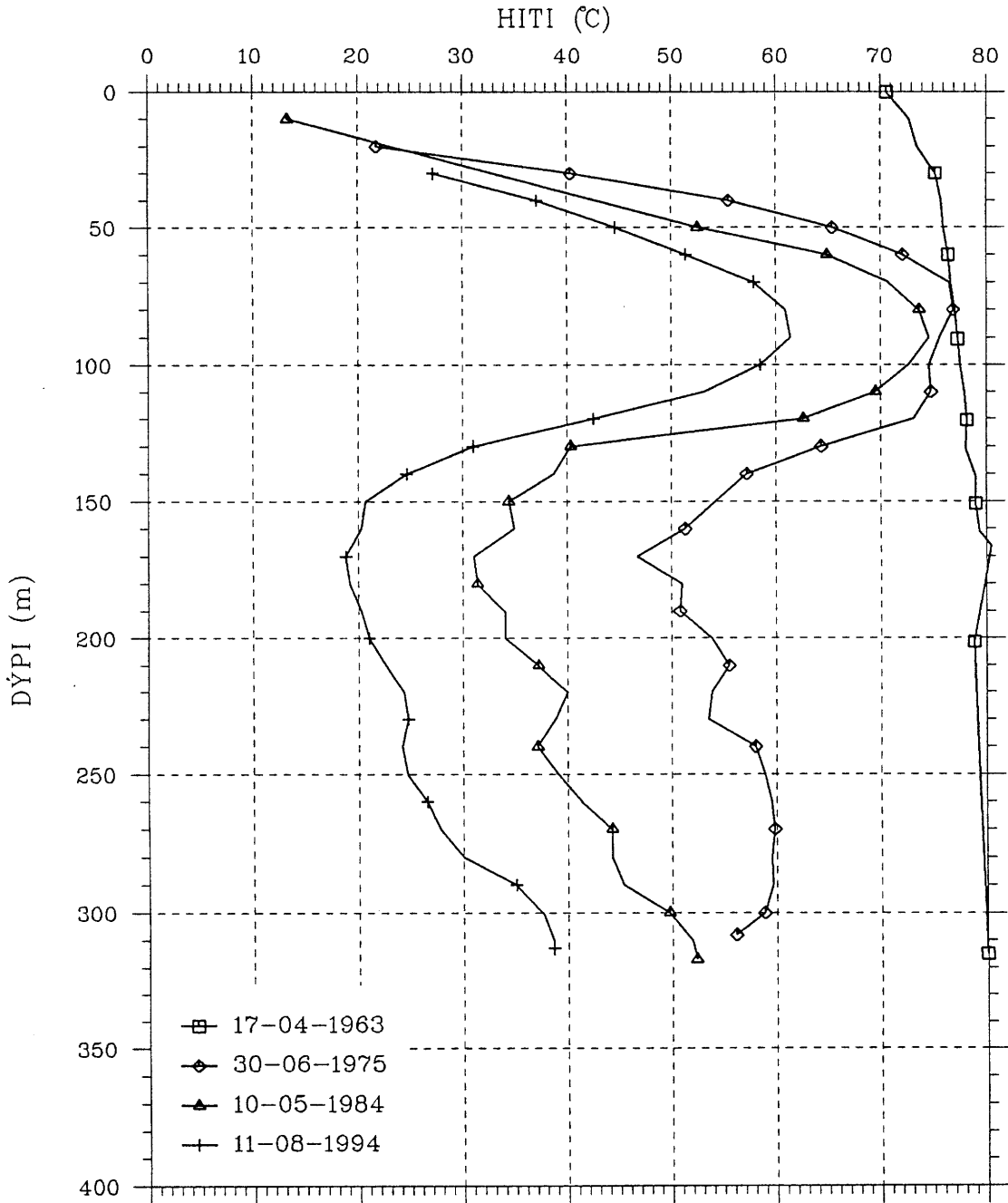
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot ÞK-3



MYND 4. Hitamælingar úr holu ÞK-3.

30 Nov 1994 omar
L= 87404 Oracle

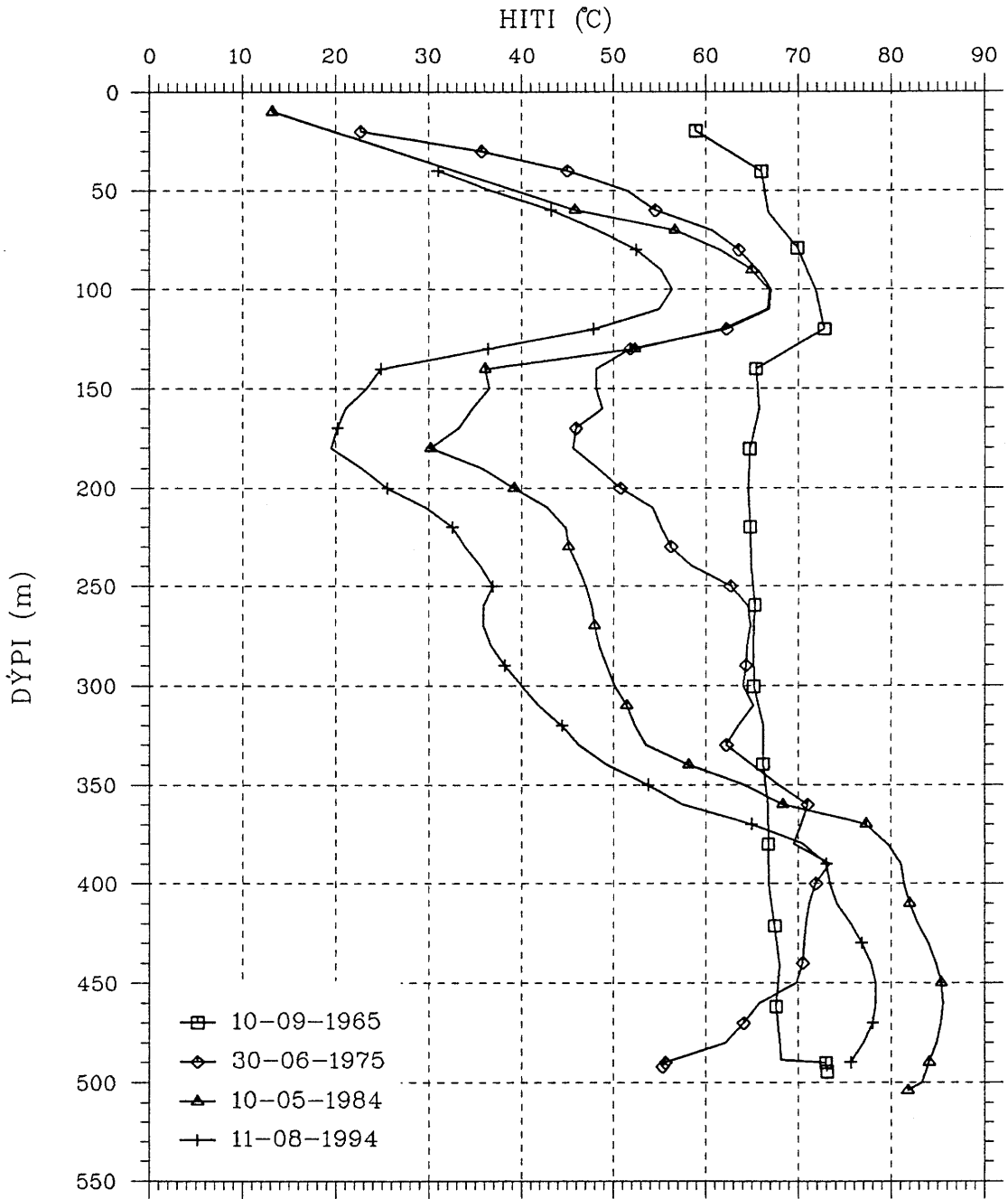
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot ÞK-4



MYND 5. Hitamælingar úr holu ÞK-4.

30 Nov 1994 omar
L= 87406 Oracle

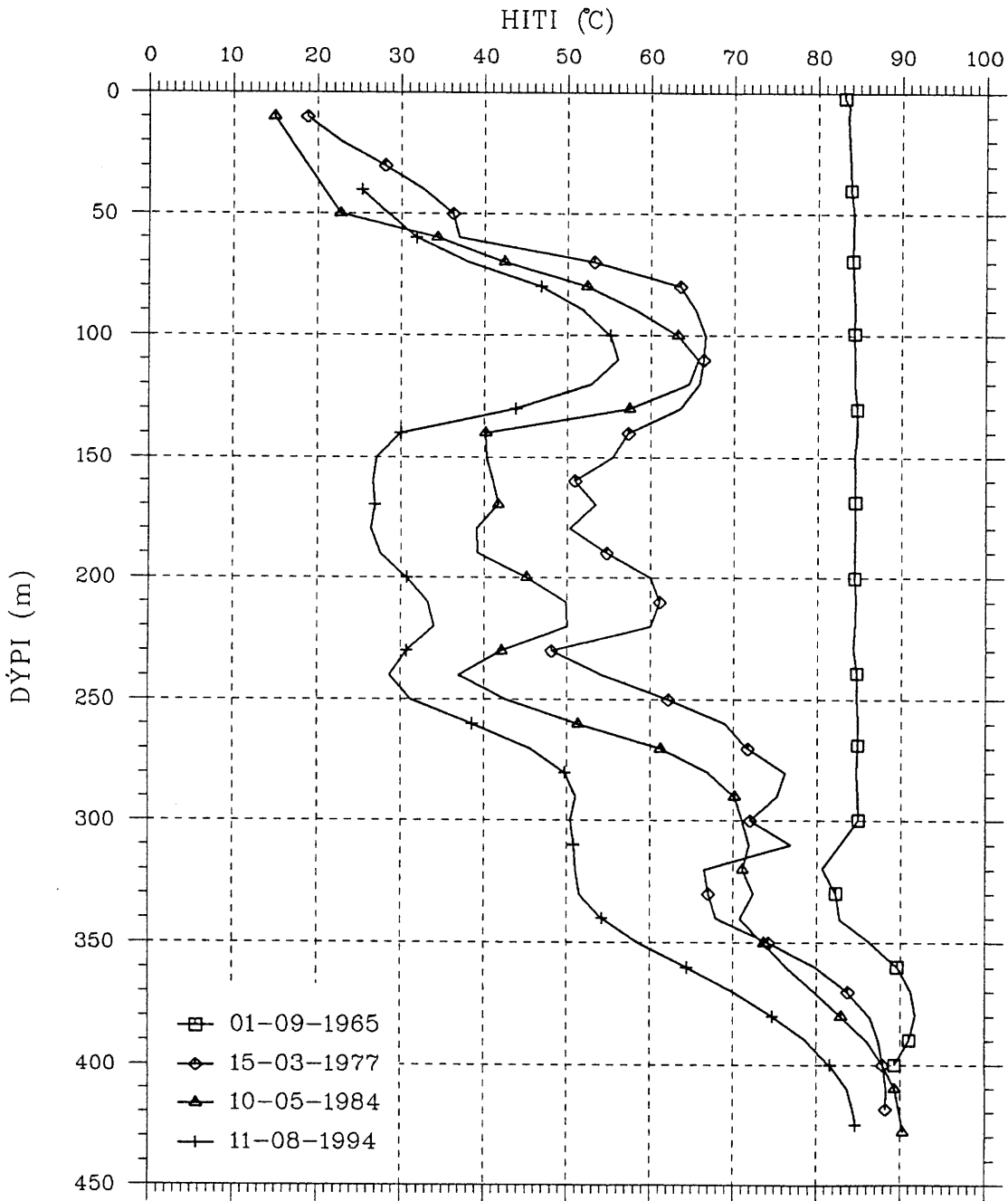
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot PK-6



MYND 6. Hitamælingar úr holu PK-6.

☐ 30 Nov 1994 ómar
L= 87407 Oracle

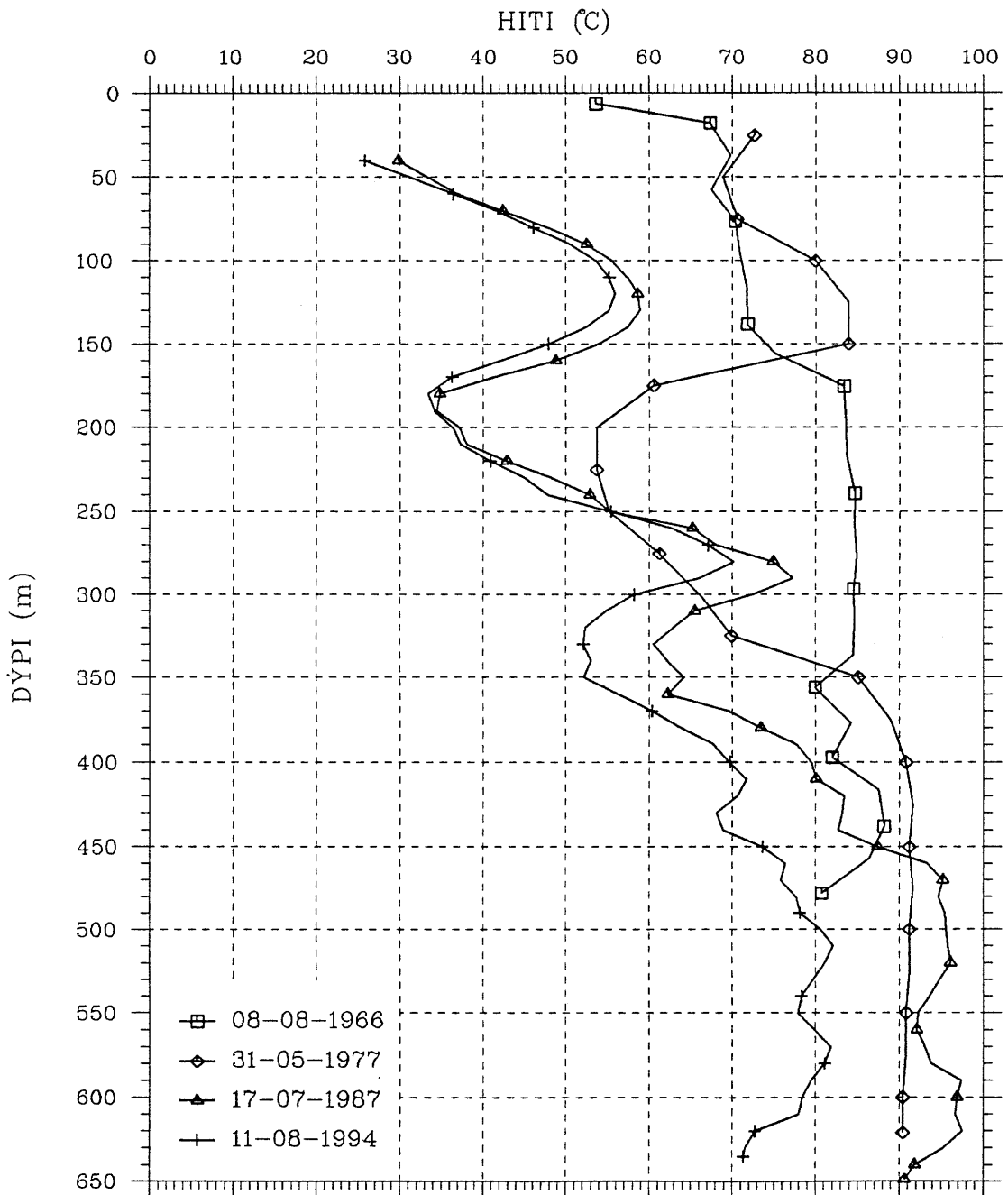
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot ÞK-7



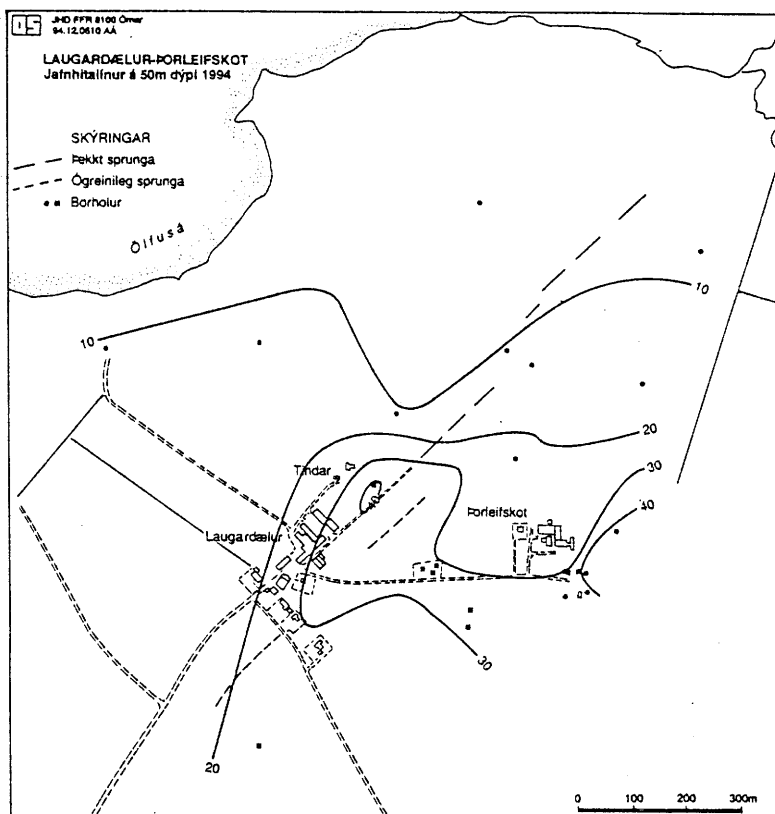
MYND 7. Hitamælingar úr holu ÞK-7.

30 Nov 1994 omar
L= 87408 Oracle

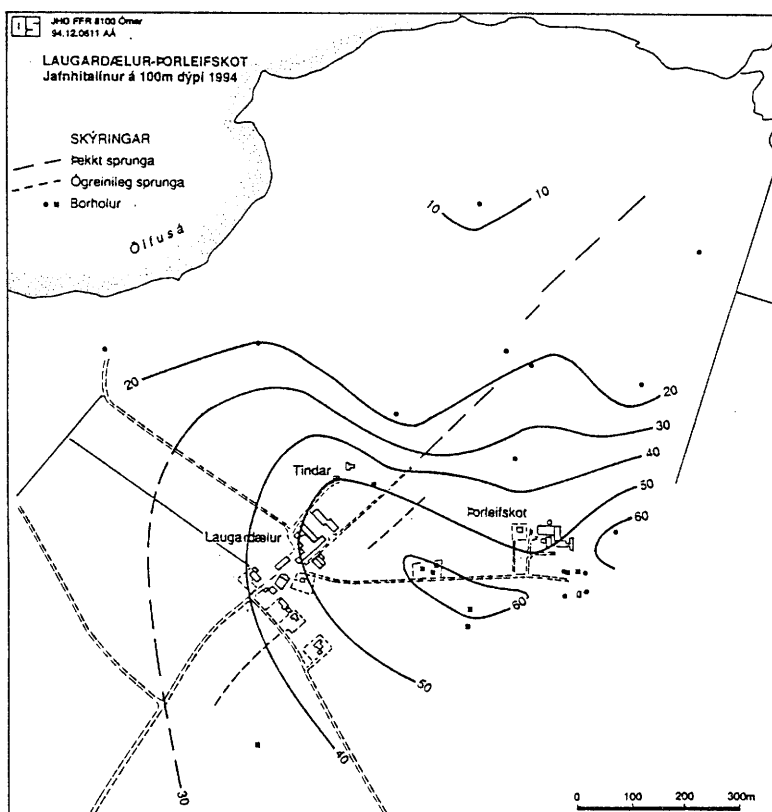
HITAVEITA SELFOSS Þorleifskot ÞK-8



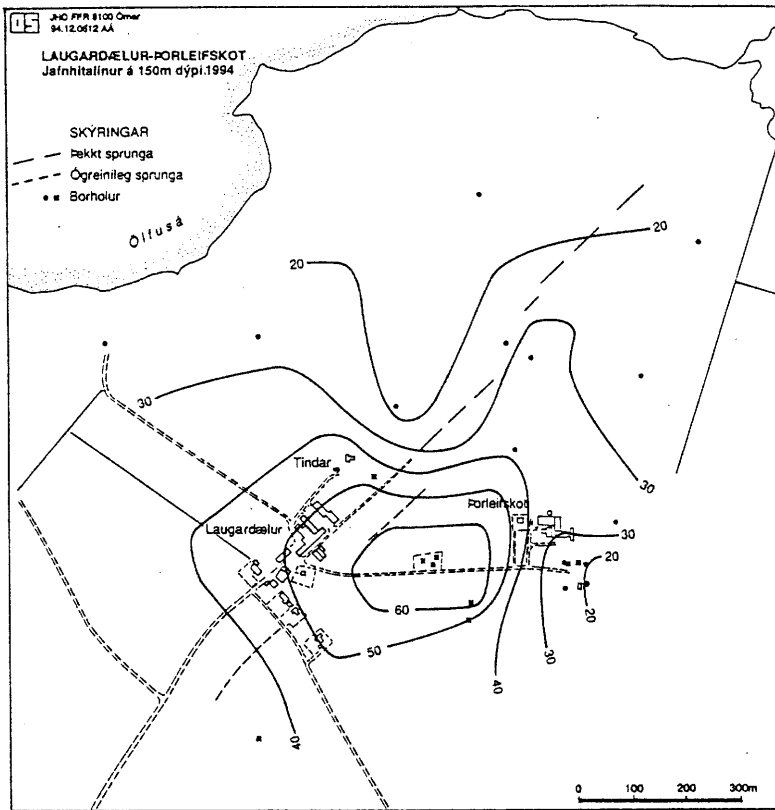
MYND 8. Hitamælingar úr holu ÞK-8.



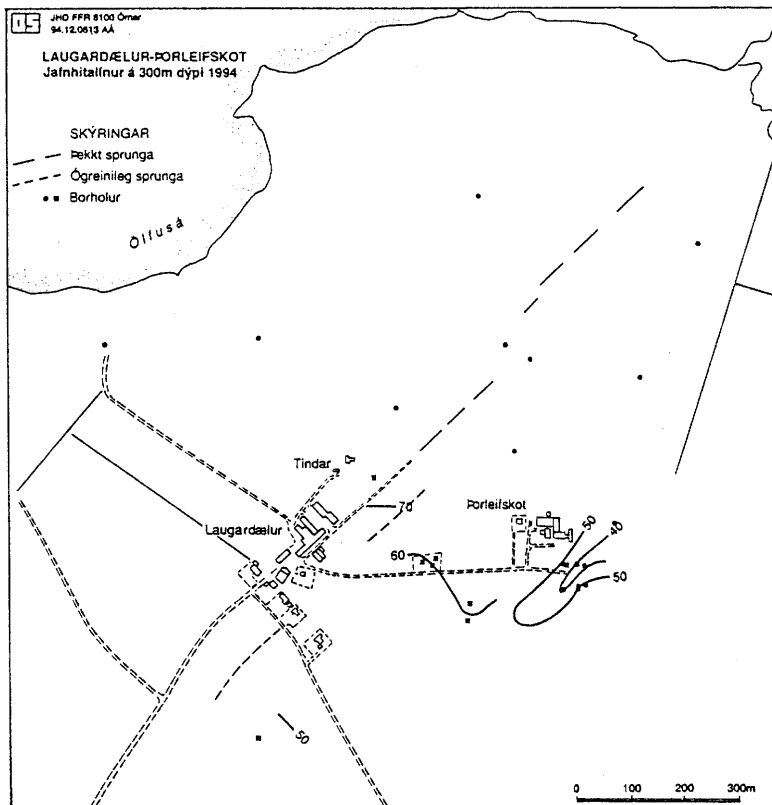
MYND 9. Jafnhitalínur á 50 m dýpi 1994



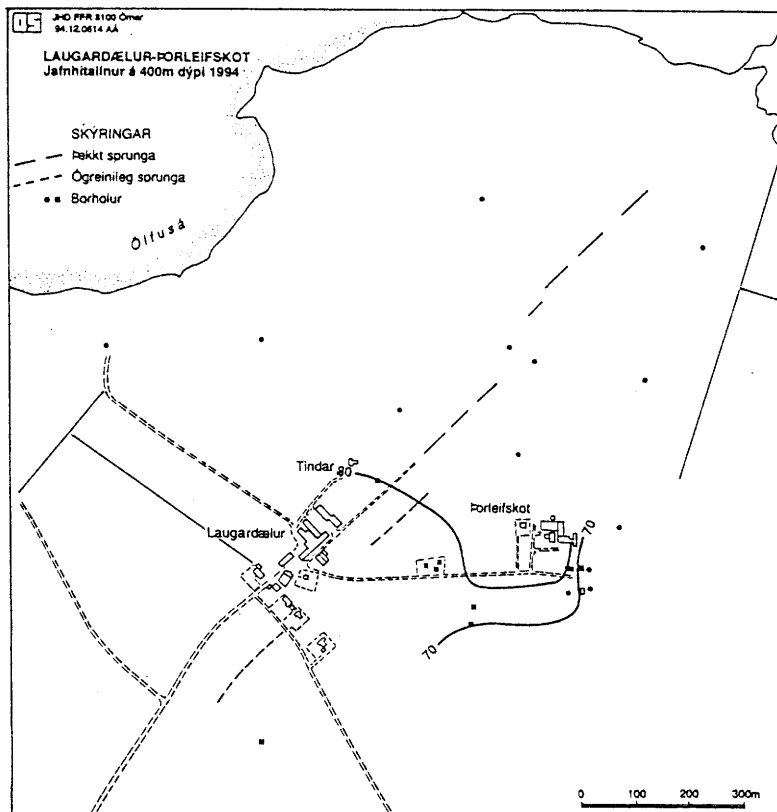
MYND 10. Jafnhitalínur á 100 m dýpi 1994



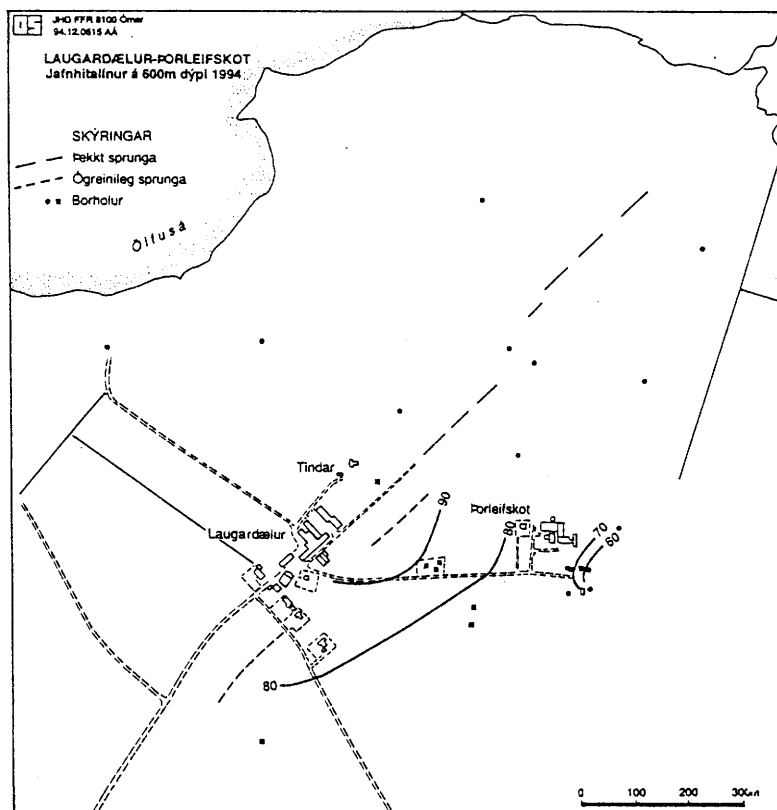
MYND 11. Jafnhitalínur á 150 m dýpi 1994



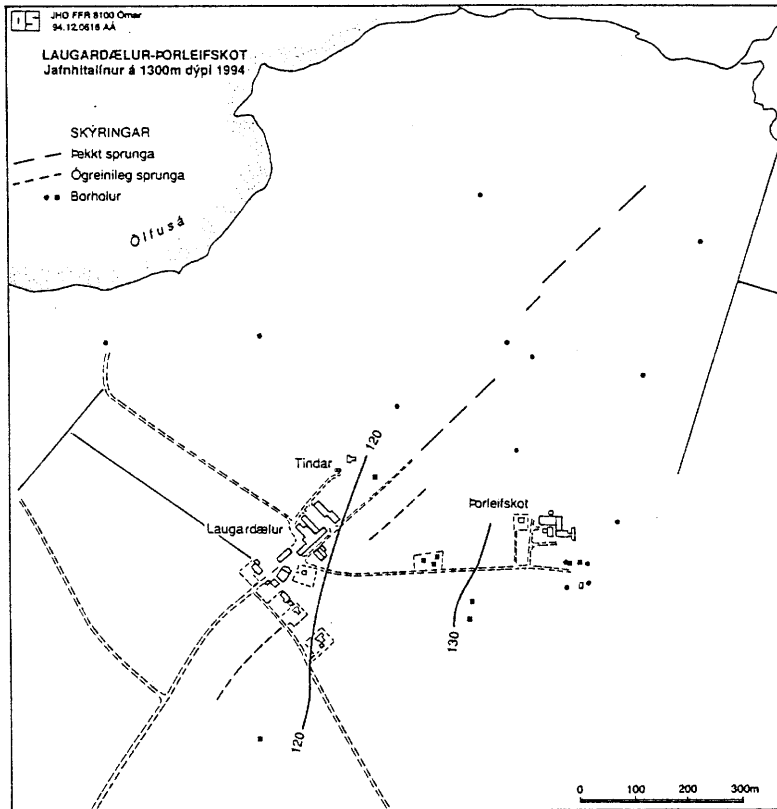
MYND 12. Jafnhitalínur á 300 m dýpi 1994



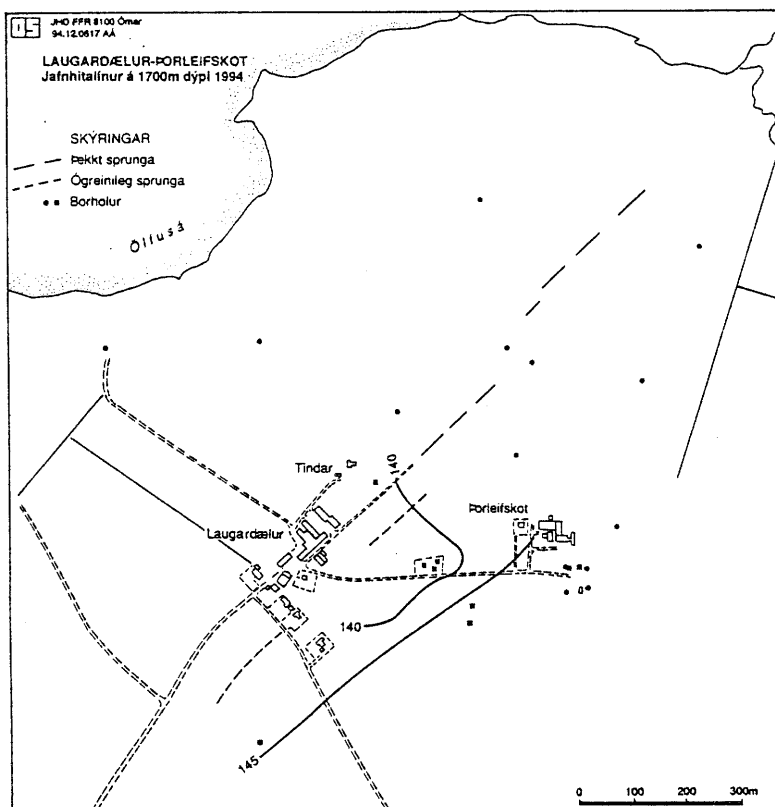
MYND 13. Jafnhitalínur á 400 m dýpi 1994



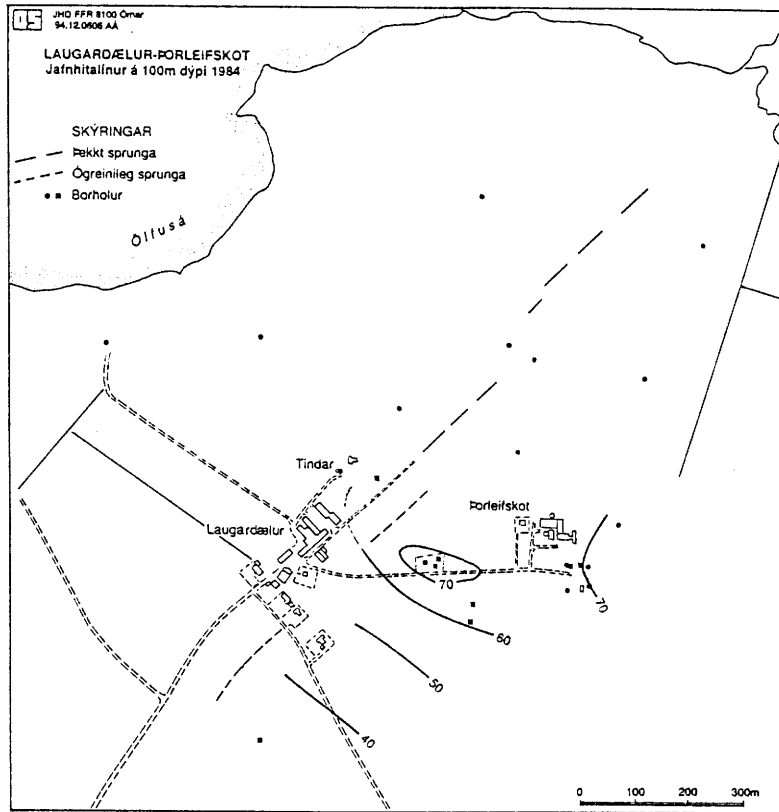
MYND 14. Jafnhitalínur á 600 m dýpi 1994



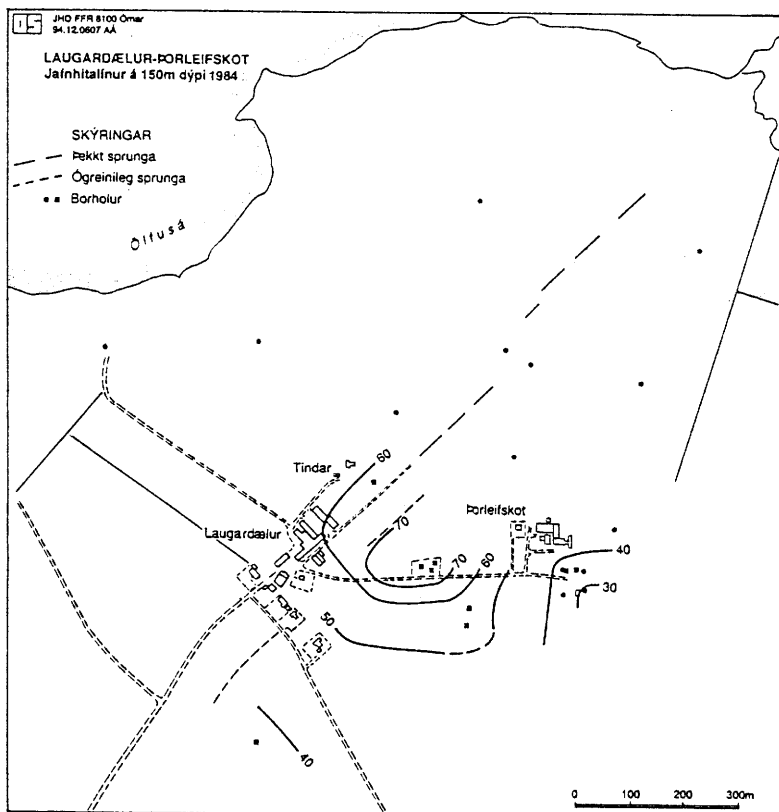
MYND 15. Jafnhitalínur á 1300 m dýpi 1994



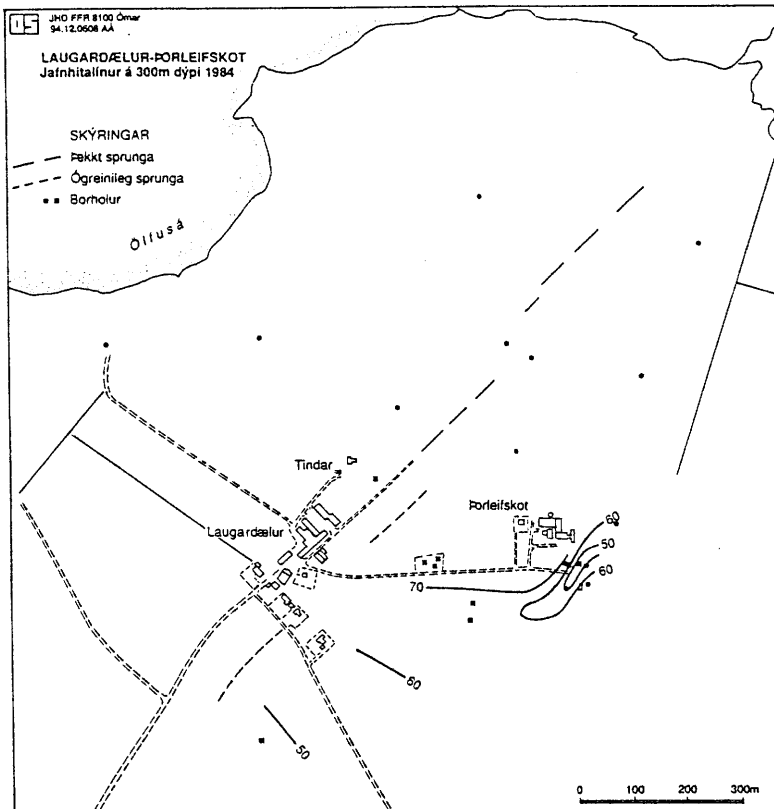
MYND 16. Jafnhitalínur á 1700 m dýpi 1994



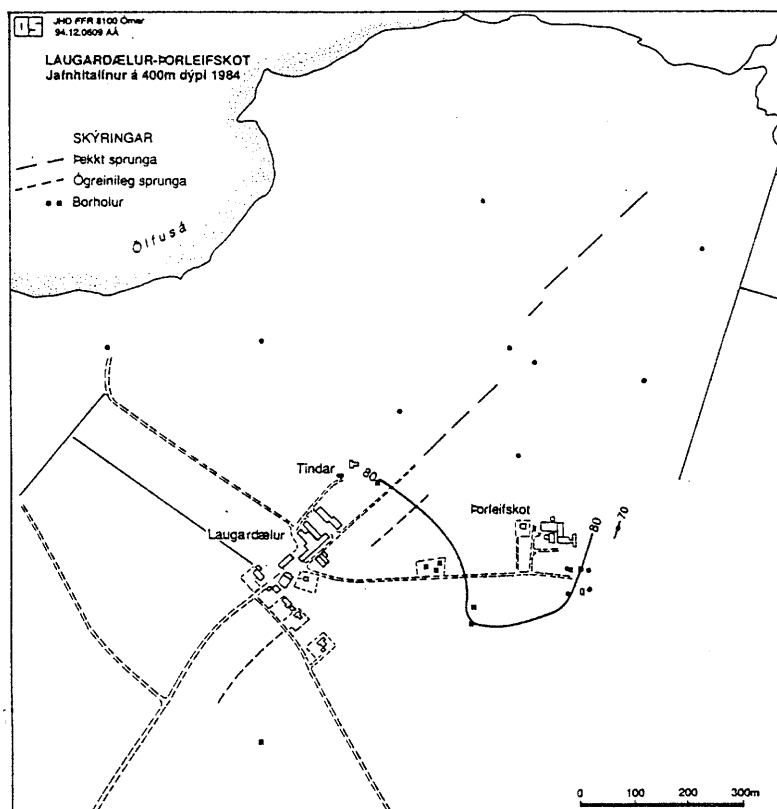
MYND 17. Jafnhitalínur á 100 m dýpi 1984



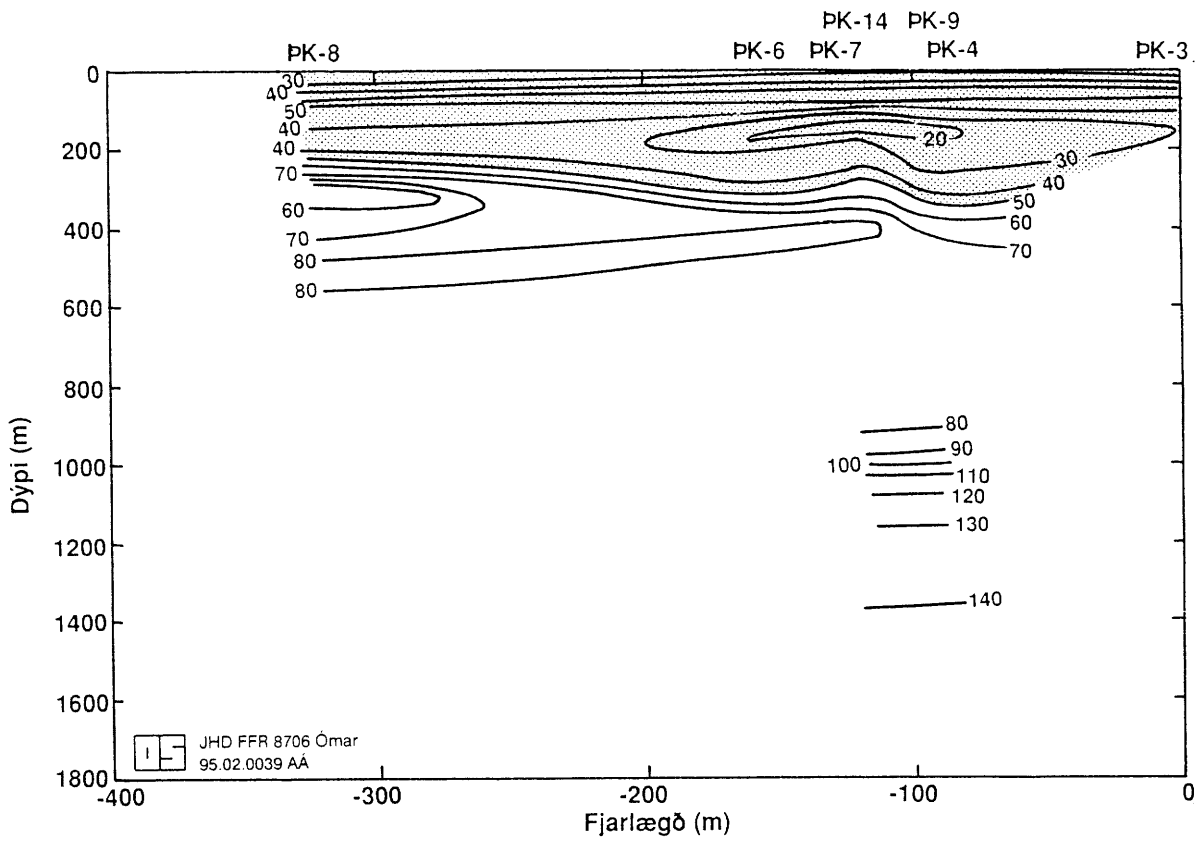
MYND 18. Jafnhitalínur á 150 m dýpi 1984



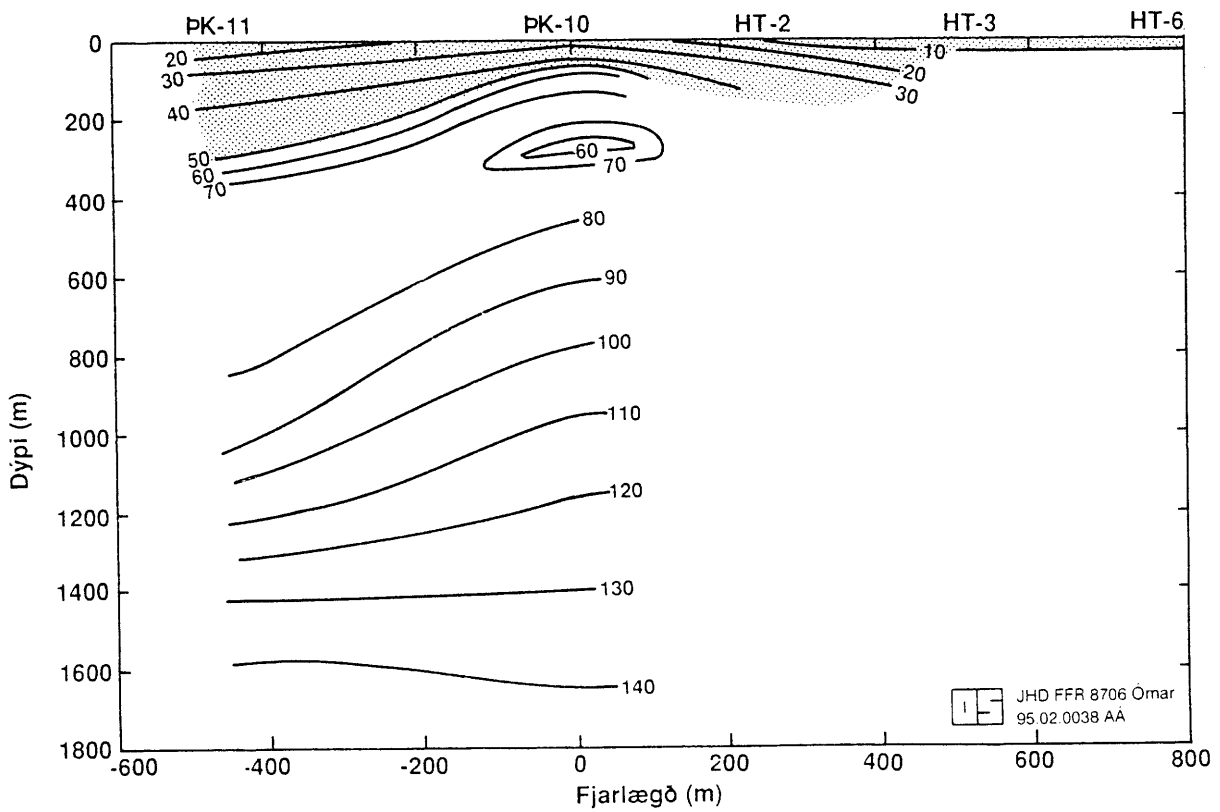
MYND 19. Jafnhitalínur á 300 m dýpi 1984



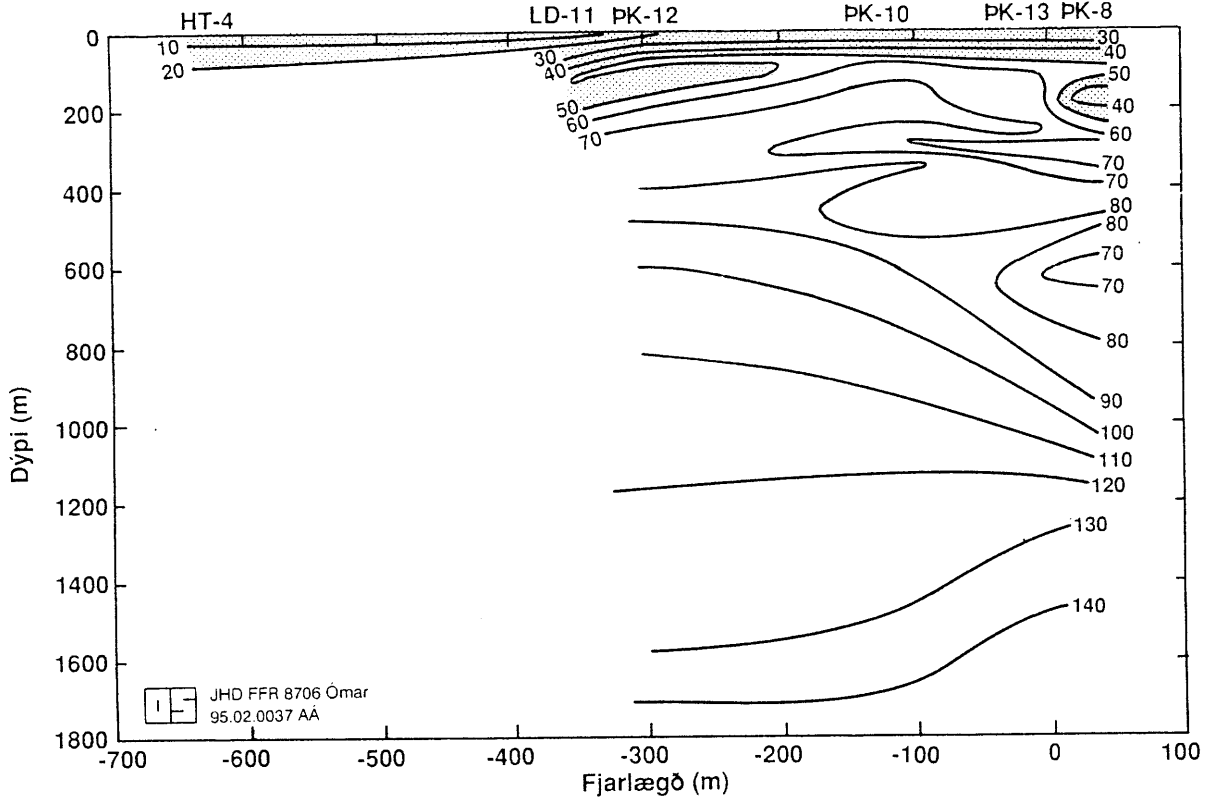
MYND 20. Jafnhitalínur á 400 m dýpi 1984



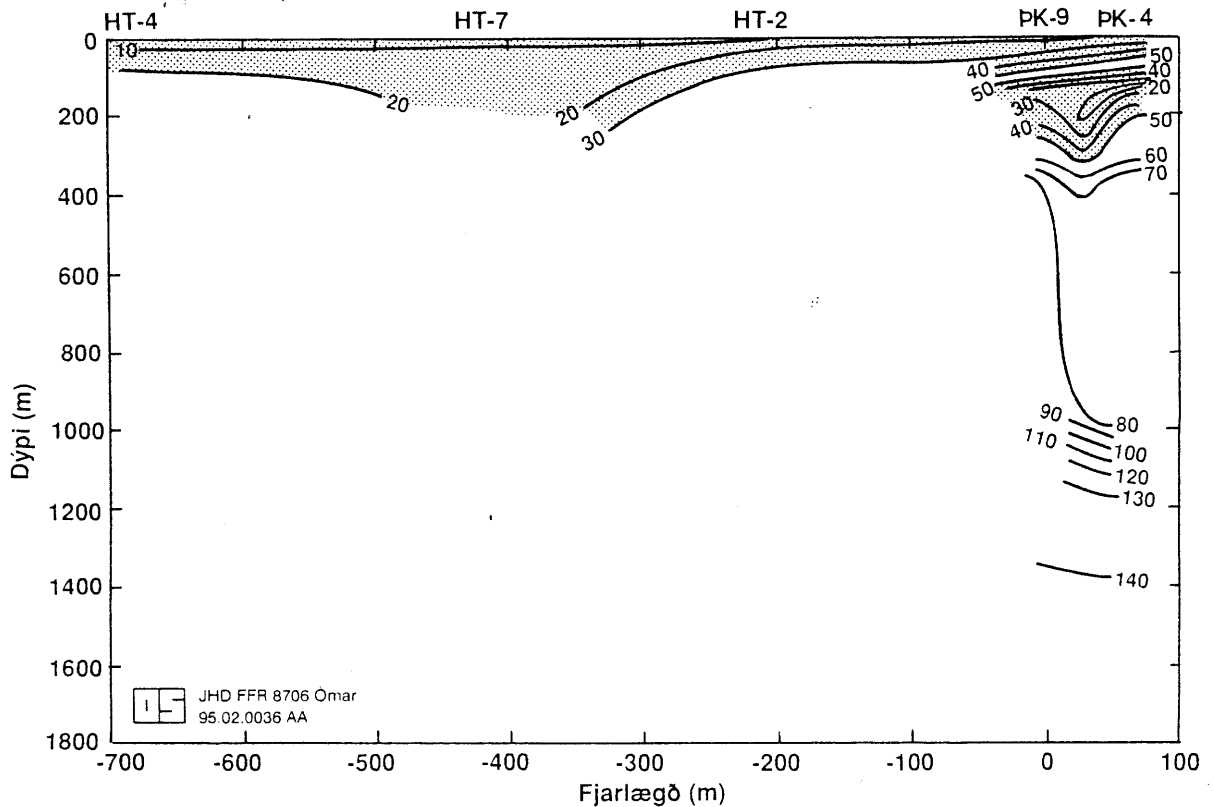
MYND 21. Hitasnið (N45°A) samsíða ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-3



MYND 22. Hitasnið (N45°A) samsíða ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-10



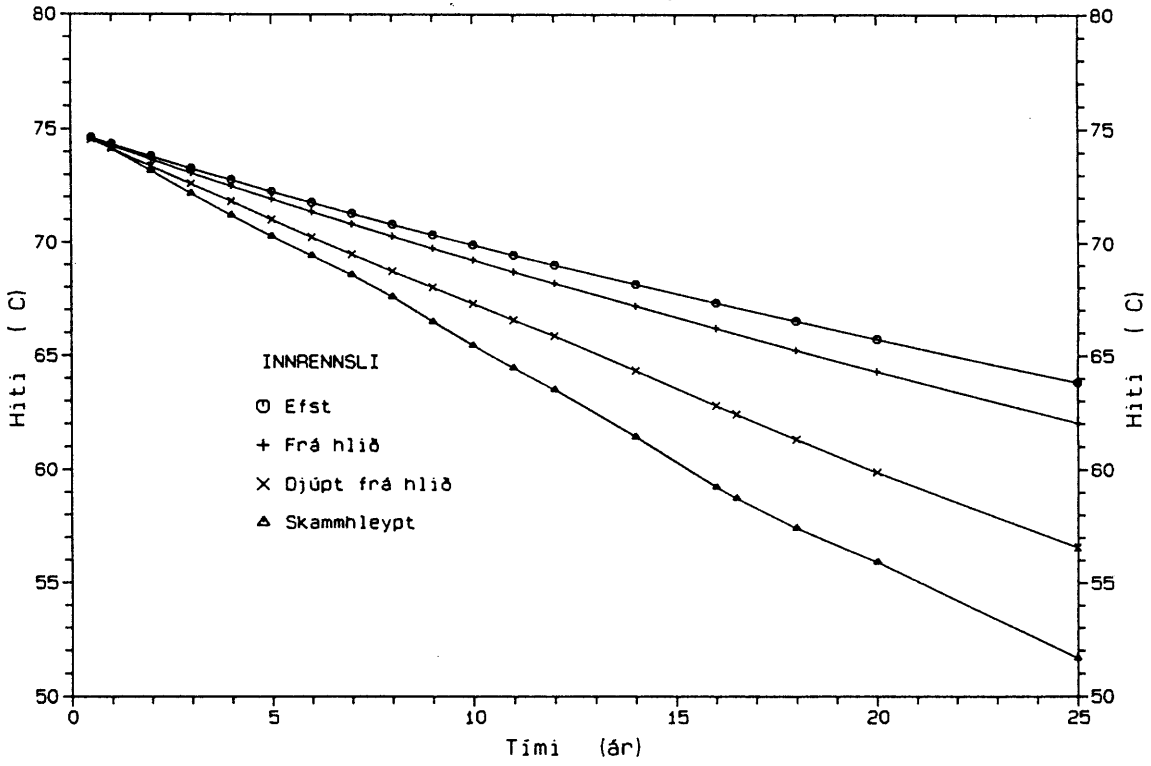
MYND 23. Hitasnið (N135°A) þvert á ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-13



MYND 24. Hitasnið (N135°A) þvert á ríkjandi sprungustefnu um holu ÞK-7

9 Feb 1995 Omar
TOUGH

HITAVEITA SELFOSS Kólnun á 650 m dýpi



MYND 25. Dæmi um kólnunarhraða á 650 m dýpi í jarðhitakerfinu