



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

HITAVEITA REYKJAVÍKUR

Berghiti og hitabreytingar í Elliðaársvæðinu

Ómar Sigurðsson

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-95057/JHD-37 B

Desember 1995



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610013

HITAVEITA REYKJAVÍKUR

Berghiti og hitabreytingar í Elliðaáarsvæðinu

Ómar Sigurðsson

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-95057/JHD-37 B

Desember 1995

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. BORANIR OG ENDURFÓÐRANIR	5
3. BERGHITI OG HITADREIFING	8
3.1 Val viðmiðunar	8
3.2 Berghiti	9
3.3 Hitadreifing	13
4. HITABREYTINGAR	19
4.1 Breytingar dæluvatns	19
4.2 Breytingar við holurnar	24
4.3 Áhrif endurfóðrana	27
5. UMRÆÐA	29
6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	30
7. HEIMILDIR	31
VIÐAUKI 1. Hitamælingar og berghitaferlar	33
VIÐAUKI 2. Valdar hitamælingar úr djúpu holunum Reiknaður jafnvægishiti í RV-25 og RV-28	45

TÖFLUR

1. Djúpar borholur á Elliðaársvæði	7
2. Breytingar vatnshita vinnsluholna	19
3. Áætluð kæling á um 800 m dýpi	27

MYNDIR

1. Yfirlitsmynd af Elliðaárdal og staðsetningu helstu borhola þar	6
2. Berghiti í djúpum holum á Elliðaársvæðinu	11
3. Meðaltal berghita í djúpum holum á Elliðaársvæðinu ásamt sambærilegri viðmiðun frá 1990	12
4. Kort af Elliðaársvæði og nágrenni ásamt staðsetningu borhola sem notaðar eru við gerð mynda af hitadreifingu	14
5. Jafnhitalínur berghita á 200 m dýpi	14
6. Jafnhitalínur berghita á 500 m dýpi	15
7. Jafnhitalínur berghita á 800 m dýpi	15
8. Jafnhitalínur berghita á 1000 m dýpi	16
9. Jafnhitalínur berghita á 1500 m dýpi	16
10. Hitapversnið NNA-SSV um holu RV-27 frá Korpuós að Leirdal	17
11. Hitapversnið VNV-ASA um holu RV-27 frá Mjóumýri að Vöðidal	18
12. Breytingar vatnshita úr holum RV-23, RV-26, RV-29 og RV-30	20
13. Breytingar vatnshita úr holum RV-31, RV-36, RV-37 og RV-39	20
14. Breytingar kísilstyrks í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal	21
15. Breytingar klóríðsstyrk í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal	21
16. Breytingar í styrk brennisteinsvetnis í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal	22
17. Breytingar flúorsstyrks í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal	22
18. Breytingar súrefnisstyrks í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal	23
19. Meðalvinnsla holna á Elliðaársvæðinu frá 1968 til 1994	23
20. Áætluð kæling á 800 m dýpi (vatnsleiðari B) fyrir endurfóðanir 1990	26

1. INNGANGUR

Djúpboranir hófust á Elliðaársvæðinu í lok árs 1967 og 1984 höfðu 16 djúpar holur verið boraðar þar. Rannsóknarboranir hófust hins vegar mun fyrr eða 1932. Samhliða borun djúpra vinnsluholna var svæðið virkjað og hóf Hitaveita Reykjavíkur síðan vatnstöku úr því 1968. Borunum og jarðfræði berggrunnins í svæðinu hafa verið gerð skil í mörgum ritsmáðum og er hér bent á samantektarskýrslu um höfuðborgarsvæðið (Jens Tómasson o.fl., 1977) og skýrslu um uppruna og eðli jarðhitans í Elliðaársvæðinu (Jens Tómasson, 1988). Þá hafa ritsmáðar fjallað um forðafræði jarðhitakerfisins og líft hefur verið eftir áhrifum vatnstökunar í reiknilíkön-um, bæði einföldu tank-líkani og tvívíðu fjöleininga líkani (Vatnaskil 1982, Friðrik H. Guðmundsson 1984, Ivan Penev 1990).

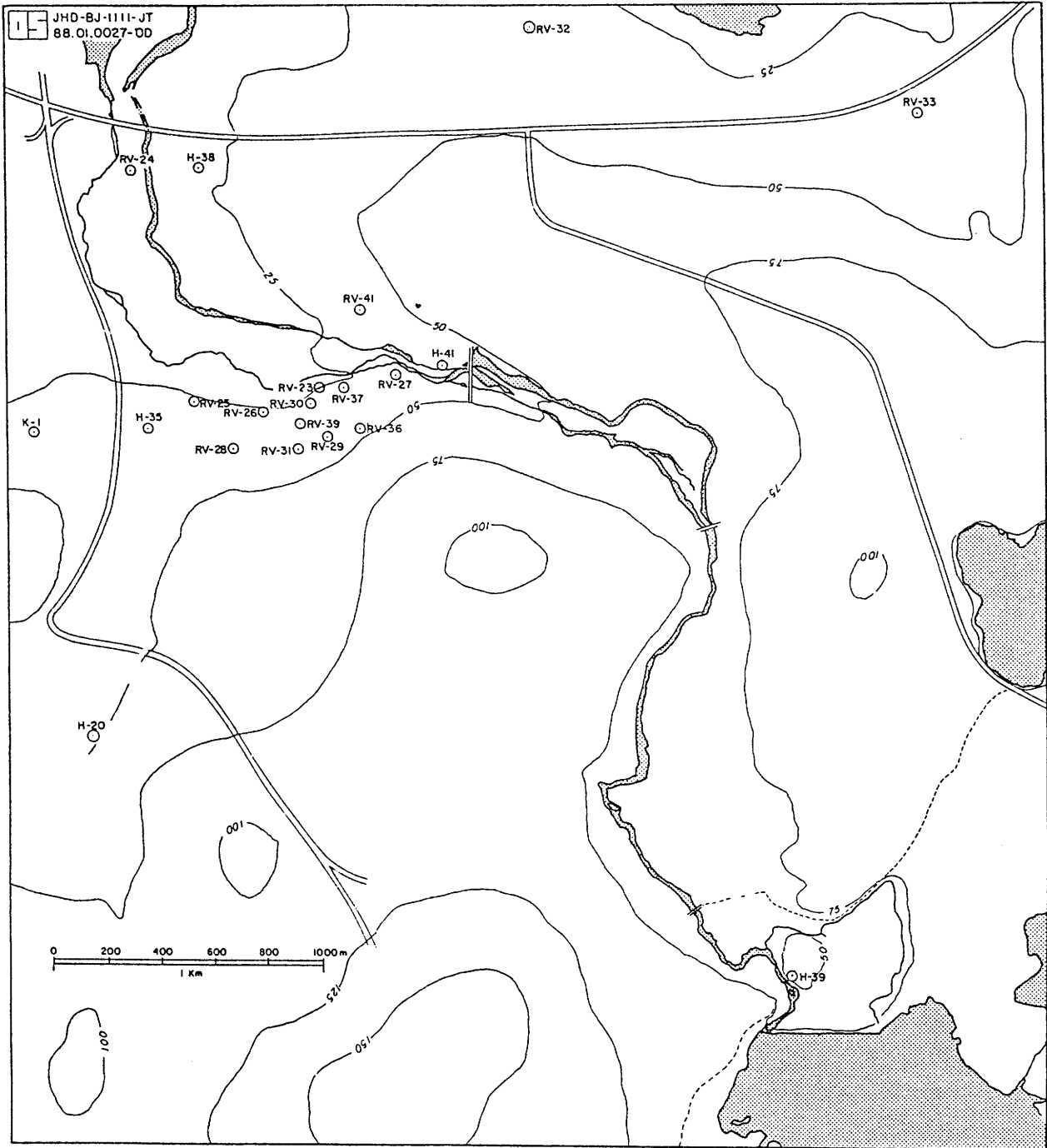
Eftir að vinnsla hófst á Elliðaársvæðinu fór að bera á því að hiti vatns úr dæluholunum minnk-aði stöðugt. Einnig sýndu ýmis einkennandi efni í jarðhitavatninu þynningu með tíma. Orsök þessara breytinga var aðallega talin vera breytt virkni mismunandi vatnsleiðara í jarðhitakerf-inu. Fyrstu holurnar á svæðinu höfðu sjálfrennsli til yfirborðs, en er á leið sýndu hitamælingar í holunum að millirennslu hafði myndast í flestum þeirra, þar sem vatn rann frá grunnum vatns-leiðurum niður í dýpri vatnsleiðarana. Flestar höfðu holurnar aðeins verið fódraðar niður á um 100 m dýpi er þær voru boraðar. Til þess að hafa áhrif á þessa þróun réðst hitaveitan í að endurfóðra fimm holur á svæðinu á árunum 1990 til 1992. Voru þá steipt mælirör í holur sem ekki voru notaðar og fódringar í vinnsluholunum dýpkaðar.

Í þessari skýrslu er reynt að ákvarða upphafshita við holurnar og síðan að leggja mat á breyting- ar sem hafa orðið í jarðhitakerfinu í Elliðaárdal, sérstaklega vegna þessar lagfæringar. Aðalá- herslan er á hitabreytingar í kerfinu og hvort endurfóðrun holnana hafi haft þar áhrif, en einnig er litið lauslega á aðra þætti.

2. BORANIR OG ENDURFÓÐRANIR

Djúpboranir eftir heitu vatni á Elliðaársvæðinu hófust síðari hluta árs 1967 með borun holu RV-23, sem varð 1266 m djúp. Áður höfðu verið boraðar þar allt að 400 m djúpar rannsóknar- holur. Út frá hitastigligi afmarkast Elliðaársvæðið við Breiðholtsmýrar í suðri, að vestanverðu við austanvert Digranes í Kópavogi og norður í Elliðaárvog, að norðan nær svæðið norður fyrir Grafarvog og að austan afmarkast það af Víðidal og sprungusvæðinu þar austur af (Helga Tul- inius o.fl., 1986). Á árunum 1967 til 1971 voru boraðar 12 djúpar holur á svæðinu og á árun- um 1980 til 1984 voru boraðar þar 4 djúpar holur til viðbótar. Árið 1982 var hola RV-23 end- urfóðruð og á árunum 1990 til 1992 voru síðan gerðar lagfæringar í 5 holum til viðbótar. Í töflu 1 er birt yfirlit um helstu aðgerðir í þessum 16 holum, en staðsetning þeirra er sýnd á mynd 1.

Í fyrstu holunum sem boraðar voru á Elliðaársvæðinu var yfirþrýstingur niður á minnst 1000 m dýpi og var því sjálfrennsli úr þeim. Vegna dælingar úr vinnsluholum virðist byrja niðurrennslu í holunum kringum árið 1972. Þar sem fódringar voru oftast kringum 100 m djúpar rann vatn úr efstu æðum holnanna (A-leiðara, sjá síðar) og niður í dýpri æðar þeirra. Þetta átti sérstaklega við í holum sem ekki voru í stöðugri vinnslu. Vatn í efstu æðum holnanna er kaldara og súrefn- isríkara en í dýpri æðunum og því kólnuðu holurnar auk þess sem súrefni í dæluvatni jókst. Því var það að Hitaveita Reykjavíkur réðst í að endurfóðra nokkrar holur á svæðinu.



Mynd 1. Yfirlitsmynd af Elliðaárdal og staðsetningu helstu borhola þar.

Tafla 1. Djúpar borholur á Elliðaársvæði.

Hola	Frankv.	Tími	Bortæki	Dýpi (m)	Fóðring	Vídd neðan fóðringar	Athugasemd
RV-23	Borun	25/9-16/12 1967	Gufubor	1266	13 3/8" í 35 m	8 3/4"	Rýmuð 12 1/4" í 141 m
RV-24	Borun	12/6-25/6 1982	Narfi	1257	11 3/4" í 302 m	12 1/4" í 149 m 8 3/4" í 1009 m	Pakkað á 386 m Fyrirstaða nú á 872 m
	Borun	20/12 '67-4/4 '68	Gufubor	1009	13 3/8" í 75,5		
RV-25	Borun	5/4-29/5 1968	Gufubor	1647	13 3/8" í 79,5 m	12 1/4" í 147 m 8 3/4" í 1647 m	Sjálfrennsli Dýpi nú 1560 m
RV-26	Mælirör	15/12 '90-24/1 '91	Narfi	1595	2 3/8" í 1595 m	8 3/4"	Sjálfrennsli
RV-27	Borun	4/6-4/7 1968	Gufubor	861	9 5/8" í 101,5 m	8 3/4"	Fyrirstaða á 546 m
RV-28	Borun	8/7-26/8 1968	Gufubor	1450	9 5/8" í 99,5 m	8 3/4"	Pakkað í 482 m, 827 m, 31039 m
RV-29	Borun	27/8-5/10 1968	Gufubor	1576	9 5/8" í 102 m	8 3/4"	Dýpi nú 1068 m Sjálfrennsli
	Borun	25/1-15/2 1991	Narfi	1514	2 3/8" í 1514 m		
RV-30	Borun	8/4-5/5 1969	Gufubor	1077	9 5/8" í 98 m	8 3/4"	Dýpi nú 1300 m
	Fóðrun	12/9-24/10 1990	Narfi	1079	8 5/8" í 688 m		
RV-31	Borun	6/5-5/6 1969	Gufubor	1316	9 5/8" í 98 m	8 3/4"	Dýpi nú 1600 m Kjarnataka í 848 m, pakkað 700 m, 708 m og 846 m.
	Fóðrun	18/6-31/7 1990	Narfi	1306	8 5/8" í 709 m		
RV-32	Borun	6/6-15/7 1969	Gufubor	1614	9 5/8" í 99 m	8 3/4"	Dýpi nú 1354 m Pökkun reynd í 812 m Fyrirstaða nú á 512 m
	Fóðrun	19/2-25/3 1992	Narfi	1614	8 5/8" í 503 m		
RV-33	Borun	17/7-22/9 1969	Gufubor	1359	9 5/8" í 98 m	8 3/4"	Pakkað 1193 m, 1213 m, 1349 m Dýpi nú 2210 m
RV-36	Borun	1/3-26/4 1971	Gufubor	1560	9 5/8" í 119 m	8 3/4"	Pakkað 839 m, 846 m, 1150 m, 1157 m
RV-37	Örvun	19/10-20/10 1971	Gufubor	2312	14" í 297 m	12 1/4" í 1800 m	Laus fóðring Pakkað í 1312 m Laus fóðring, fyrirstaða í 1490 m
	Borun	25/2-24/4 1980	Gufubor				
RV-39	Borun	8/1-24/3 1981	Gufubor	2155	13 3/8" í 510 m	9 1/2" í 2155 m 12 1/4" í 1048 m	Pakkað í 781 m, 954 m Hruntappi í 1410 m
RV-41	Borun	18/11 '83-2/2 '84	Gufubor	2100	11 3/4" 484-679 m 13 3/8" í 490 m 9 5/8" í 1045 m	12 1/4" í 1549 m 9 1/2" í 1605 m	Pakkað í 659 m, 760 m Holan nú stífluð á 10 m
KS-1	Borun	27/3-20/5 1984	Gufubor	1605	13 3/8" í 437 m	8 3/4"	
KS-1	Borun	17/2-2/4 1969	Gufubor	1504	9 5/8" í 106,5 m		

Við endurfóðrun holnanna voru steypt grönn mælirör til botns í tveim holum, sem ekki voru nýttar (RV-25 og RV-28). Í þessar holur var sett mól og sandur í botninn og rörin höfð opin við botninn til að halda þrýstisambandi við neðstu æðar þessara holna. Þá voru fóðringar dýpkaðar í þremur vinnsluholum niður á allt að 700 m dýpi. Þannig er heitasti hluti holu RV-29 nú bak við fóðringu (550-650 m), heitur kafli í holu RV-30 (650 m), en aðeins tiltölulega kaldar vatnsæðar voru fóðraðar af í holu RV-31. Holur RV-32 og RV-33 eru í yfir 1,5 km fjarlægð frá aðalvinnsluholunum og því beðið með aðgerðir í þeim. Hola RV-24 var með yfirþrýsting 1994 og því ekkert niðurrennsli. Engar gæfar vatnsæðar voru í efstu 500 m holu RV-27 og sama er að segja um holu KS-1 og því ekki niðurrennsli úr köldum vatnsæðum í þeim. Inni á vinnslu-svæðinu er því hola RV-26 eina holan sem enn er með opið milli grynustu og dýpri vatnsæða jarðhitakerfisins.

3. BERGHITI OG HITADREIFING

3.1 Val viðmiðunar

Til að meta hitabreytingar í jarðhitakerfinu á Elliðaársvæðinu verður að hafa einhverja viðmiðun. Miðað við þau gögn sem til eru um hita í jarðhitakerfinu var talið heppilegast að viðmiðunin væri sá hiti sem var ríkjandi í kerfinu er vinnsla hófst úr því. Flestar holurnar á svæðinu voru boraðar á þröngu tímabili við upphaf nýtingar þess. All margar hitamælingar eru til úr flestum holunum sem gerðar voru í borhléum og skömmu eftir að borun þeirra lauk. Þá kemur yfirleitt eyða í mælingasöguna þar til kemur að einhverjum aðgerðum við holurnar. Í nokkrum holnanna eru því engar hitamælingar til frá því þær voru boraðar og þar til ráðist var í endurfóðrun þeirra.

Í nokkrum skýrslum um Elliðaársvæðið hefur verið fjallað um innri gerð jarðhitakerfisins og eðli þess. Hefur Jens Tómasson (1988) fjallað allstarlega um það og skiptir hann jarðhitakerfinu í þrjá megin vatnsleiðara (A, B, C) sem fylgja nokkurn veginn þrem aðalbergssyrpunum í jarðlagastaflanum, er holurnar skera. Vatnsleiðari A er efstur og nær niður á 300-500 m dýpi með 40-90°C heitar vatnsæðar. Vatnsleiðarinn fylgir einkum efri basaltlögunum (Efri basaltsyrpu). Næstur er vatnsleiðari B með vatnsæðar aðallega í móbergslögum (Móbergssyrpa). Hann nær niður á 950-1050 m dýpi og er einkennandi hitahámark, allt að 110°C heitt í flestum holunum í honum. Dýpra er síðan vatnsleiðari C í neðri basaltlögunum (Neðri basaltsyrpa). Vatnsæðar þar eru 70-115°C heitar. Út frá mældum hita í borholunum og lögun hitaferlanna setur Jens síðan fram hitalíkan af jarðhitakerfinu og tengir það umræðu um jarðlagaskipan og vatnafræði kerfisins. Að lokum fjallar hann um orsakir kólnunar dæluvatns úr vinnsluholunum.

Árið 1990 fékk nemandi við Jarðhitaskóla Sameinuðu þjóðanna það verkefni að meta hitabreytingar á Elliðaársvæðinu (Klara Bojadgieva, 1990). Fyrir viðmiðun útbjó hún meðalberghitaferil sem gildi fyrir holurnar næst vinnsluholunum. Þá reyndi hún að ákvarða einkennandi hitaferla fyrir hverja holu sem áttu að lýsa þáverandi hitaástandi holunnar. Með samanburði þessara tveggja hitaferla fékkst síðan ákveðið mat á kólnun í jarðhitakerfinu og dreifingu kælingar.

Þrátt fyrir tvær starlegar umfjallanir um hitaástand jarðhitakerfisins hafði upphafshiti við hverja borholu ekki verið ákvarðaður. Ástæða þess var líklega sú að flestar hitamælingar sem þá voru til úr holunum voru truflaðar af borframkvæmdunum eða millirennslu í þeim. Síðan hafa bæst við hitamælingar vegna endurfóðrunar sumra holnanna sem hjálpa mjög til við ákvörðun á hita í efri hluta þeirra. Því var ákveðið í þessu verki að freista þess að leggja mat á upphafshita við hverja holu á svæðinu.

Í þessu verki var upphafshiti ákvarðaður fyrir 28 borholur á Elliðaársvæðinu og nágrenni þess, auk þess sem upphafshiti var lagfærður fyrir 6 borholur með tilliti til hita við nálægar holur. Upphafshiti borholna er oft kallaður berghiti og vísar þar til hita í jarðlögunum sem væri ef truflana af völdum borunar, vinnslu eða rennslis milli vatnsæða hefði aldrei gætt. Upphafshiti borholu er þannig hitinn í berginu við holuna á þeim tíma sem holan er boruð. Ýmsar náttúrulegar og tilbúnar ástæður geta síðan breytt því hitaástandi með tíma. Við mat á upphafshita er því nauðsynlegt að hafa upplýsingar um ástand holunnar fyrir og á þeim tíma sem mælingar eru gerðar.

Við mat á upphafshita í borholunum (berghita) var í meginatriðum beitt sömu forsendum og aðferðafræði og í sambærilegri úrvinnslu fyrir hitalíkan af Reykjiasvæðunum í Mosfellsbæ (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995). Berghitaferlarnir sem hér voru ákvarðaðir eru

sýndir í viðauka 1. Margar hitamælingarnar sem liggja til grundvallar ferlunum eru truflaðar og því verða berghitaferlarnir að einhverju leiti túlkun höfundar. Betri upplýsingar geta því kallað á breytingar í ákvörðun ferlanna. Þetta á sérstaklega við þar sem berghitaferlarnir eru framlengdir niður fyrir borað dýpi í borholunum. Einkum er það fyrir grynri rannsóknarholunum sem þetta er gert. Við framlengingu ferilsins er þá stuðst við lögum hans fyrir holuna sjálfa, hvernig hiti er að breytast með dýpi í nálægum holum og mat höfundar. Þannig er línulegur hitastigull vegna varmaleiðni framlengdur línulega niður að 500 m dýpi, en látinn sveigja af eftir talið er að hólans sé að nálgastrærandi jarðhitakerfi.

3.2 Berghiti

Mynd 2 sýnir berghitaferlana sem hafa verið ákvarðaðir fyrir djúpu holunum sextán á Elliðaársvæðinu. Við teiknun myndarinnar var sú einföldun gerð að holunum voru látin vera í sömu hæð yfir sjávarmáli, en þær eru á hæðarbilinu 25-52 m y.s. Berghitaferill hvernar djúpu holanna er sýndur í viðauka 2 ásamt völdum hitamælingum úr holunum. Í viðauka 1 eru hins vegar berghitaferlar sem ákvarðaðir voru fyrir hverja hóluna í þessu verki, bæði djúpu holunum og grynri rannsóknarholunum á svæðinu. Af mynd 2 má sjá að hegðun berghitaferlanna er svipuð fyrir flestar djúpu holunum á svæðinu, en nokkrar skera sig þó úr hópnunum. Þannig hækkar hiti almennt mjög hratt með dýpi niður á um 600 m dýpi. Þá helst hiti nokkuð hár niður á um 1000 m dýpi, allt að 112°C, en þar fyrir neðan lækkar hitinn. Þeir berghitaferlar sem sýna þannig hegðun eru kallaðir viðsnúnir. Tveir berghitaferlar sýna ekki þessa hegðun, en það eru ferlarnir fyrir holur RV-32 og RV-33. Þessar holur eru 1,5-2 km norðaustur af núverandi vinnsluholum í Elliðaárdal og er berghiti þar talinn vaxandi til botns í holunum. Þá sker berghitaferillinn fyrir hóluna RV-36 sig einnig úr. Þó ferillinn sýni svipaða hegðun og berghitaferlar úr öðrum holum inni á vinnslusvæðinu, þá er hitinn neðan 500 m dýpis í hóluna RV-36 mun lægri en í hinum holunum. Mögulegt er að kælingar hafi verið farið að gæta í jarðhitakerfinu við hóluna RV-36 er hún var boruð 1980.

Fyrir hóluna RV-28 reyndist mjög erfitt að ákvarða upphafshita. Fyrstu hitamælingar úr holunni voru gerðar skömmu eftir borlok og hefur þá verið rennsli úr holunni. Seinni mælingar eru svo truflaðar af niðurrennsli milli vatnsleiðara í holunni. Við mat á berghita við þessa hóluna var því aðallega tekið mið af upphitunarmælingum sem gerðar voru eftir að mælirör hafði verið steypt í hóluna. Rúm tuttugu ár eru milli borunar holunnar og þar til hún er fóðruð með mæliröri. Því er upphafshiti látinn vera aðeins hærri en reiknaður hiti 1994 og miðað við hóluna RV-25 og RV-31 hvernig lögum ferilsins ætti að vera neðst í holunni.

Við ákvörðun upphafshita í hóluna RV-31 var ákveðið að taka ekki tillit til heits mælipunkts (106°C) niðri við þáverandi botn holunnar á um 1350 m, en ef hann væri tekinn með myndi það breyta berghitaferlinum. Ástæður þess að mælipunktinum er sleppt er að hitamælt var með mekkansföskum mæli, þar sem aflestrarvillur geta auðveldlega slæðst inn. Þá mælist ekki svo hár hiti á þessu dýpi í síðari mælingum eða í nálægum holum. Að lokum eru vísbendingar í bor-skýrslum um að heitt vatn frá hóluna RV-29 hafi verið notað sem skolvatn er þessu bordýpi var náð.

Fá hitagildi er hægt að festa við ákvörðun upphafshita við hóluna RV-32. Hitinn telst þó vel ákvarðaður niður að vatnsæð á um 300 m dýpi. Síðan er botnhiti holunnar vel ákvarðaður, en þar á milli er berghitaferillinn túlkunaratriði. Hann verður þó alls staðar að vera hærri en hæsti mældi botnhiti meðan verið er að bora hóluna. Fyrir hóluna RV-33 var ekki tekið tillit til einnar mjög afbrigðilegrar hitamælingar, sem gæti samkvæmt athugasemdum með mælingunni verið

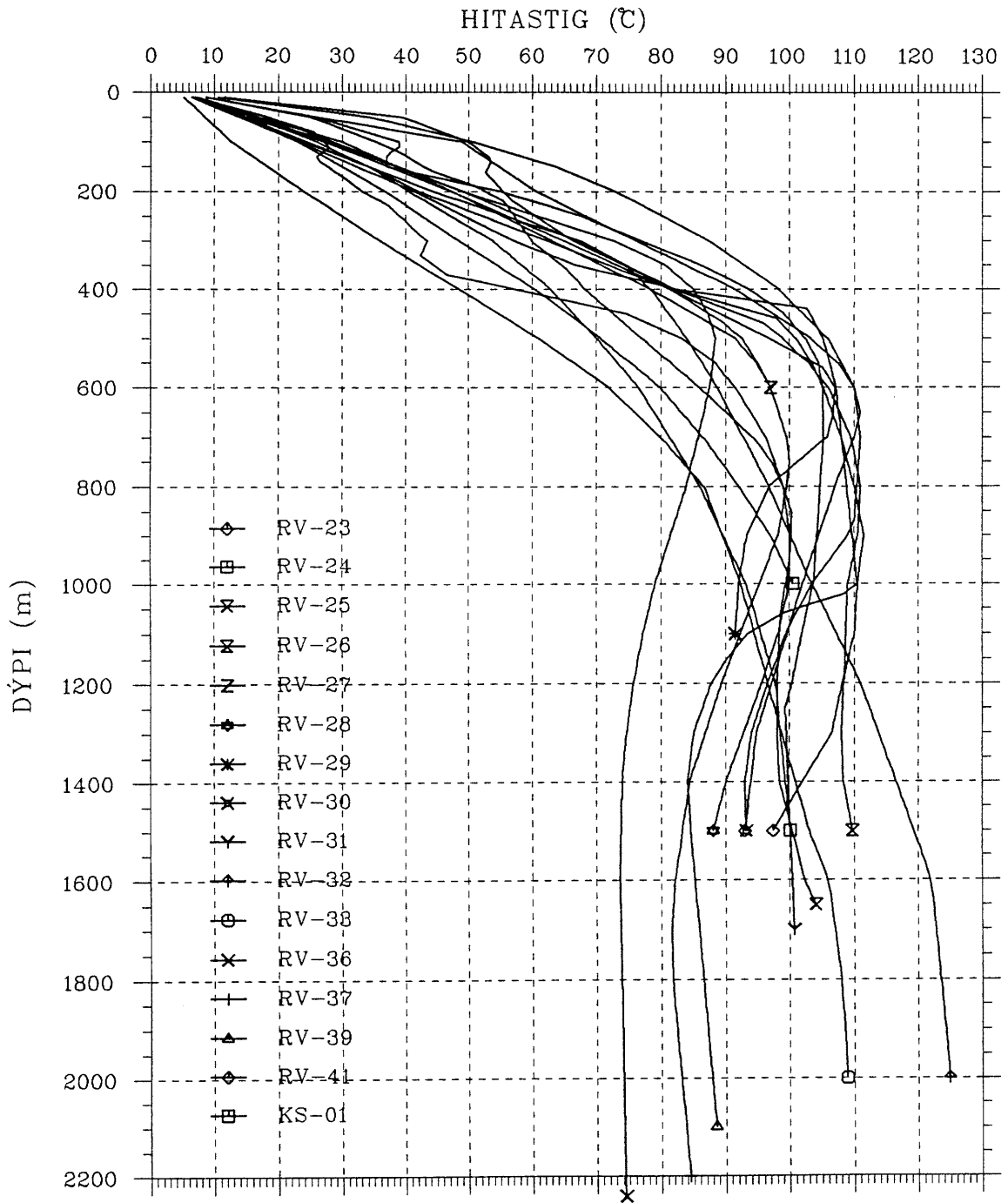
úr einhverri annari holu. Berghitaferlar beggja þessara holna hafa verið framlengdir niður á 2000 m dýpi eða um 500 m niður fyrir borað dýpi holnanna og þá reiknað með að hiti haldi áfram að vaxa með dýpi við þær (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995).

Hitadreifingin í berghitaferlum djúpu holnanna á Elliðaársvæðinu er 20-40°C. Reiknaður var meðalberghiti við holurnar bæði með og án ferlanna fyrir holur RV-32 og RV-33. Reiknuðu meðalberghitaferlarnir eru sýndir á mynd 3 ásamt margliðunálgun við meðalhita sem notaður var í svipaðri vinnu 1990 (Klara Bojadgieva, 1990). Meðalhiti allra ferlanna er svipaður niður á 500 m dýpi og er hitinn hækkandi niður á það dýpi. Dýpra gætir áhrifa holna RV-32 og RV-33 í meðaltalinu. Þær lækka meðalhitann aðeins ofan við 1000 m dýpi, en hækka hann neðan 1100 m dýpis og all verulega dýpra. Hliðarstökkinn í ferlunum stafa hins vegar af því að holur eru að detta út úr meðaltalinu því dýpra sem ferlarnir ná. Meðalberghitaferlarnir sýna að hiti er að hækka niður á rúmlega 600 m dýpi. Þaðan og niður á um 1000 m dýpi er hitahámark í jarðhita-kerfinu, en dýpra lækkar hiti og er lakkandi niður í borað dýpi í kerfinu. Þetta sýnir jafnframt að ekki hefur enn verið borað niður í gegnum vatnskerfið, en dýpsta holan á Elliðaársvæðinu er hola RV-36, boruð í 2312 m dýpi. Meðalhitinn í vatnsleiðara B var í upphafi vinnslu um 100°C og í vatnsleiðara C lægri eða rúmar 80°C.

Nokkurð misræmi er milli reiknaðs meðalberghita hér og þeirrar nálgunar á meðalberghita sem notuð var 1990 (Klara Bojadgieva, 1990). Ástæðurnar liggja í aðferðinni við að mynda meðalberghitann. Hér var berghitinn ákvarðaður við hverja holu og meðaltal hans síðan fundið á venjubundinn hátt, þó með þeirri einföldun að ekki er tekið tillit til hæðarmunar milli holna. Er Klara var að útbúa hitaviðmiðun fyrir sitt verk 1990, þá fann hún eitthvert vel ákvarðað hitagildi af ákveðnu dýpi úr einhverri holu inni á vinnslusvæðinu og merkti það á mynd. Þegar hún hafði fengið sæmilega dreifð hitagildi yfir dýptarsvið holnanna þá útbjó hún margliðunálgun að þeim gildum sem sýnd er á mynd 3. Af mynd 2 sést að það myndi skipta máli fyrir lögun meðalberghitaferils hennar úr hvaða holu hitagildi veldist til ákvörðunar ferilsins. Hann er því aðeins sýndur hér til fróðleiks um fyrri vinnu af þessum toga af svæðinu.

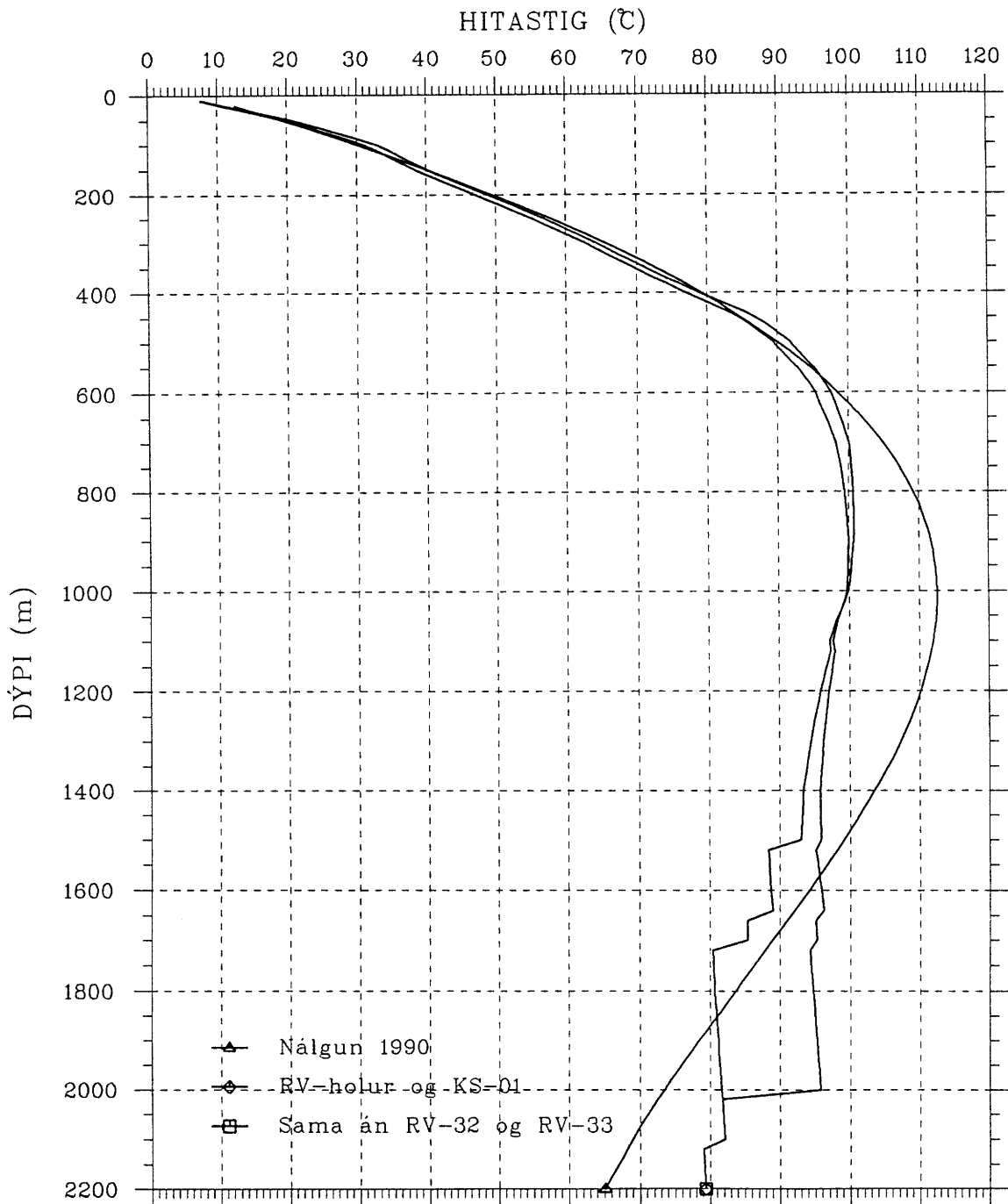


28 Nóv 1995 Ómar
Dxplott



Mynd 2. Berghiti í djúpum holum á Elliðaársvæðinu.

28 Nóv 1995 Ómar
Dxplott



Mynd 3. Meðaltal berghita í djúpum holum á Elliðaársvæðinu ásamt sambærilegri viðmiðun frá 1990.

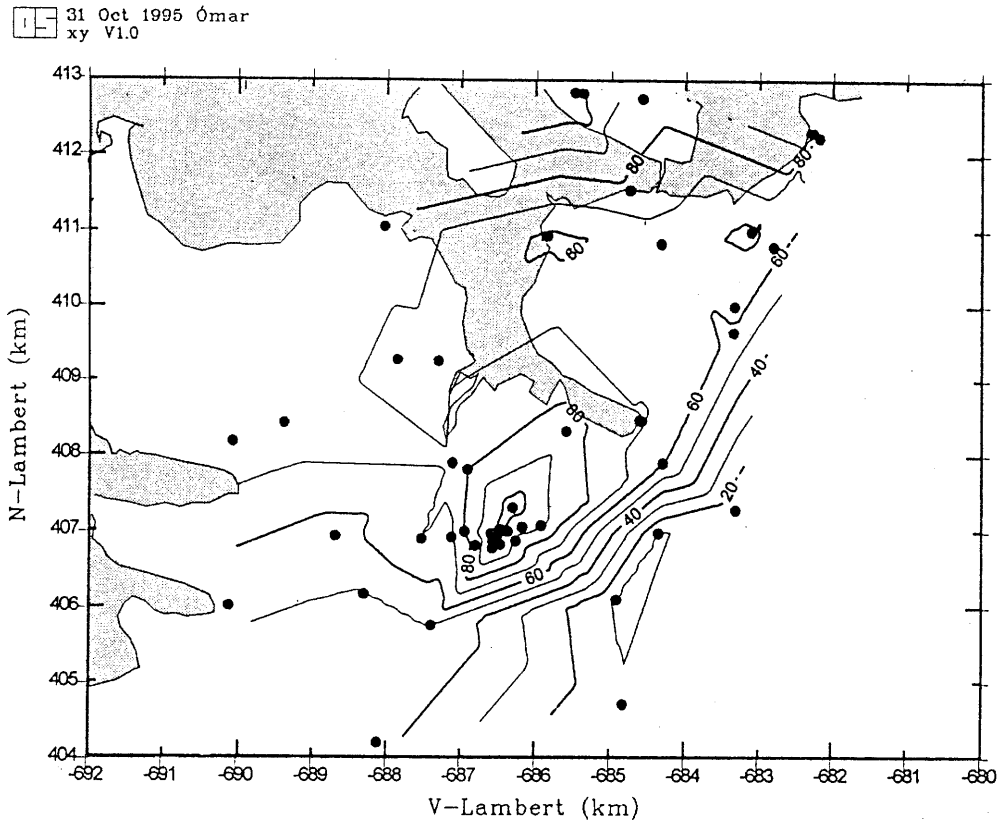
3.3 Hitadreifing

Þegar berghiti við hinar ýmsu holur hafði verið ákveðinn var hægt að gera hitakort af Elliðaársvæðinu og nágrenni þess fyrir ákveðin dýpi. Valið var að gera hitakort af 200 m, 500 m, 800 m, 1000 m og 1500 m dýpi. Alls voru notaðir berghitaferlar úr 46 borholum við gerð hitakortana. Mynd 4 sýnir staðsetningu þessara holna, en myndir 5-9 sýna hitakortin. Þessi hitakort má tengja sambærilegum hitakortum sem hafa verið gerð fyrir Reykjásvæðin í Mosfellsbæ (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995). Hitakortin fyrir 200 m og 500 m dýpi eru í meiginatriðum eins, en hiti hefur hækkað um 35-40°C á 500 m dýpi. Kortin sýna heitt svæði við vinnsluholurnar í Elliðaárdal, sem teygir sig til norðausturs. Austan við svæðið er kalt sprungusvæðið (Krfúsvíkursprungusveimurinn) og teygir sig köld tunga frá því vestur um Gufunes og suðvestur yfir Elliðaárvog. Sunnan við vinnsluholurnar er einnig kaldara og gæti þar einnig verið köld tunga frá sprungusvæðinu, en hún verður ekki afmörkuð hér. Til vesturs frá Elliðaárdal virðist hins vegar vera heitari renna sem gæti tengst jarðhitakerfi Laugarness. Lengra í norðri hitnar aftur við Korpuósa og er hækkingarhitni vestur á Geldinganes.

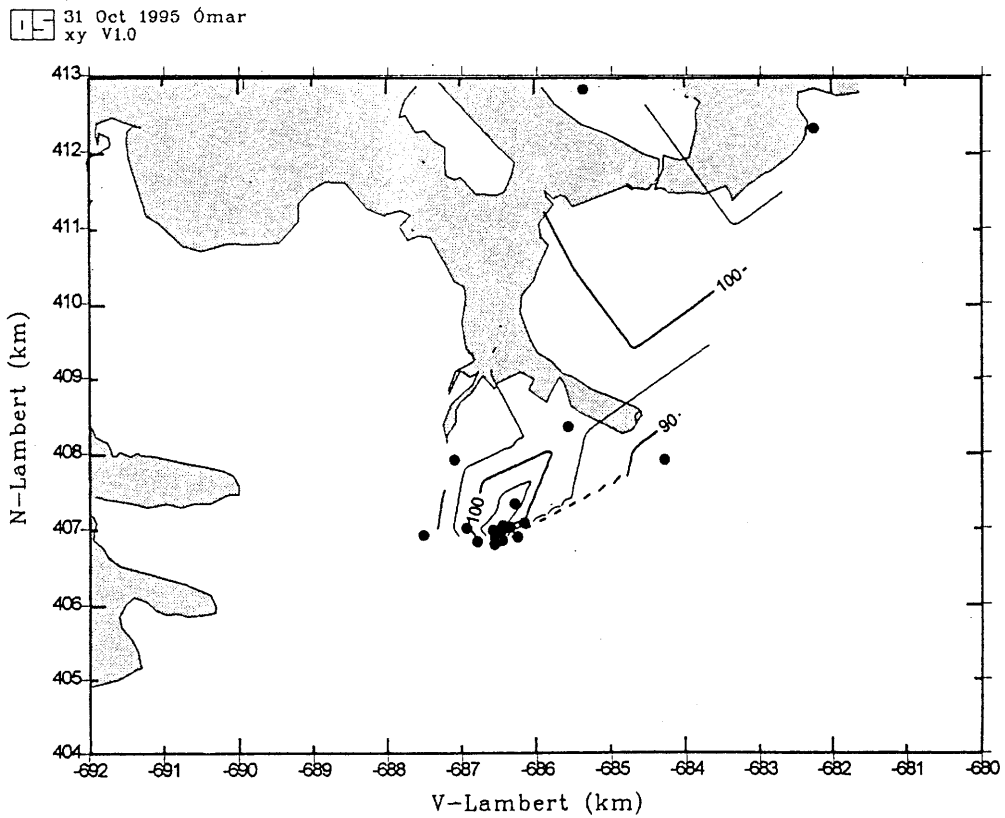
Þegar farið er dýpra fækkar til muna holunum og takmarkast hitakortin við djúpu holurnar á Elliðaársvæðinu auk holna RV-42 við Korpuós og HS-44 á Geldinganesi. Hitakortin af 800 m og 1000 m dýpi eru í aðalatriðum svipuð, en hiti er um 5°C hærri á 1000 m dýpi. Næst vinnsluholunum er heitt svæði, en kaldara til austurs, suðurs og vesturs. Hitasvæðið teygir sig áfram til norðausturs og virðist tengingin í þá stefnu verða sterkari með vaxandi dýpi.

Er komið er niður á 1500 m dýpi breytist hitakortið. Nú er hæsti hiti í norðaustri við Korpuós og virðist hitarennan teygja sig þaðan og í átt að vinnsluholunum í Elliðaárdal.

Tvö hitaþversnið voru gerð gegnum svæðið og eru þau sýnd á myndum 10 og 11. Fyrri sniðið liggur NNA-SSV nærri samsíða megin hitaásnum á hitakortunum, frá Korpuós í norðri um vinnslusvæðið og að Leirdal í suðri. Seinna sniðið liggur hornrétt á fyrri sniðið VNV-ASA frá Mjóumýri í vestri um vinnslusvæðið og að Vífidal í austri. Fyrri sniðið er sambærilegt við snið P-P' hjá Jens Tómassyni (1988) og seinna sniðið nálgast hans snið B-B', en sniðin hér eru lengri. Í öllum aðalatriðum gefa þessi hitaþversnið sömu mynd af jarðhitakerfinu og hitaflæðinu sem Jens Tómasson setti fram af því (Jens Tómasson, 1988). Hitaþversniðin benda til að heitt vatn streymi upp af rúmlega 1400 m dýpi í grennd við eða norðaustur af holu RV-32 og upp á um 500 m dýpi við vinnsluholurnar í Elliðaárdal. Suður af Elliðaárdal fellur hitinn hratt sem bendir til að streymi heita vatnsins stöðvist þarna, allavega ofan um 2000 m dýpi. Þá benda hitaþversniðin til líttar útbreiðslu heitavatnsstraumsins, en samkvæmt þeim og hitakortunum getur breidd hans verið um 1-1,5 km.

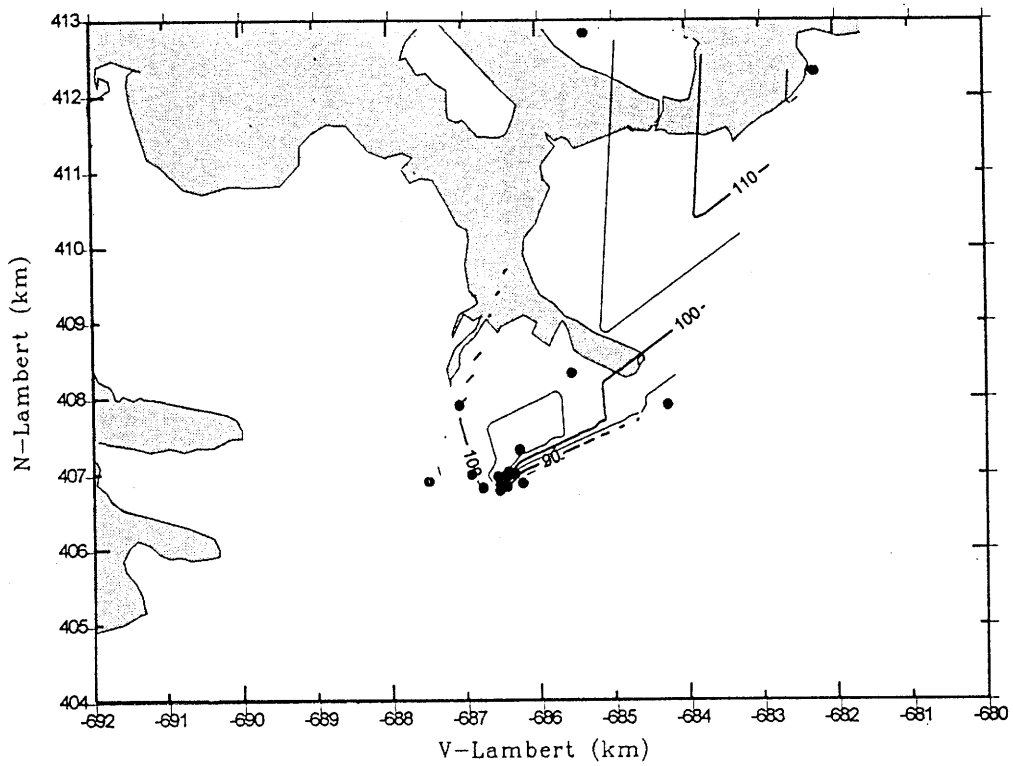


Mynd 6. Jafnhitalínur berghita á 500 m dýpi.



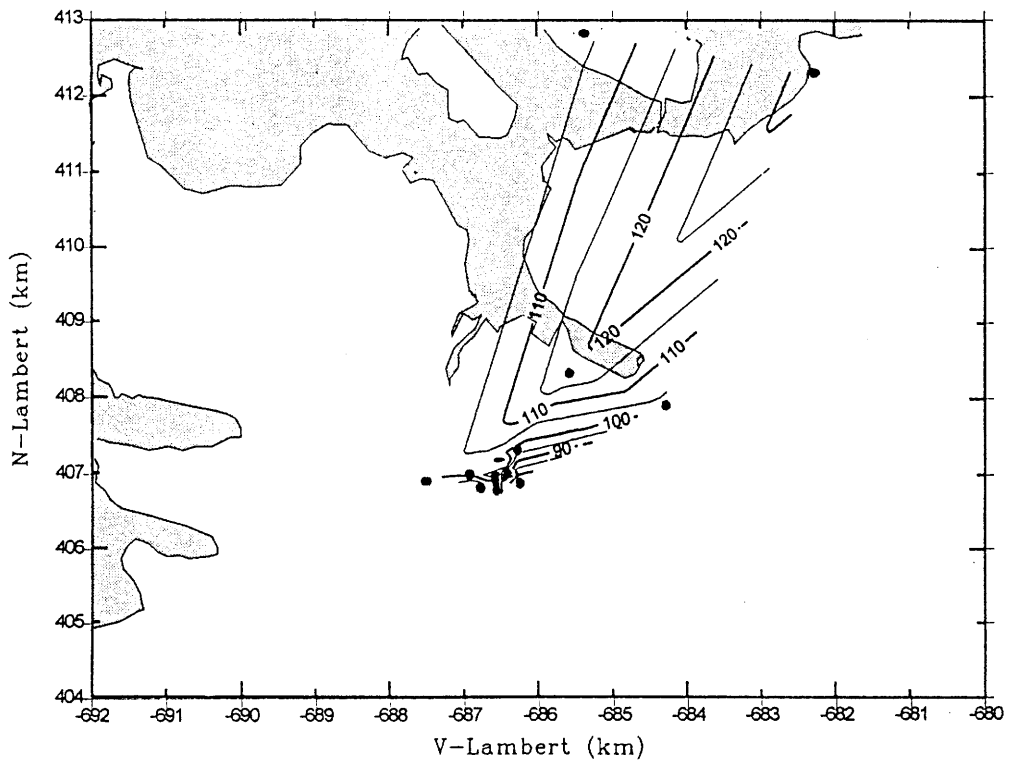
Mynd 7. Jafnhitalínur berghita á 800 m dýpi.

31 Oct 1995 Ómar
xy V1.0



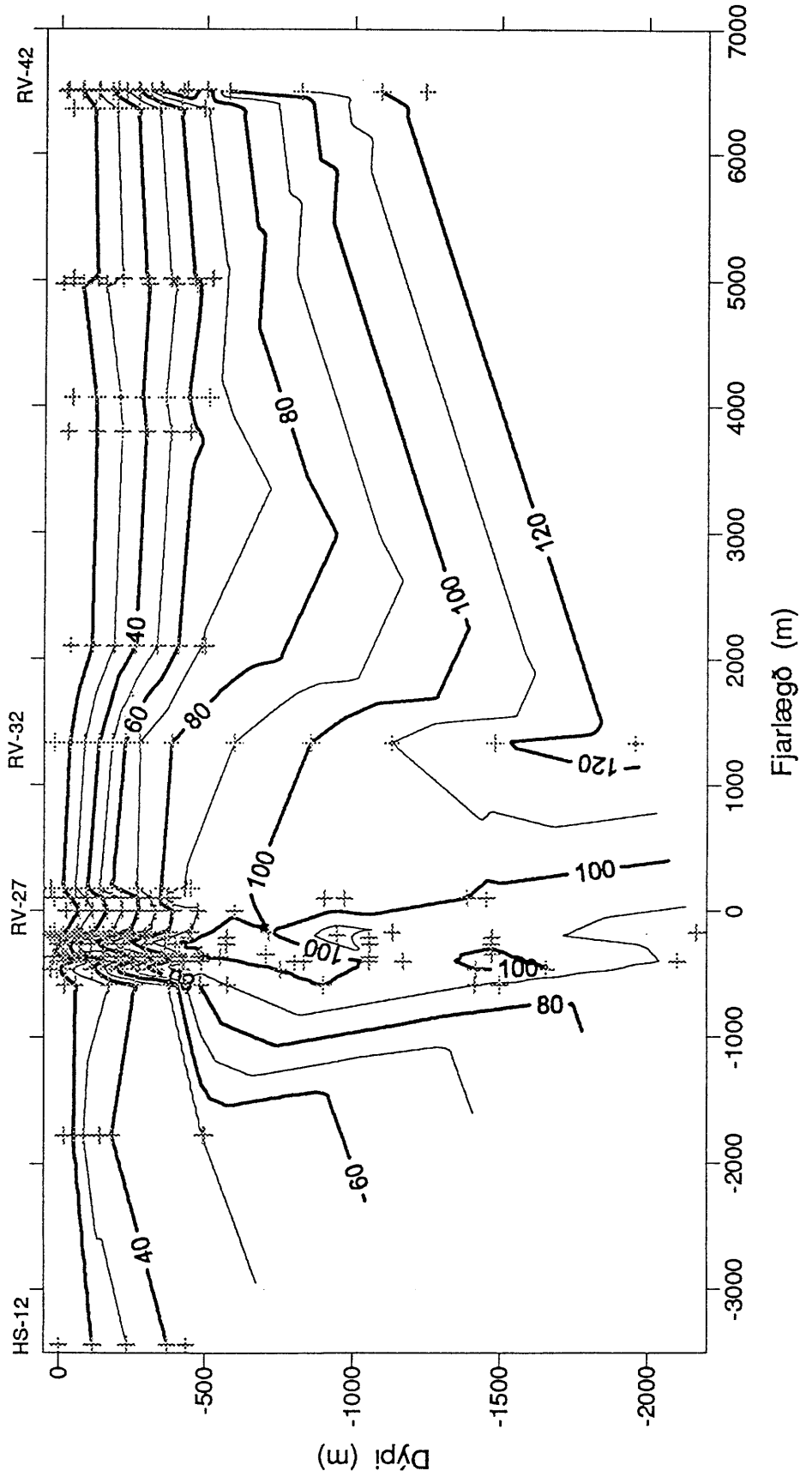
Mynd 8. Jafnhitalínur berghita á 1000 m dýpi.

31 Oct 1995 Ómar
xy V1.0



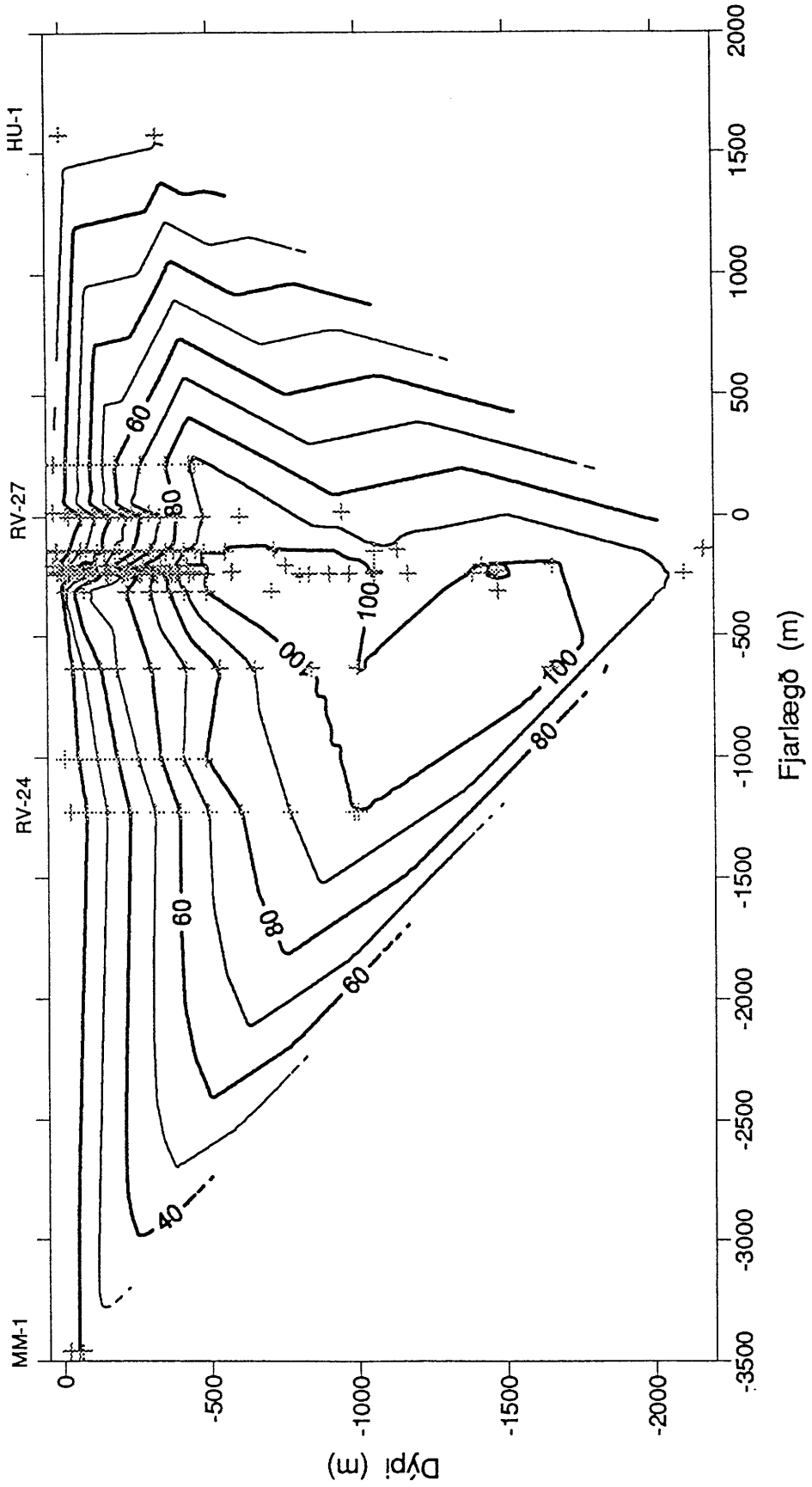
Mynd 9. Jafnhitalínur berghita á 1500 m dýpi.

Snið NNA - SSV um holu RV-27



Mynd 10. Hitapversnið NNA-SSV um holu RV-27 frá Korpuós að Leirdal.

Snið VNV - ASA um holu RV-27



Mynd 11. Hitapversnið VNV-ASA um holu RV-27 frá Mjóumýri að Vöi

4. HITABREYTINGAR

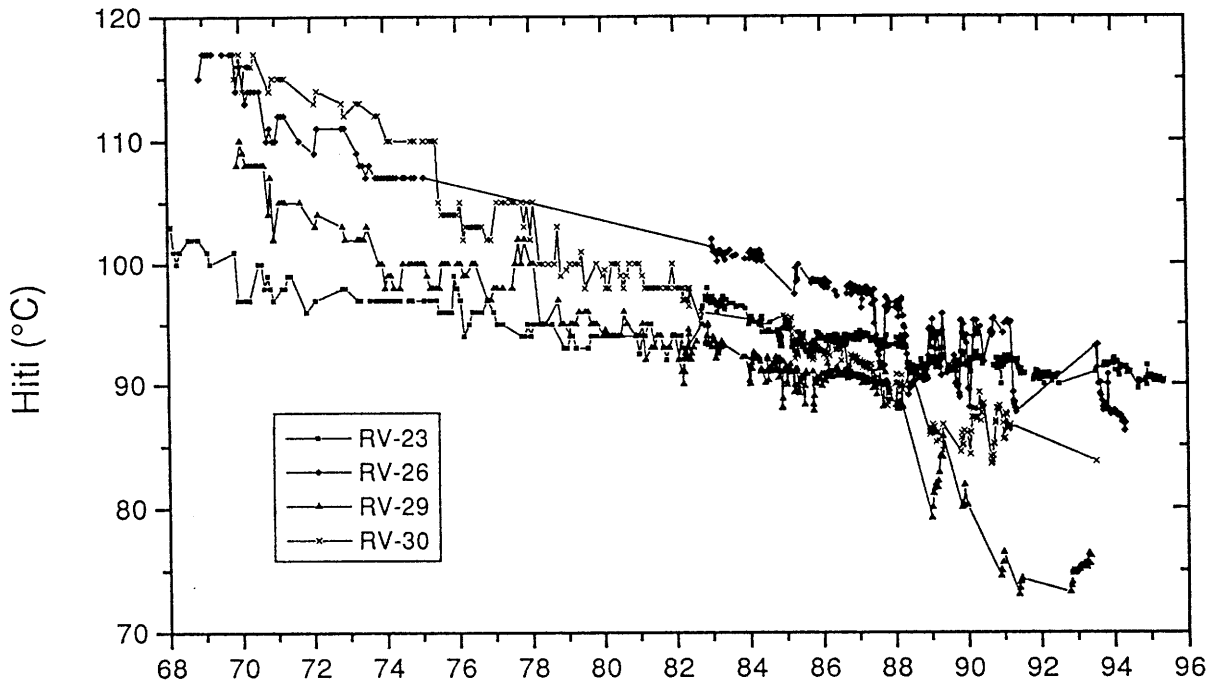
4.1 Breytingar dæluvatns

Fljótlega eftir að vinnsla hófst á Elliðaársvæðinu varð þess vart að vatnshiti úr vinnsluholunum lækkaði. Myndir 12 og 13 sýna gögn frá Hitaveitu Reykjavíkur um hvernig vatnshitinn hefur breytst við holutopp vinnsluholnanna. Gögnin hafa verið hreinsuð af augljósum mælitruflunum, en þau sýna nær stöðuga lækkun vatnshita frá upphafi vinnslu á Elliðaársvæðinu. Tafla 2 gefur hitabreytinguna yfir tímabilið sem gögnin ná til. Svo virðist sem kvörðunarskekkja hafi hrjád fyrstu mæla sem notaðir voru á nokkrum holnanna, því vatnshiti holna RV-26 og RV-30 hefur verið skráður um 5°C hærri við upphaf vinnslu en hæsti hiti mældur í þessum holum og fyrstu skráningar úr holu RV-29 eru einnig í hærri lagi. Nokkur atriði í gögnunum eru þó eftirtektarverð og má þar nefna að vatnshiti holu RV-36 hefur verið mun stöðugri en annara holna á svæðinu. Þar lækkar vatnshitinn aðeins um rúmar 2°C á 10 árum. Þá hefur vatnshiti holu RV-31 nær ekkert lækkað frá árinu 1990 og dregið hefur úr lækkun vatnshitans í holum RV-23 og RV-39. Eftir mikla lækkun vatnshita í holu RV-29 á árinu 1988, er holan var lítið notuð, hefur hiti verið í jafnvægi eftir 1990. Vatnshiti holna RV-26 og RV-30 virðist hins vegar enn halda áfram að lækka með svipuðum hraða og áður. Í holu RV-37 virðist vatnshitinn hafa hækkað aðeins nú síðustu ár.

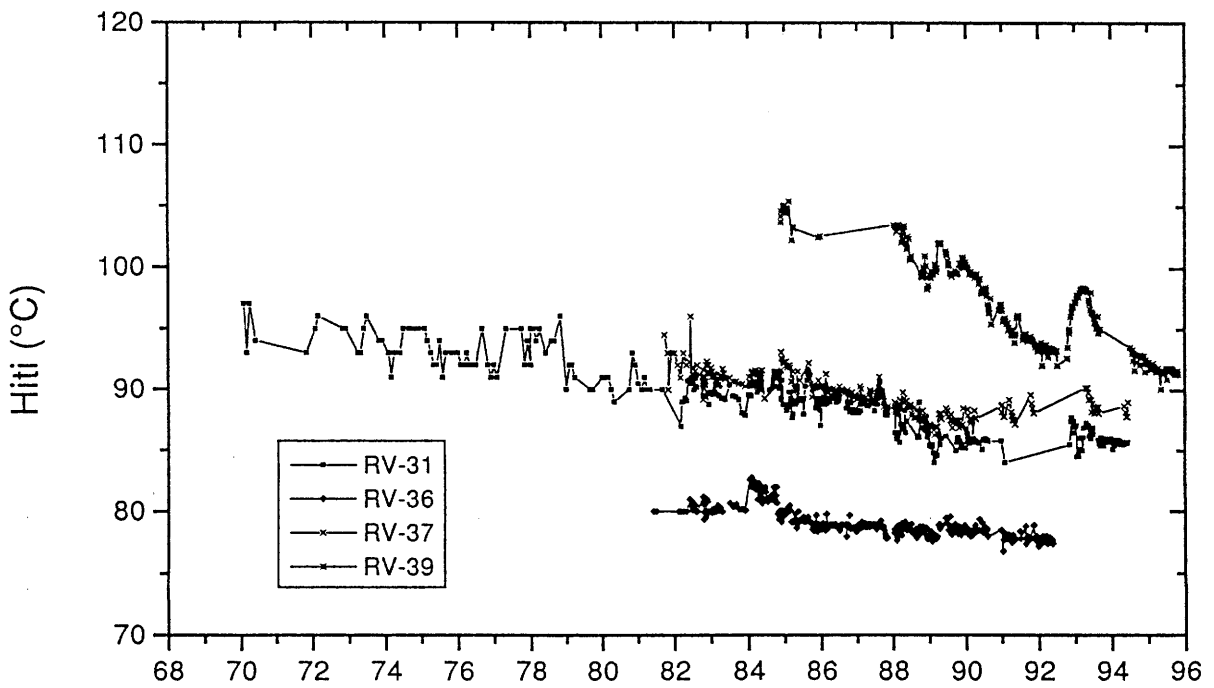
Tafla 2. Breytingar vatnshita vinnsluholna.

Hola	Hitabreyting (°C)	Tími (Ár)	Hraði breytingar (°C/ár)	
			fyrir 1990	eftir 1990
RV-23	12,5	27	-0,62	-0,23
RV-26	28	25	-1,28	-1,28
RV-29	29	23	-0,85	0,0
RV-30	28	24	-1,17	-1,17
RV-31	10	24	-0,48	-0,04
RV-36	2,6	11	-0,03	-0,03
RV-37	4,5	13	-0,71	0,11
RV-39	13,5	11	-1,57	-0,64

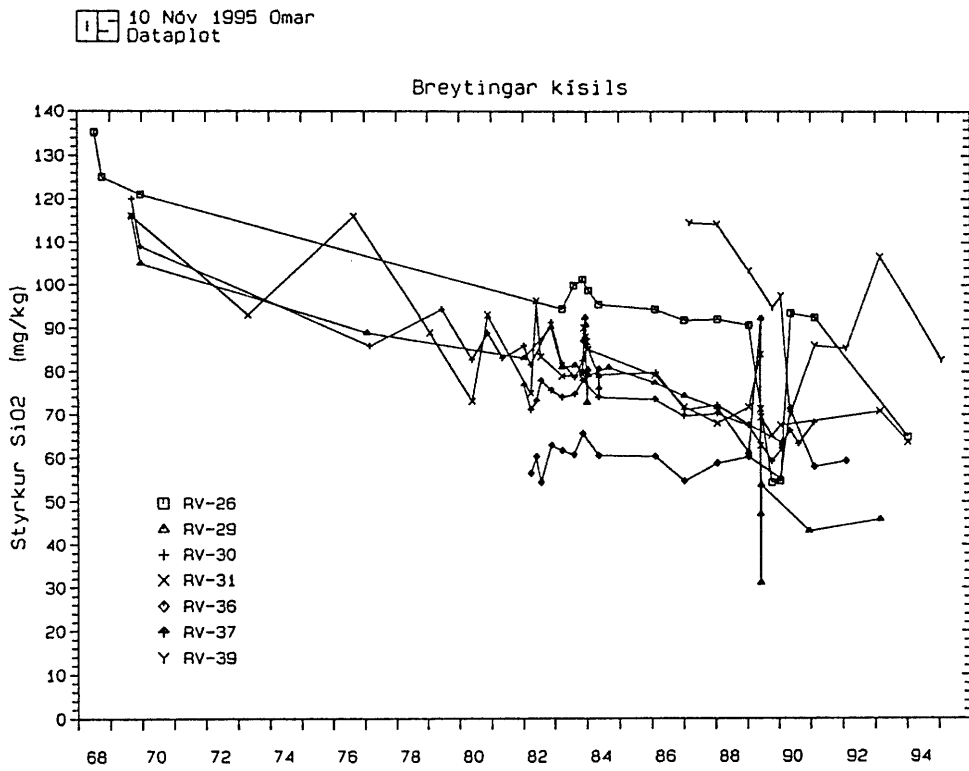
Myndir 14-18 sýna gögn Hitaveitu Reykjavíkur um breytingar á styrk nokkurra efna í dæluvatninu. Breytingarnar í styrk kísils sýna sambærilega hegðun og vatnshiti fyrir sömu holu. Almennnt hefur styrkur kísils stöðugt minnkað frá upphafi vinnslu, en hann hefur haldist nokkuð stöðugur fyrir holu RV-36. Styrkur klóríðs hefur hins vegar verið að hækka örlítið með árunum. Nokkurt stökk var í klóríðstyrknum eftir 1983 sem virðist gengið til baka 1992. Þetta á mögulega skýringar í breytingum í vinnslustýringunni (sjá mynd 19). Eftir árið 1982 hefur styrkur brennisteinsvetnis verið lár og sveiflast um þau mörk að vera greinanlegur. Breytingar í styrk flúors eru óreglulegri, en þó sést að styrkur flúors lækkar í flestum holnanna 1982 og hefur verið nokkuð stöðugur síðan. Áberandi er breytingin í holu RV-39, þar sem styrkur flúors lækkar mikið á árunum 1985-1990 en hefur síðan farið hækkandi. Langtímabreyting þessara efna hefur almennt verið túlkuð sem blöndun við kaldara vatn (Einar Gunnlaugsson, 1982).



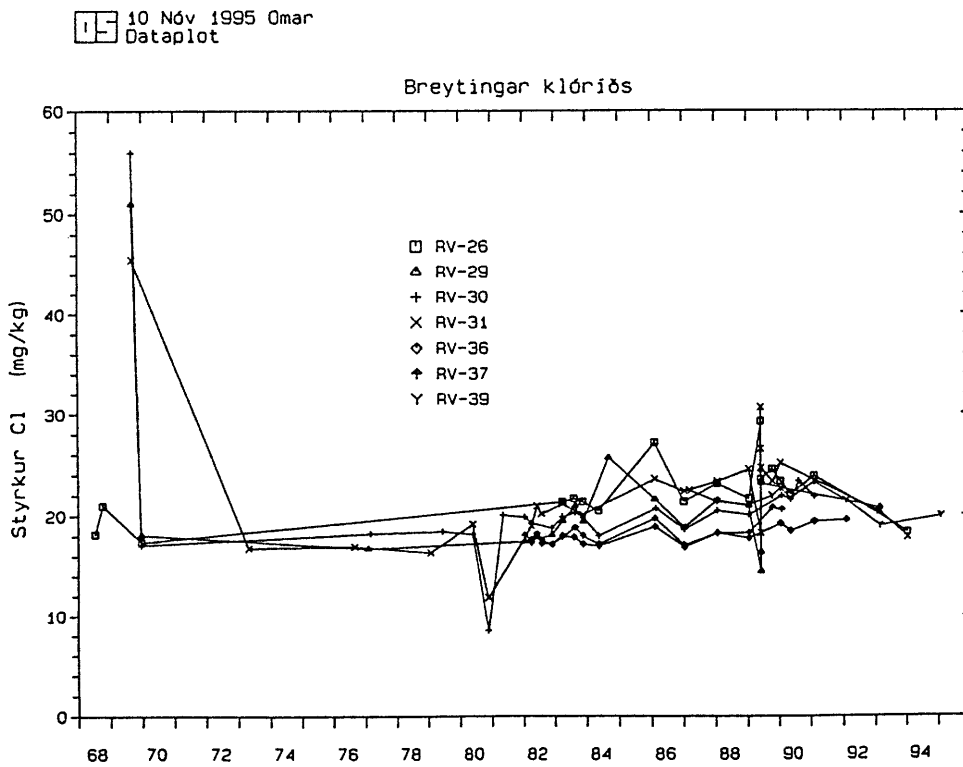
Mynd 12. Breytingar vatnshita úr holum RV-23, RV-26, RV-29 og RV-30.



Mynd 13. Breytingar vatnshita úr holum RV-31, RV-36, RV-37 og RV-39.

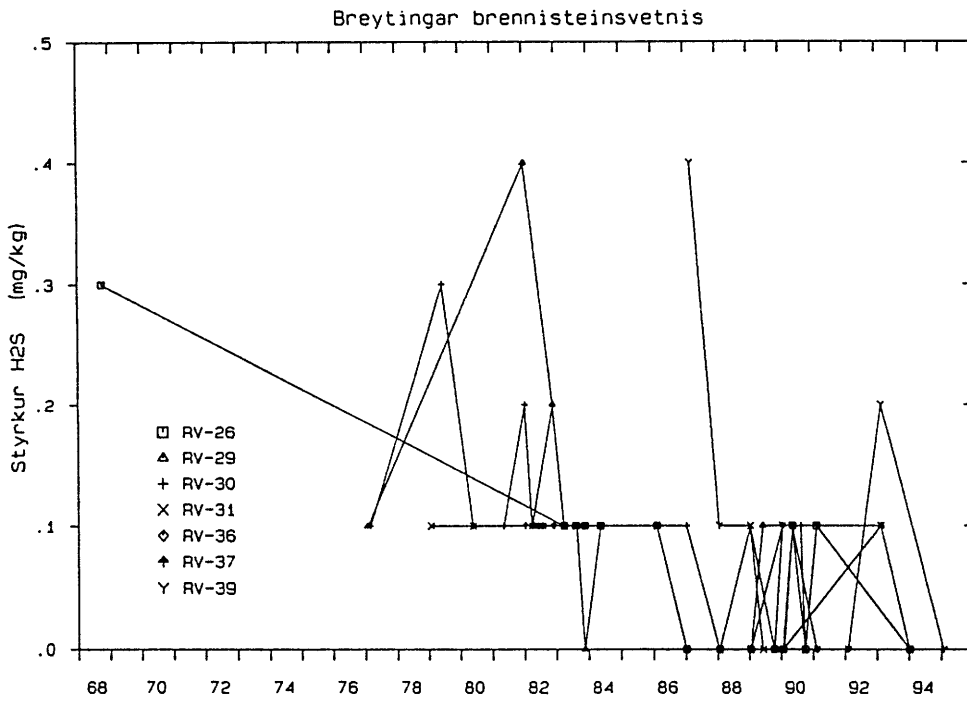


Mynd 14. Breytingar kísilstyrks í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal.



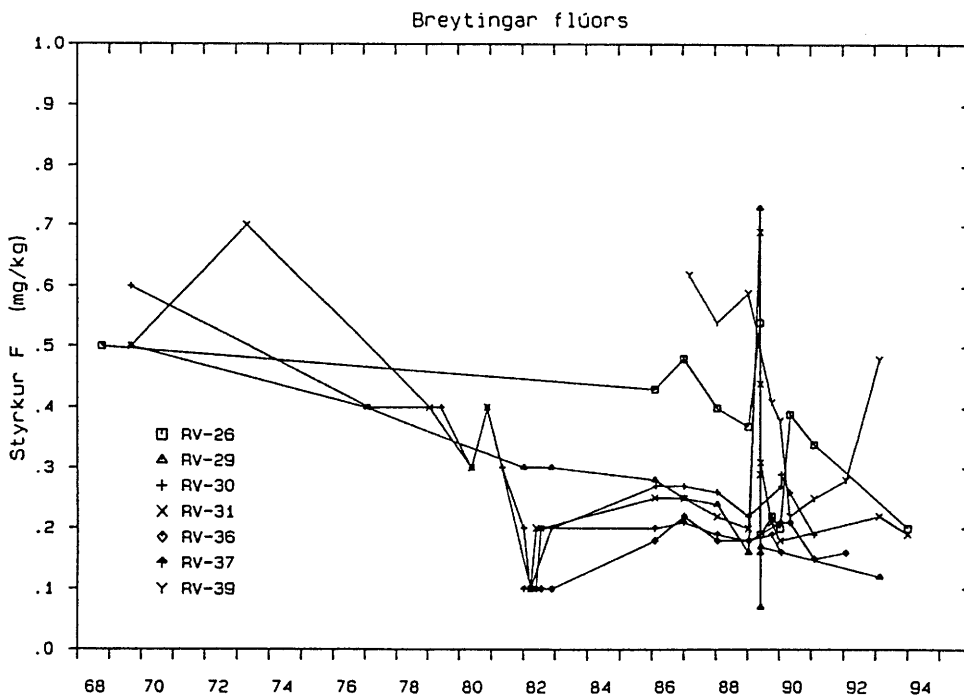
Mynd 15. Breytingar klóríðsstyrk í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal.

10 Nóv 1995 Omar
Dataplot

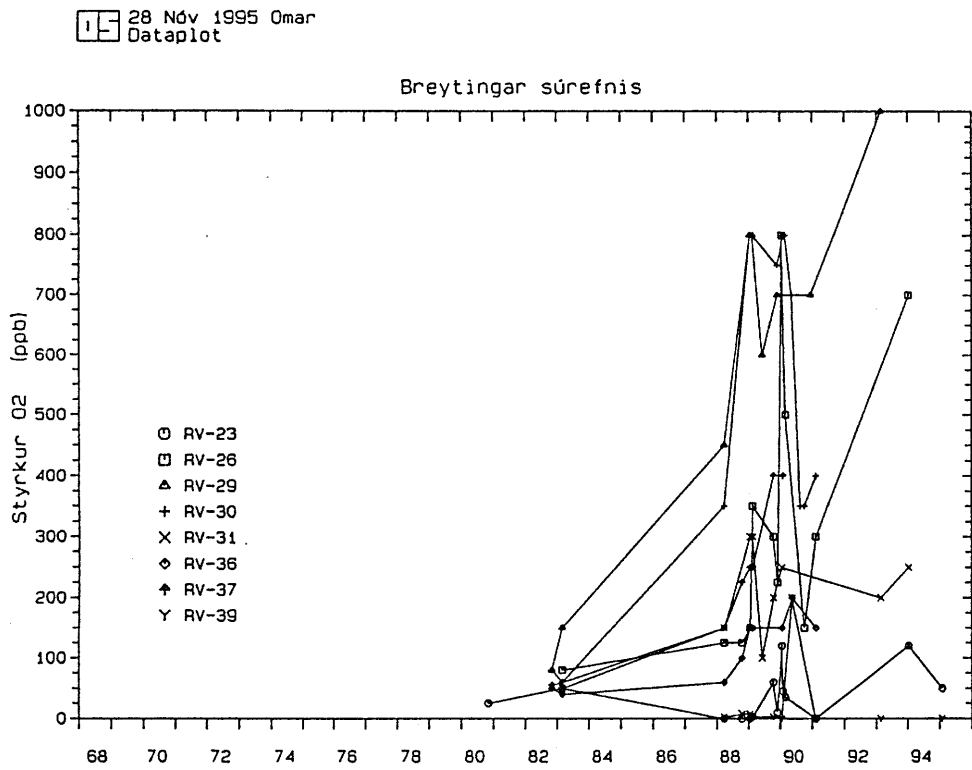


Mynd 16. Breytingar í styrk brennisteinsvetnis í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal.

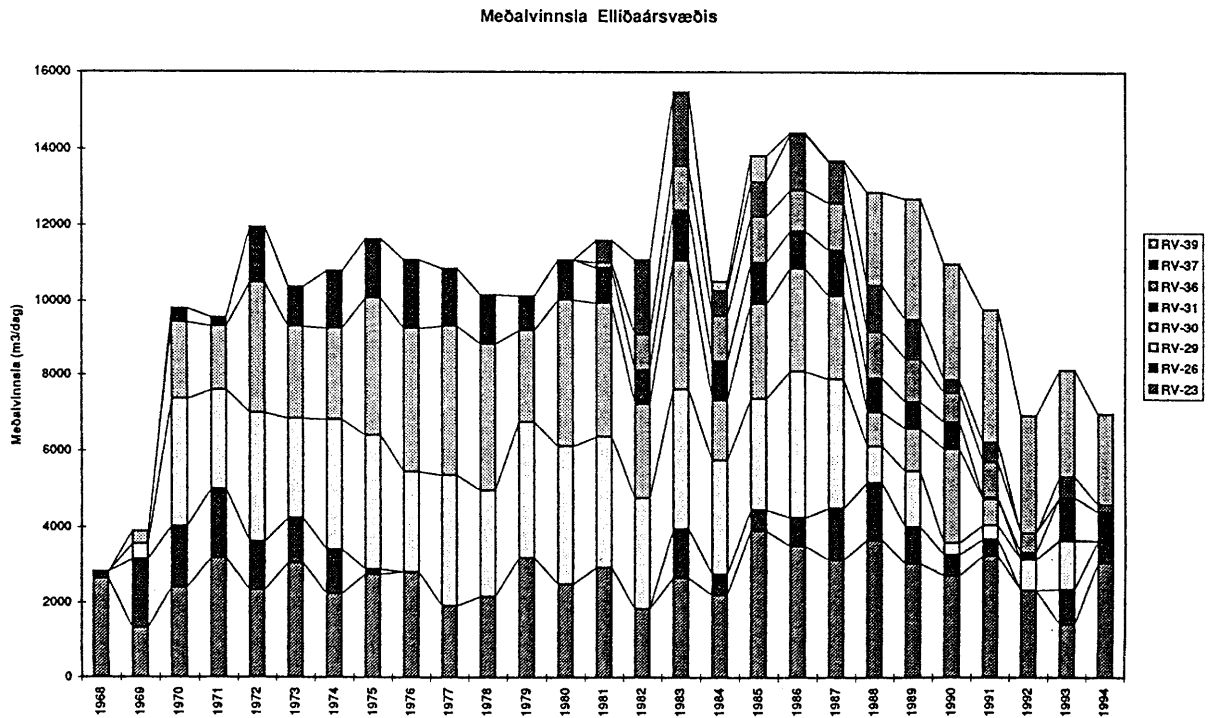
10 Nóv 1995 Omar
Dataplot



Mynd 17. Breytingar flúorsstyrks í vatni úr vinnsluholum í Elliðaárdal.



Mynd 18. Breytingar súrefnisstyrks í vatni úr vinnsluholunum í Elliðaárdal.



Mynd 19. Meðalvinnsla holna á Elliðaársvæðinu frá 1968 til 1994.

Mynd 18 sýnir hvernig styrkur súrefnis hefur breytst í dæluvatninu, en tilvist súrefnis í dæluvatninu bendir eindregið til blöndunar við kalt grunnvatn. Á árunum kringum 1982 var farið að greina súrefni í dæluvatninu, en 1988 jókst það veruleg í allmörgum holnanna. Þetta varð til þess að farið var í endurfóðrun sumra holnanna og sést á myndinni að súrefni minnkar í nokkrum þeirra 1990. Þegar á heildina er litið hefur súrefni ekki haldið áfram að minnka eftir endurfóðrunina, þrátt fyrir að á sama tíma hafi einnig verið dregið úr dælingu frá Elliðaársvæðinu. Súrefnið hefur aftur á móti aukist í holu RV-29 og í holu RV-26 mögulega vegna áhrifa frá holu RV-29. Í öðrum holum hefur súrefni haldist svipað eða farið minnkandi eftir 1990.

4.2 Breytingar við holurnar

Samkvæmt fyrirbyggjandi hitamælingum úr borholum á Elliðaársvæðinu virðist hiti lítið hafa breytst í efstu 500 m jarðhitakerfisins frá upphafi vinnslu. Þó fáar mælingar séu til sem sýni lítið truflað ástand í holunum, þá má draga þessa ályktun út frá mælingum í holum H-38, RV-27 og RV-41. Úr holu H-38 er til mekkansk mæling frá 1968. Talið er að mælir hafi ekki verið allveg rétt kvarðaður þannig að miðað er við hitamælingu með rafeindamæli frá 1987 við ákvörðun á berghita. Mismunur milli mælinganna 1968 og 1987 er að jafnaði minni en 3°C og munur milli mælinga 1987 og 1994 er innan við 1°C . Því hefur hiti við holu H-38 varla breytst meira en um $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ frá 1968. Ekki hefur verið millirensli í efstu 500 m holu RV-27 gegnum tíðina. Hitamælingar sem gerðar voru í holunni 1986 og 1994 falla nær saman og mæling sem gerð var tveim vikum eftir borlok sýnir að holan hafði þá ekki verið orðin full heit eftir borunina. Hiti við holu RV-27 hefur því verið stöðugur niður á minnst 500 m dýpi frá 1968. Holu RV-41 var ekki boruð fyrr en á árinu 1984 og þá fóðruð í 437 m dýpi. Síðan hafa hitamælingar sýnt óbreyttan hita niður á fóðringardýpi holunnar. Ekki eru til nýlegar mælingar úr holum RV-36, RV-37 og RV-39, en þær eru fóðraðar niður á 300-500 m dýpi og samkvæmt ofan sögðu ætti hiti ekki að hafa breytst niður á fóðringardýpi þeirra. Einnig sést að þó niðurrensli hafi verið í holum RV-25 og RV-28 úr æðum í efstu 300-400 m holanna, þá hefur hiti þess ekki breytst alla vega frá árinu 1982. Því virðist ekki hafa orðið kæling í efstu 500 m jarðhitakerfisins, eða í vatnsleiðara A.

Dýpra í jarðhitakerfinu má sjá eftirfarandi út úr þeim hitamælingum sem til eru úr borholunum. Botnhiti holu RV-23 (1260 m) er sami 1968 og í síðustu hitamælingu frá 1984. Á dýptarbilinu 760-870 m í holu RV-24 er hitinn óbreyttur milli hitamælinga 1986 og 1994. Miðað við eldri mælingar (1968) er hitabreyting þar innan við $1,5^{\circ}\text{C}$. Nær sami botnhiti (860 m) mælist í holu RV-26 árin 1968 og 1982, en hitinn mælist þar um $11,5^{\circ}\text{C}$ lægri 1994. Greinileg kæling er þá við æð á tæplega 800 m dýpi í holunni og var niðurrensli til hennar í mælingunni 1982. Þó er óvíst að niðurrenslið hafi eitt valdið kælingunni niðri við botn holunnar. Í holu RV-29 hefur oftast verið niðurrensli þegar holan hefur verið hitamæld. Efsta virka æð holunnar og jafnframt sú heitasta var á um 540 m dýpi, en hún var fóðruð af við endurfóðrun holunnar. Hiti hefur hæstur mælist þar rúmar 105°C , en 1982 mælist hiti þar um 99°C og er holan var endurfóðruð 1990 mælist hitinn þar um 89°C . Kólnun getur þar því verið mest 16°C á tímabilinu 1969-1990. Ein af stærri æðum holu RV-29 er á um 800 m dýpi, en þar hefur hiti lækkað í holunni um 24°C á sama tímabili. Nýrri hitamælingar eru ekki til úr holunni og því ekki hægt að segja til um hver ótruflaður hiti sé í 540 m æðinni. Hitamælingar gefa til kynna sama hita við botn holu RV-30 (1250-1300 m) við borlok 1969 og við endurfóðrun 1990. Við æðakafli á 1200-1600 m dýpi í holu RV-31 mælist hiti svipaður við borlok 1969 og eftir dæluupptekt 1993. Í holu RV-32 mælist hiti í æð á rúmlega 300 m dýpi nær sá sami frá því holan var boruð 1969 og eins er með hita niðri við botn holunnar (1350 m). Ekki er til nein hitamælingasaga úr

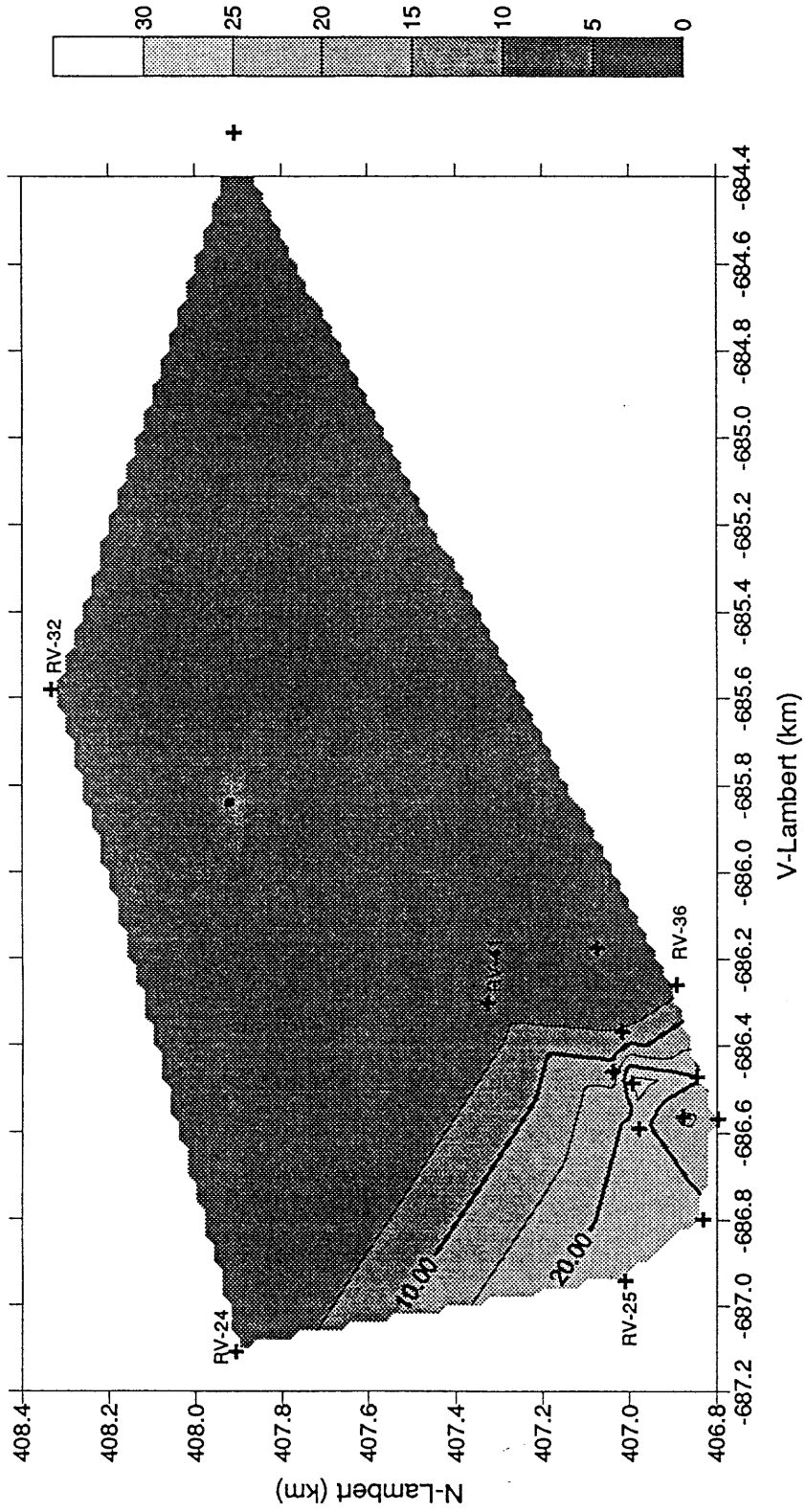
holum RV-36, RV-37 og RV-39, en í holu RV-41 hefur hiti í vinnsluhluta holunnar mælst svipaður frá því skömmu eftir borun holunnar 1984.

Við endurfóðrun borholna á Elliðaársvæðinu voru steipt mælirör í tvær holur og þær þannig fóðraðar til botns. Þetta eru holur RV-25 og RV-28 og hafa þær síðan verið hitamældar að jafnaði einu sinni á ári. Þær gefa því best hugmynd um hitabreytingar í jarðhitakerfinu fyrir og eftir endurfóðranirnar 1990-1992. Í holu RV-25 var töluvert niðurrennsli úr æðum á um 120-280 m dýpi og niður í æð á um 1450 m dýpi, en niðri við botn holunnar virðist hiti lítið hafa breyst frá því hún var boruð 1968. Mælirör var steipt í holuna í byrjun árs 1991 og sýnir hitamæling eftir þá aðgerð verulega kælingu við holuna frá um 400 m dýpi og niður á um 1600 m dýpi. Mest er kælingin við helstu æðar holunnar á þessu dýptarbili, eða á um 820 m, 1065 m og 1450-1530 m. Miðað við upphafshita (berghita) var kælingin við æðina á 820 m dýpi 25°C, við 1065 m æðina 29°C og um 28°C við æðakaflann á 1450-1530 m dýpi. Kælingin í þéttari jarðlögnum var mun minni. Þannig var kælingin á sama tíma nálægt 800 m um 16°C, nálægt 1000 m dýpi um 14°C, á um 1350 m dýpi um 9°C og niðri við botn holunnar (1600 m) líklega engin. Seinni hitamælingar sýna stöðuga hitnun sem bendir til að útbreiðsla kælingarinnar út frá holunni sé takmörkuð. Reiknaður hefur verið jafnvægishiti út frá hitabreytingunni eftir steypingu mælirörsins. Mismunurinn milli upphafshita og reiknaðs jafnvægishita í þéttu jarðlögnum er rúmar 7°C á um 800 m, rúmar 2°C á um 1000 m og um 1°C á um 1300 m dýpi. Við vatnsæðarnar er mismunurinn aðeins meiri eða um 9°C í 820 m, rúmar 16°C í 1065 m og tæpar 20°C í 1450 m.

Svipaða sögu er að segja af holu RV-28, en mælirör var steipt í hana strax á eftir holu RV-25 og hefur verið fylgst með hitabreytingum í holunum á svipaðan hátt síðan. Upphafshiti (berghiti) við holu RV-28 er ekki eins vel ákvarðaður og fyrir holu RV-25 og því ekki hægt að meta eins vel stærð hitabreytinganna. Líft og í holu RV-25 var niðurrennsli frá tiltölulega köldum vatnsæðum á dýptarbilinu 120-380 m og niður í æðar á 710 m, 850 m og æðakafla á 1330-1460 m. Frá því millirennsli í holunni var stöðvað hafa hitabreytingar í henni verið meiri en í holu RV-25. Að jafnaði hefur hiti á kælda dýptarbilinu í holu RV-25 hækkað um 10°C á rúmum þrem árum, en um 20°C í holu RV-28. Hiti á niðurrennslinu í holu RV-28 var tæpum 20°C lægri en í holu RV-25. Jafnvægishiti hefur einnig verið reiknaður fyrir nokkur dýpi í holu RV-28 út frá síðari hitamælingum. Eftir steypingu mælirörsins 1991 var hiti við 710 m æðina um 47°C en stefnir í að vera um 76°C. Við 850 m æðina var hiti um 56°C og stefnir í 84°C, en í æðakaflanum á 1330-1460 m var hiti kringum 47°C og stefnir í 60°C. Í þéttari jarðlögnum nálægt vatnsæðunum var hiti í 660 m um 66°C og stefnir í 85°C. Á um 800 m dýpi var hitinn rúmar 70°C og stefnir í 91°C og eins var hitinn á um 1200 m um 71°C og stefnir í 91°C. Miðað við áætlaðan upphafshita er kælingin í þéttari jarðlögnum vart meiri en 4-7°C. Við vatnsæðarnar getur kælingin hins vegar verið 10-15°C hærri.

Af ofan sögðu virðist meiga draga þá ályktun að hiti hafi ekki breyst í vatnsleiðara A, eða í efstu 400-500 m jarðhitakerfisins. Einnig virðist hiti nær ekkert hafa breyst í vatnsleiðara C, eða á meira en 1100 m dýpi í kerfinu nema þá þar sem niðurrennsli í einstökum holum hefur verið viðvarandi yfir langan tíma til vatnsæða í þeim vatnsleiðara. Helstu hitabreytingar sem vart hefur orðið takmarkast því við vatnsleiðara B eða dýptarbilið 500-1000 m. Með samanburði á hitamælingum úr holunum og ákvörðuðum upphafshita við þær hefur verið reynt að leggja mat á kælinguna í vatnsleiðara B og er miðað við 800 m dýpi, sem er um miðbik þess leiðara. Margar hitamælinganna eru truflaðar af millirennsli í holunum og því getur auðveldlega verið einhver skekkja í þessu mati, sem sett er fram í töflu 3 og sýnt á mynd 20.

Áætluð kæling á 800 m dýpi



Mynd 20. Áætluð kæling á 800 m dýpi (vatnsleiðari B) fyrir endurfóðanir 1990.

Tafla 3. Áætluð kæling á um 800 m dýpi.

Hola	ΔT °C	Athugasemdir
RV-23	12	Kæling á 470 m 18 °C, 690 m 15 °C
RV-24	1	Kæling við æð á 690 m í mesta lagi 8 °C
RV-25	25	Við æð á 820 m
RV-26	22	Engin kæling nú í 470 m, kæling 12 °C ofan æðar í 800 m
RV-27	4	Óþekkt, en líklega lítil
RV-28	29	Getur mest verið um 40 °C í æð á 850 m og minnst 22 °C
RV-29	21	Gæti verið 24 °C. Við æð á 540 m er kæling 15 °C
RV-30	28	Gæti verið aðeins meiri í æðakafli 660-790 m
RV-31	17	Kæling er minnst 10 °C
RV-32	0	Óþekkt vegna niðurrennsli, líklega lítil
RV-33	0	Óþekkt vegna niðurrennsli og fyrirstöðu, líklega lítil
RV-36	3	Engin mæling, en ólíklega meiri en á dæluvatni
RV-37	5	Engin mæling, sett svipuð og kólnun dæluvatns
RV-39	14	Engin mæling, sett svipuð og kólnun dæluvatns
RV-41	2	Gæti verið minni

Ekki eru til nýlegar hitamælingar úr holum RV-36, RV-37 og RV-39 og hefur kælingin í vatnsleiðara B því verið sett nær sama og kólnun vatns sem dælt er úr holunum, en gera má ráð fyrir að stór hluti dæluvatnsins komi frá djúpum vatnsæðum (vatnsleiðara C) í þessum holum. Kælingin í vatnsleiðara B getur því verið eitthvað meiri við þær. Fyrir aðrar holur þar sem hægt hefur verið að áætla kælinguna fæst hún mjög svipuð og kólnun dæluvatnsins frá viðkomandi holu (sjá töflu 2). Af mynd 20 sést að kælingin er mest vestan eða suðvestan í vinnslusvæðinu og liggur í sveig um vinnslusvæðið gegnum holur RV-26, RV-30 og RV-29. Kælingin er aftur á móti lítil austan til og norður um svæðið.

4.3 Áhrif endurfóðrana

Átak var gert í endurfóðrun borhola á Elliðaársvæðinu á árunum 1990-1992. Miðað við að niðurrennsli úr grynri vatnsæðum (vatnsleiðara A) hafi verið ríkjandi í svæðinu í allt að 20 ár þá er skammur tími liðinn frá endurfóðruninni. Fáar hitamælingar eru til úr holunum á svæðinu eftir endurfóðrun nokkurra þeirra nema holur RV-25 og RV-28 sem breytt var í mælingarholur. Enn þá liggja því takmarkaðar upplýsingar fyrir til að leggja mat á langvarandi kælingu í jarðhitakerfinu, útbreiðslu kælingar í því og hversu mikið kælingin muni ganga til baka. Til að meta áhrifin af endurfóðruninni verður því einnig að notast við gögn frá Hitaveitu Reykjavíkur um breytingar í dæluvatninu frá holunum.

Í töflu 2 má sjá hvernig kólnunarhraði dæluvatnsins hefur breytst eftir endurfóðrunina. Í flestum vinnsluholanna hefur kólnunarhraði dæluvatnsins minnkað um helming eða meira. Þrjár holur sýna enn sama kólnunarhraða, holur RV-26, RV-30 og RV-36. Vatn frá holu RV-36 hefur lítið kólnað frá því hola var tekin í notkun, en hinar tvær eru þar sem mest kæling hefur orðið í jarðhitakerfinu. Með því að líta einnig til myndar 20 sést að kólnunarhraðinn hefur minnkað mjög mikið í vinnsluholunum sem liggja við jaðar kælingarsvæðisins, en minna eða ekkert í

holunum þar sem kæling var mest. Samkvæmt þessu er hola RV-29 afbrigðileg. Skömmu fyrir endurfóðrun holu RV-29 hefur orðið breyting í henni þannig að hlutfall vatns frá dýpri vatnsæðum holunnar hefur aukist (sjá mynd 12). Hiti dæluvatnsins lækkaði því verulega og með endurfóðruninni voru heitari æðarnar lokaðar frá holunni. Holan hefur síðan verið að vinna úr dýpri vatnsæðunum sem eru um 75°C heitar og frávik hennar því eðlilegt. Hola RV-30 var endurfóðruð, en hola RV-26 sem hefur æðar á svipuðu dýpi og hola RV-30 er enn aðeins fóðruð niður á um 100 m dýpi.

Súrefni í dæluvatni vinnsluholnanna minnkaði í flestum holunum er byrjað var á endurfóðrun holnanna 1990, nema í RV-29. Súrefni hefur síðan aukist í holu RV-29 og RV-26. Það hefur hins vegar nokkurn veginn staðið í stað í hinum holunum, þó vinnsla sé nú um þriðjungi minni en hún var fyrir 1990. Ekki er hægt að benda á ákveðna holu og segja að niðurrennsli þar hafi haft mest áhrif á flutning súrefnis niður í jarðhitakerfið. Niðurrennsli í holunum skýrir því ekki eitt sér tilvist súrefnis í dæluvatninu.

Eins og áður hefur verið sagt þá hafa holur RV-25 og RV-28 verið að hitna stöðugt frá því þær voru fóðraðar til botns með mæliröri. Hola RV-28 var meira kæld en hola RV-25 enda rann tæplega 40°C heitt vatn niður hana, en um 57°C vatn niður holu RV-25. Hola RV-28 hefur hitnað meira eða sem nemur þessum mismun og reiknaður jafnvægishiti við holurnar bendir til að hitinn við þær verði mjög svipaður. Fyrir þéttari jarðlögin í kælda hluta holnanna nálgast reiknaði jafnvægishitinn áætlaðan upphafshita og er munurinn innan við 7°C, eða jafnvel minni. Ljóst er að endurfóðrunin hefur og mun áfram draga verulega úr kælingunni á vestanverðu vinnslusvæðinu og virðist kælingin þar aðallega hafa stafað af niðurrennsli í holunum.

Af nýlegum hitamælingum má nefna að mæling í holu RV-24 sýnir nær óbreyttan hita í henni miðað við áætlaðan upphafshita. Óveruleg kæling gæti þó verið við æð á um 690 m dýpi vegna smá niðurrennslis sem hefur verið í holunni samkvæmt hitamælingu frá 1986. Nú er hins vegar yfirþrýstingur á holunni og niðurrennslið hætt. Hola RV-26 var einnig mæld 1994 eftir rúmlega fjöggra mánaðar vinnslustopp. Mælingin þar sýnir að holan er heitari en í mælingu frá 1982 niður á rúmlega 700 m dýpi, en kaldari við æðina á um 790 m og til botns. Niðurrennsli er minna úr æðum á 160 m og 240 m en árið 1982, mögulega vegna hærri þrýstings í 790 m æðinni nú þar sem svæðið hefur verið hvílt meira allra síðustu ár. Hitamæling í holu RV-27 sýnir sama hita og í upphafi niður að fyrirstöðu á tæplega 550 m dýpi. Mæling sem gerð var í holu RV-31 eftir þriggja daga vinnslustop bendir til að hiti hafi lítið sem ekkert breytst neðan 1100-1200 m dýpis frá því holan var boruð, en þaðan kemur meiri hluti vinnslunnar úr holunni. Jafnframt hafa efri æðarnar aðeins hitnað, en ekki er hægt nú að segja til um hvort það sé vegna hitnunar í æðunum eða vegna þess að niðurrennsli kaldara vatns hafi verið stöðvað. Hitamæling í RV-32 bendir til að niðurrennsli hafi minnkað í holunni líklega vegna hærri þrýstings í dýpri æðum holunnar miðað við hvað var 1986-1987. Svipað á líklega við um holu RV-33 og virðist breytingin þar eiga sér stað milli árána 1990 og 1991. Hitamæling í holu RV-41 sýnir nær óbreytt ástand frá mælingu sem gerð var 1986.

5. UMRÆÐA

Til einföldunar á umræðu um jarðfræðilega og vatnafræðilega gerð jarðhitakerfisins á Elliðaársvæðinu hefur því verið skipt í þrjá megin vatnsleiðara sem fylgja að mestu þremur einkennandi bergsyrpum (Jens Tómasson, 1988). Eins og bent hefur verið á hér á undan er talið að nær engin kæling hafi orðið í vatnsleiðara A eða í efstu 400-500 m jarðhitakerfisins. Sama á við um vatnsleiðara C fyrir neðan 1100-1200 m dýpi. Kælingin í jarðhitakerfinu er því bundin við vatnsleiðara B eða dýptarbilið 500-1100 m. Nú er vatnsleiðari B kaldastur við holu RV-28 og holu RV-29, en þaðan liggur tunga með svipuðum hita að holu RV-30 (mynd 20). Út frá fyrirbyggjandi gögnum er ómögulegt að segja til um hvort rennsli sé af kaldara vatni úr suðri í átt að holu RV-29 og RV-30 eða úr suðvestri til holu RV-28. Ef litið er á mynd 5 af jafnhitalínum á 200 m dýpi er eins og hitatunga teygi sig til suðvesturs á Breiðholtsmýrina frá holum RV-31 eða RV-29. Hugsanlega gæti verið sprunga á þessum slóðum sem þá myndi geta veitt vatni niður í jarðhitakerfið og myndi það skýra mikið súrefni í holu RV-29. Þó hleðsla kaldara vatns um sprungur að kerfinu sé talin líkleg þá virðist niðurrennsli vatns úr vatnsleiðara A til vatnsæða í leiðara B hafa orsakað stóran hluta þeirrar kælingar sem vart hefur orðið á vinnslusvæðinu. Þetta niðurrennsli hefur verið viðvarandi í um 20 ár um ónotaðar og lítið notaðar borholur á svæðinu. Þar sem dregið hefur verið verulega úr niðurrennslinu með endurfóðrun borholna ætti dæluvatnið frá vinnsluholunum að fara hitnandi á næstu árum um leið og kælingin mun ganga að mestu leyti til baka miðað við svipaða vinnslu af svæðinu. Ýmsar vísbendingar eru í fyrirbyggjandi gögnum um þetta þó en séu þær ekki afgerandi og skammur tími liðinn frá endurfóðringum. Breytinganna ætti fyrst að verða vart í nyrðri vinnsluholunum (RV-23, RV-37) og síðar í hinum.

Í svipaðri samantekt frá 1990 (Klara Bojadgieva, 1990) var talið að innrennsli af kaldara vatni gæti verið inn á svæðið frá suðaustri, þar sem talið var að kæling væri mest þar. Þar sem miðað var við svæðismeðalhita (sjá mynd 3) var kæling á þessum stað í jarðhitakerfinu ofmetin þá. Stafi kæling í svæðinu að hluta af innrennsli kaldara vatns, þá kemur það innrennsli meira úr suðri eða suðvestri (RV-29, RV-28). Þar er nágrenni holu RV-29 líklegra, þar sem sú hola er köldust og ríkust af súrefni. Einnig var bent á möguleika á sprungu sem lægi þar og suðvestur í Breiðholtsmýrina. Nágrenni holu RV-28 fer hins vegar hitnandi sem bendir ekki til rennslis af köldu vatni um kerfið við hana.

Þar sem holur RV-26 og RV-30 halda enn áfram að kólna jafn mikið og áður væri rétt að fóðra holu RV-26 niður á að minnsta kosti 400 m dýpi til að koma í veg fyrir að hola RV-30 dragi kaldara vatn frá vatnsleiðara A gegnum holu RV-26. Einnig ætti að athuga með að koma alfarið í veg fyrir niðurrennsli í holu RV-29 með því að steypa í hana mælirör til botns, því þar er vatnsleiðari B kaldastur og súrefni mest.

6. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

- Heitur vatnsstraumur virðist koma inn á Elliðaársvæðið úr norðaustri og byrja að rísa upp af um 1400 m dýpi norðaustur af holu RV-32 og upp á um 500 m dýpi inni á vinnslusvæðinu í Elliðaárdal.
- Í efsta vatnsleiðaranum, sem nær niður á 300-500 m dýpi (vatnsleiðari A) hefur hiti ekki breyst í jarðhitakerfinu frá því vinnsla hófst þar árið 1968.
- Í dýpsta vatnsleiðaranum (vatnsleiðara C) er talið að hiti hafi breyst óverulega frá upphafi vinnslu. Undantekning er staðbundin kæling í efstu vatnsæðum leiðarans í holum sem hafa haft mikið niðurrennsli síðastliðin 10-20 ár.
- Kólnun dæluvatns af Elliðaársvæðinu stafar aðallega af kælingu vatnsæða í vatnsleiðara B (500-1000 m dýpi). Kælingin virðist mest hafa orðið í suðvestanverðu vinnslusvæðinu og teygja sig til austurs og suðurs um þær holur sem mest dæling hefur verið úr.
- Engin kólnun er talin vera austan til í vinnslusvæðinu og norður um það.
- Æskilegt er að endurfóðra holu RV-26 niður á að minnsta kosti 400 m dýpi og stöðva niðurrennsli í henni.
- Athuga ætti alvarlega að loka holu RV-29 alveg með því að steypa mælirör til botns í henni. Vatnsæðar í vatnsleiðara B eru kaldastar við hana (um 75°C) og millirennsli er í holunni milli æða rétt neðan fóðringar og botns. Súrefni mælist einnig hæst í holu RV-29. Aðrar holur sem sýna tengingu við vatnsæðar holu RV-29 hafa einnig hátt súrefnisinnihald.
- Fyrir frekari upplýsingaöflun af hitaástandi jarðhitakerfisins við Elliðaár ætti að hreinsa og mæla holu KS-1 við Smiðjuveg, Kópavogi, en holan er við suðvestur jaðar kerfisins. Finna og hreinsa holu H-20 við Breiðholtsbæinn (Gróðrarstöð Alaska). Bora hitastigulsholur suður og suðvestur af holu RV-29.
- Fyrir forðafræði kerfisins ætti að kanna þrýstingssamband milli holna RV-42 við Korpuós og RV-32 og síðan inn á vinnslusvæðið (RV-41).
- Huga ætti að því að taka holu RV-41 í notkun og stýra vinnslunni meira á nyðri vinnsluholurnar. Hugsanlega mætti þannig draga úr súrefni í dæluvatninu auk þess sem dæluvatnið yrði eitthvað heitara.

7. HEIMILDIR

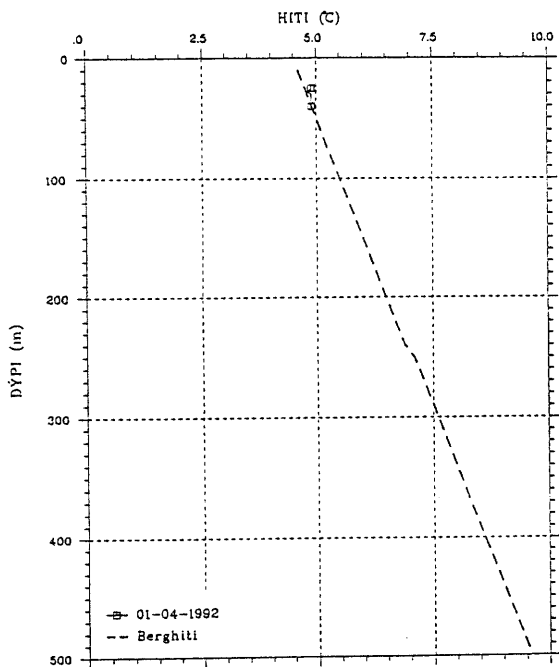
- Einar Gunnlaugsson, 1982: Efnagreiningar á vatni á Elliðaársvæði. Hitaveita Reykjavíkur greinargerð, 21 s.
- Friðrik H. Guðmundsson, 1984: Hydrologiske model anvent pa geothermal område pa Island. Eksamensproject ved Danmarks Tekniske Hojskole, Kobenhavn, Danmark. 55 s.
- Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995: Hitalíkan af Reykjasvæðunum í Mosfellsbæ. Orkustofnun OS-95016/JHD-02, 110 s.
- Helga Tulinius, Ómar Bjarki Smáráson, Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Guðlaugur Hermannsson, 1986: Hitastigulsboranir árið 1984 á höfuðborgarsvæði. Holur HS-14 til HS-22. Orkustofnun OS-86060/JHD-22 B, 38 s.
- Ivan Penev, 1990: Lumped and distributed models of the Ellidaár geothermal field, SW-Iceland. UNU Geothermal Training Program, Reykjavík, Iceland. Report 12, 38 s.
- Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir, og Ingvar Birgir Friðleifsson, 1977: Höfuðborgarsvæði. Jarðhitarannsóknir 1965-1973, Orkustofnun OS-JHD-7703, 109 s.
- Jens Tómasson, 1988: Elliðaársvæðið. Uppruni og eðli jarðhitans. Orkustofnun OS-88027/JHD-03, 67 s.
- Klara Bojadgieva, 1990: Interpretation of the Temperature data of the Ellidaár geothermal field, SW-Iceland. UNU Geothermal Training Program, Reykjavík, Iceland. Report 4, 36 s.
- Verkfræðistofan Vatnaskil, 1982: Elliðaársvæði. Áhrif jarðhitavinnslu á orkuforða. Reykjavík, 31 s.

VIÐAUKI 1

Hitamælingar og berghitaferlar

24 Nov 1995 omar
L= 471 Oracie

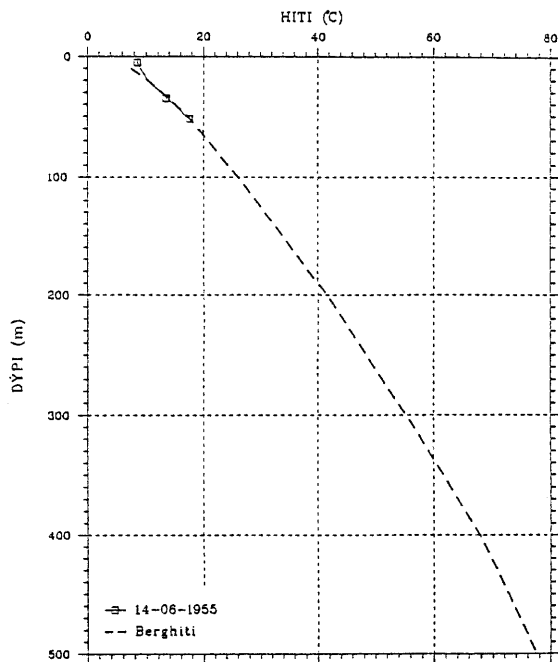
AB-1



1. Berghiti holu AB-1, Bæjarhálsi.

24 Nov 1995 omar
L= 1272 Oracie

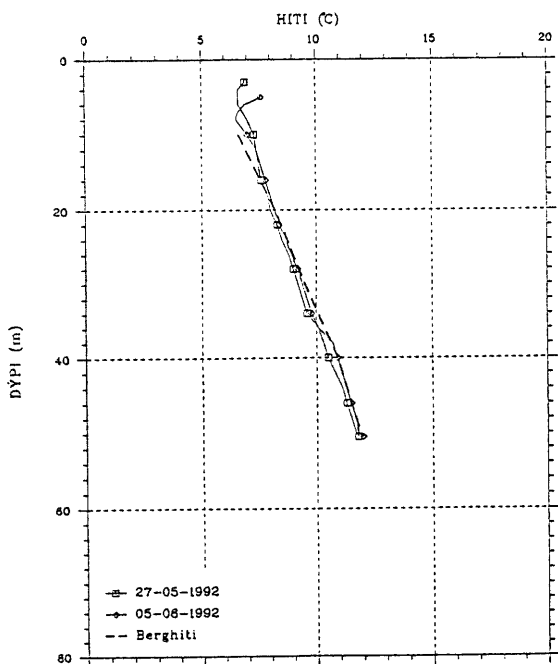
FV-1



3. Berghiti holu FV-1, Fossvogsbletti.

24 Nov 1995 omar
L= 4112 Oracie

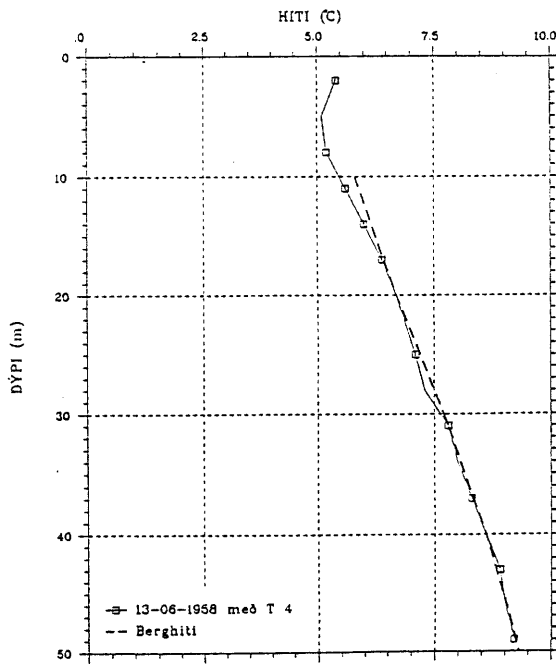
EH-2



2. Berghiti holu EH-2, Gelgutanga.

24 Nov 1995 omar
L= 1833 Oracie

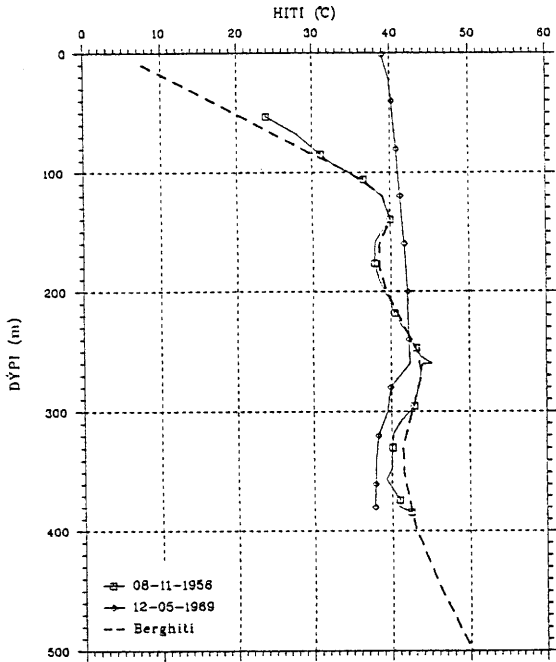
GN-2



4. Berghiti holu GN-2, Gufunesi.

24 Nov 1995 ómar
L= 6020 Oracie

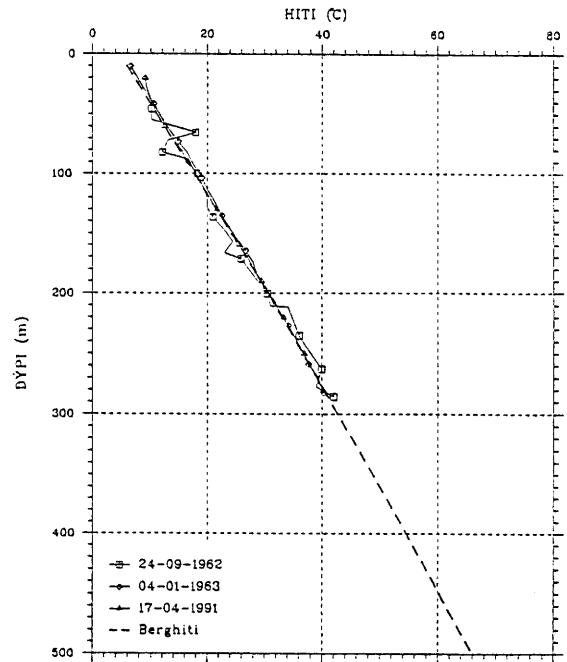
H-20



5. Berghiti holu H-20, Breiðholti.

24 Nov 1995 ómar
L= 6036 Oracie

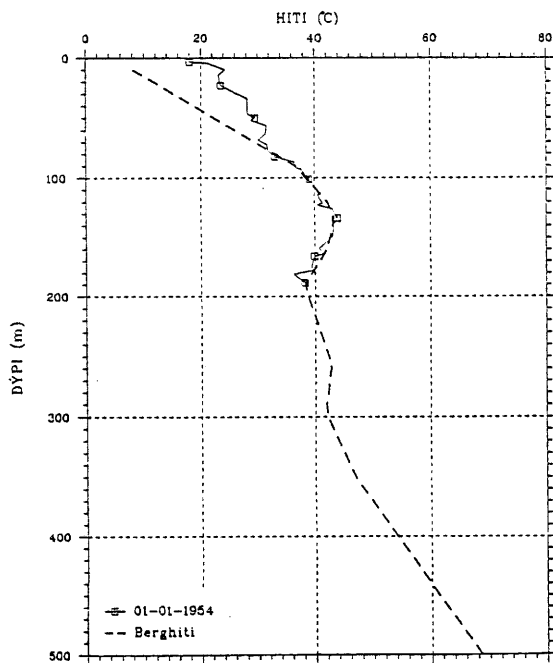
H-36



7. Berghiti holu H-36, Kleppi.

24 Nov 1995 ómar
L= 6035 Oracie

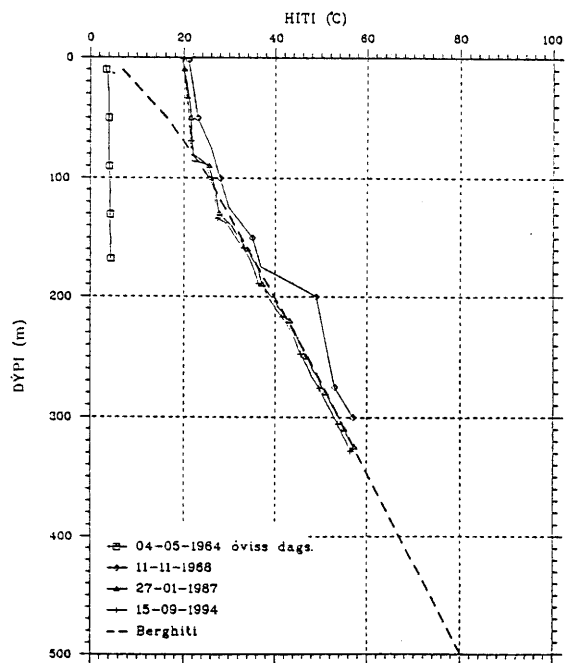
H-35



6. Berghiti holu H-35, Breiðholti.

24 Nov 1995 ómar
L= 6038 Oracie

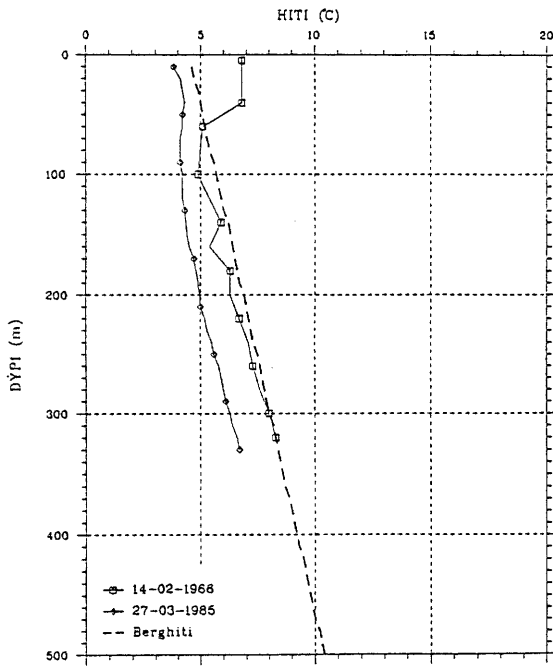
H-38



8. Berghiti holu H-38, Ártúni.

24 Nov 1995 ómar
L= 6039 Oracie

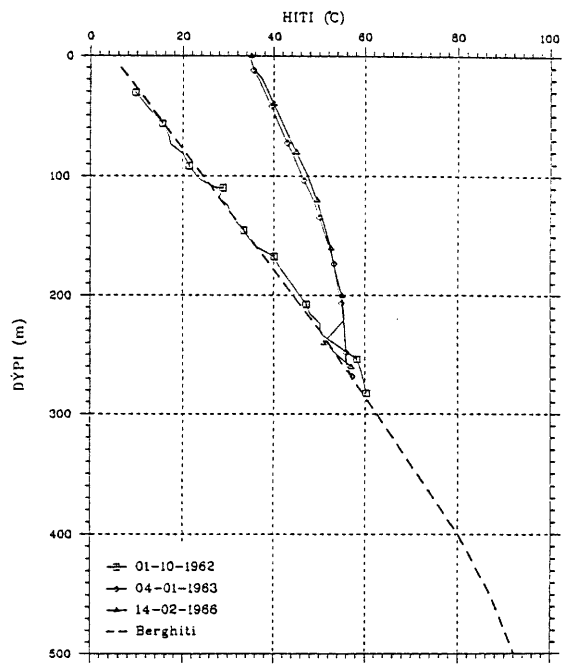
H-39



9. Berghiti holu H-39, Vatnsenda.

24 Nov 1995 ómar
L= 6041 Oracie

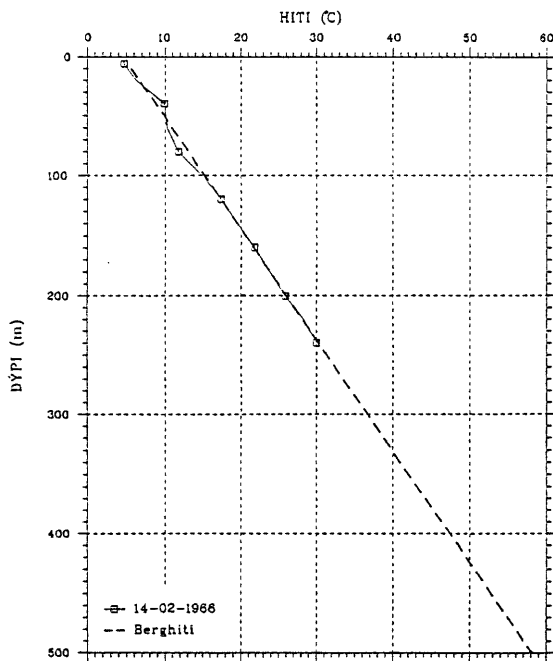
H-41



11. Berghiti holu H-41, Árbæ.

24 Nov 1995 ómar
L= 6040 Oracie

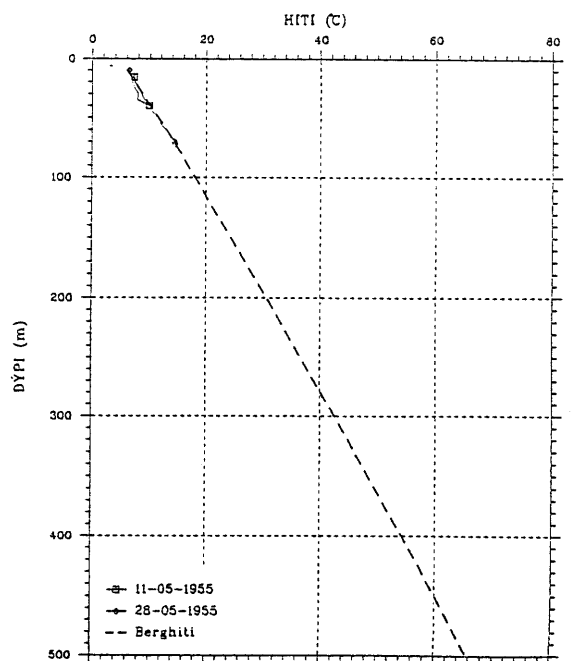
H-40



10. Berghiti holu H-40, Gufunesi.

24 Nov 1995 ómar
L= 1931 Oracie

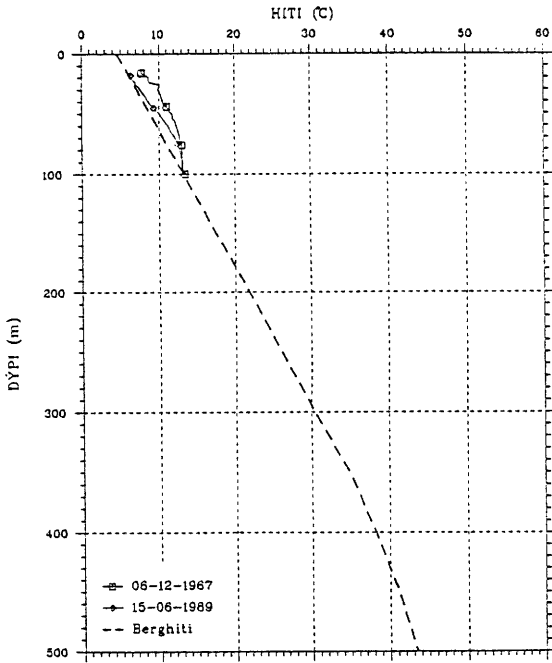
HL-1



12. Berghiti holu HL-1, Hálogalandi.

24 Nov 1995 ómar
L= 9071 Óracle

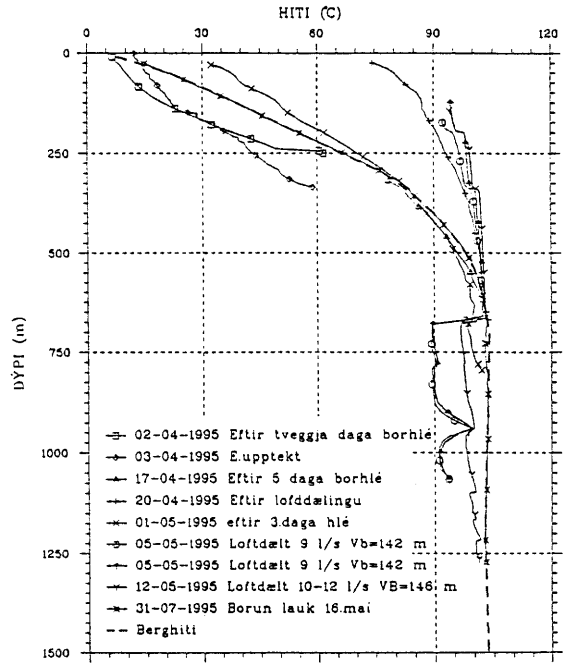
HS-12



13. Berghiti holu HS-12, Leirdal.

24 Nov 1995 ómar
L= 1844 Óracle

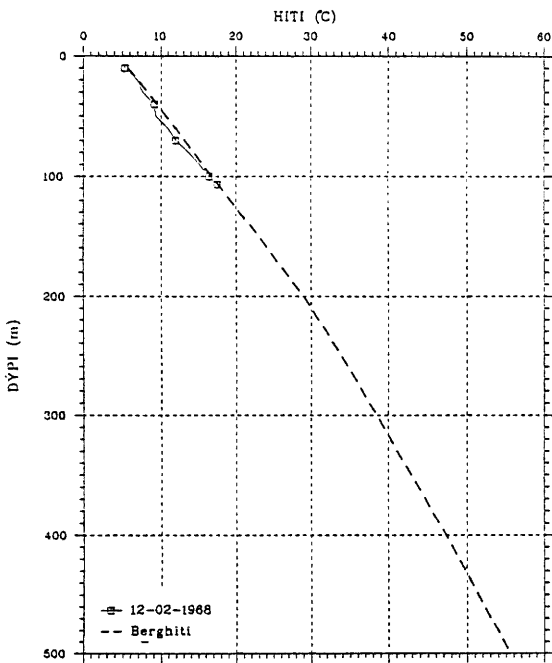
HS-44



15. Berghiti holu HS-44, Geldinganesi.

24 Nov 1995 ómar
L= 9101 Óracle

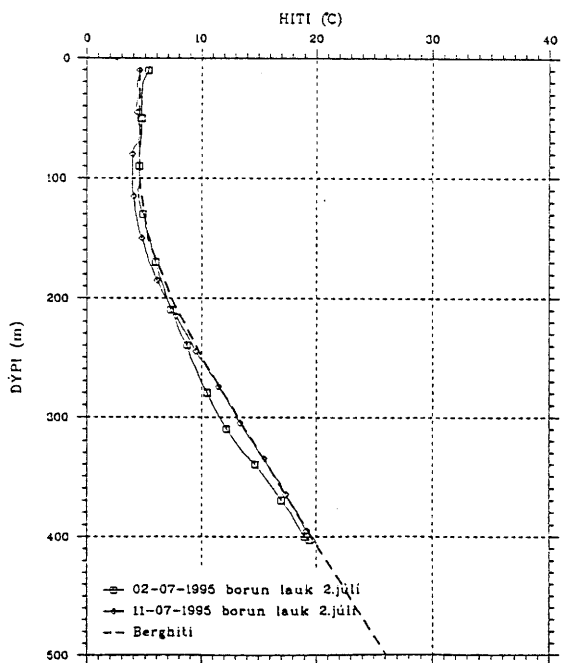
HS-13



14. Berghiti holu HS-13, Digranesi.

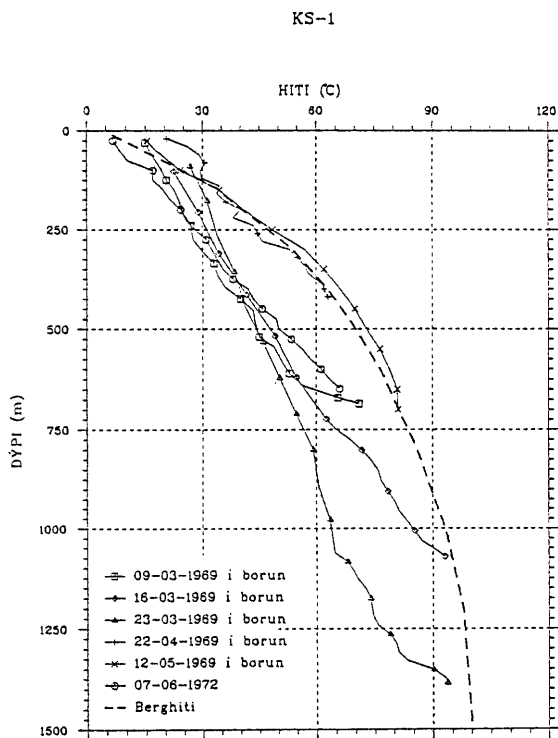
24 Nov 1995 ómar
L= 8051 Óracle

HS-45



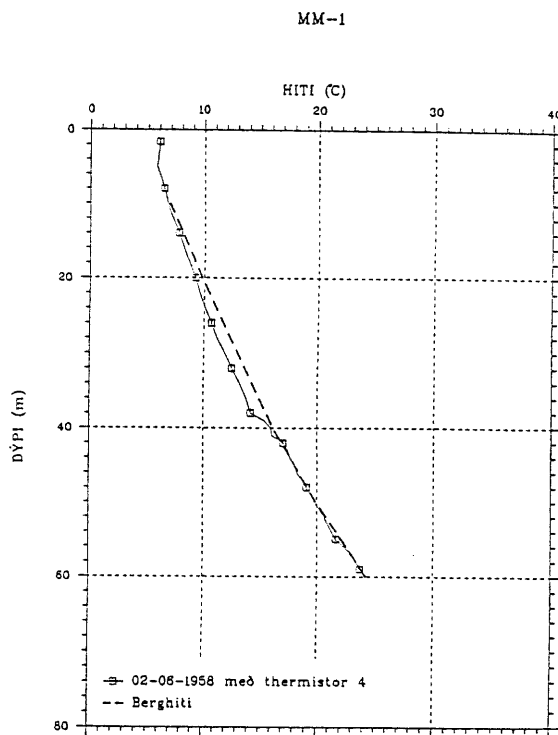
16. Berghiti holu HS-45, Breiðholti.

24 Nov 1995 ómar
L= 9121 Gracie



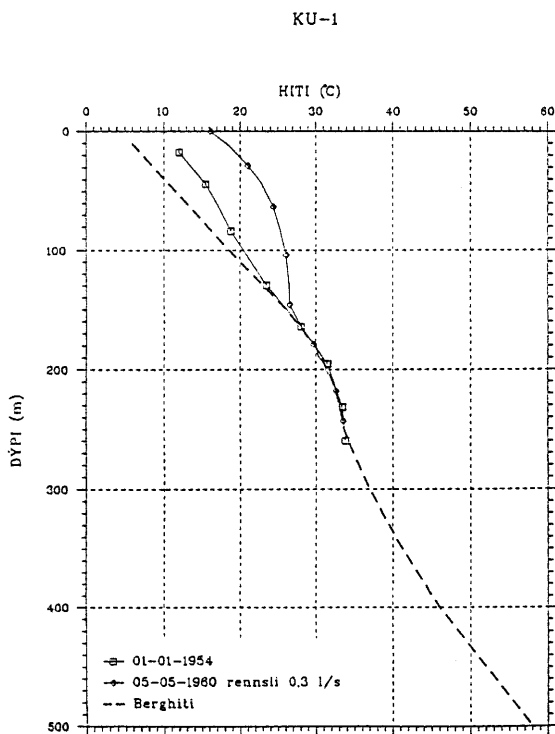
17. Berghiti holu KS-1, Digranesi.

24 Nov 1995 ómar
L= 3021 Gracie



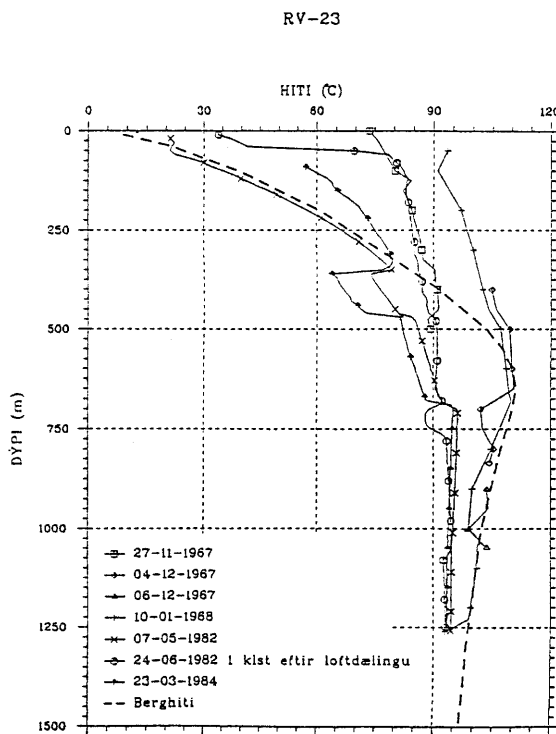
19. Berghiti holu MM-1, Mjóamýri.

24 Nov 1995 ómar
L= 2642 Gracie



18. Berghiti holu KU-1, Korpúlfsstöðum.

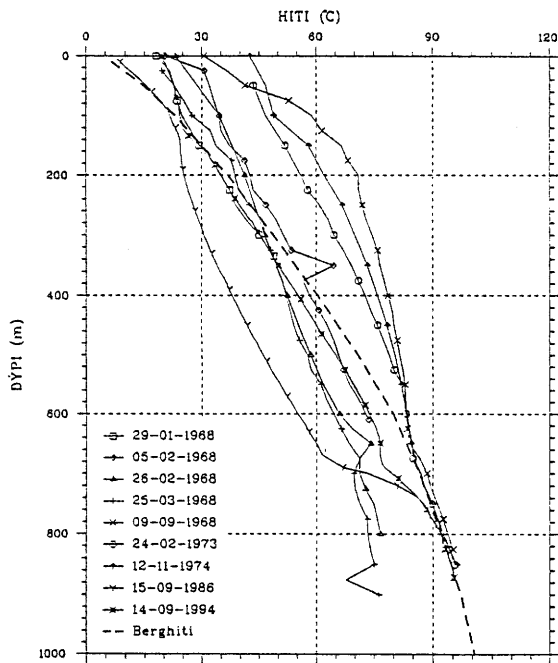
24 Nov 1995 ómar
L= 5023 Gracie



20. Berghiti holu RV-23, Blesugróf.

IS 24 Nov 1995 ómar
L= 5024 Órædic

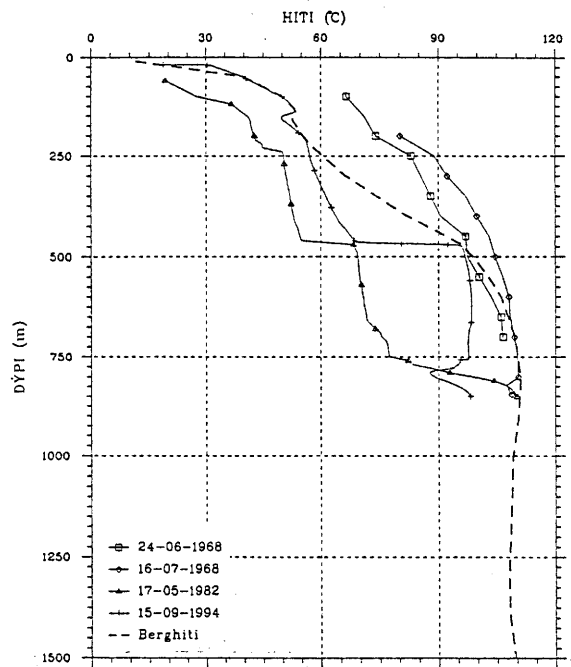
RV-24



21. Berghiti holu RV-24, Ártúni.

IS 24 Nov 1995 ómar
L= 5026 Órædic

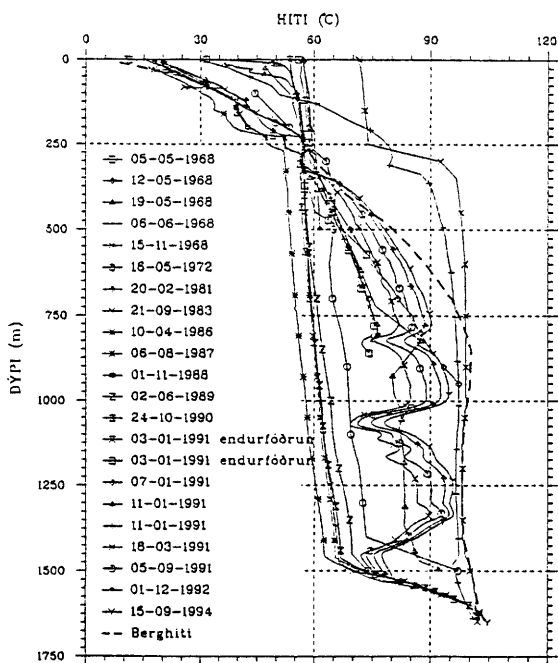
RV-26



23. Berghiti holu RV-26, Blesugróf.

IS 24 Nov 1995 ómar
L= 5025 Órædic

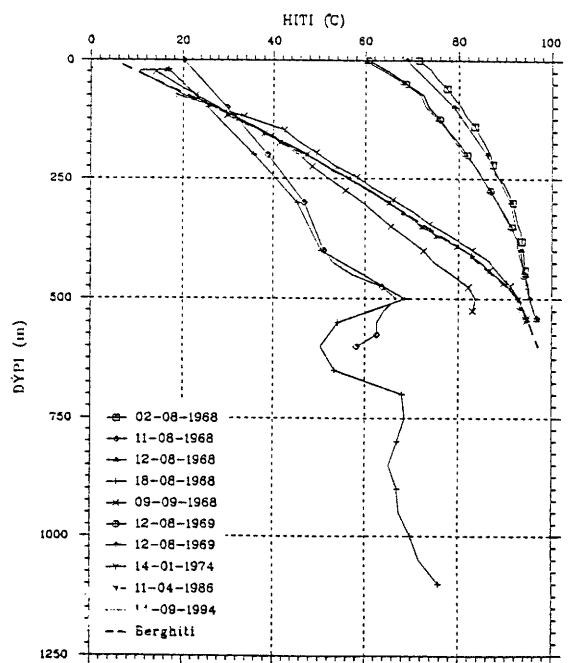
RV-25



22. Berghiti holu RV-25, Blesugróf.

IS 24 Nov 1995 ómar
L= 5027 Órædic

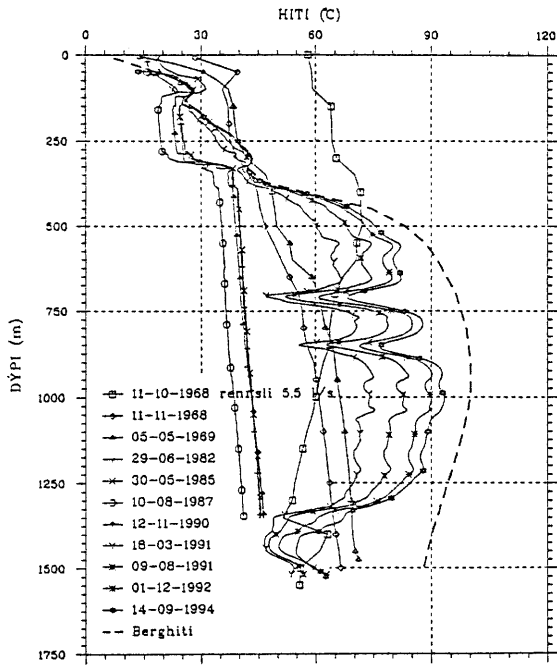
RV-27



24. Berghiti holu RV-27, Blesugróf.

24 Nov 1995 omar
L= 5028 Oracie

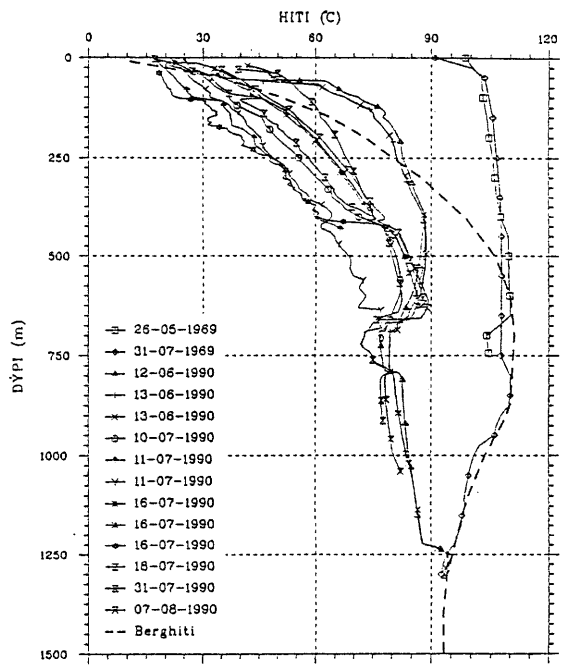
RV-28



25. Berghiti holu RV-28, Blesugrof.

24 Nov 1995 omar
L= 5030 Oracie

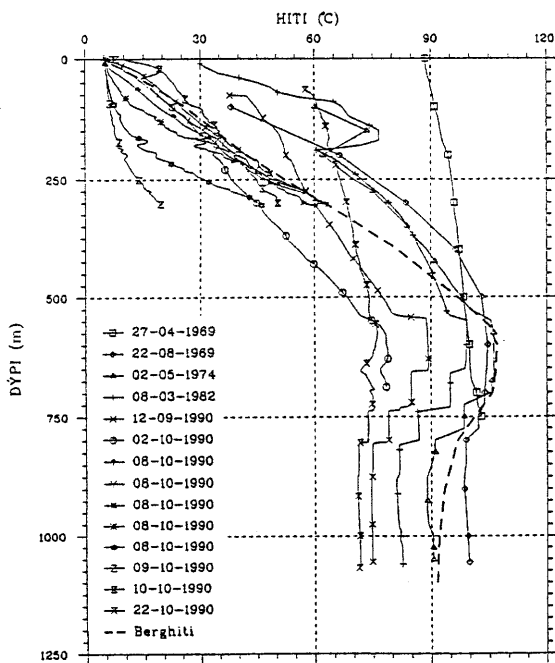
RV-30



27. Berghiti holu RV-30, Blesugrof.

24 Nov 1995 omar
L= 5029 Oracie

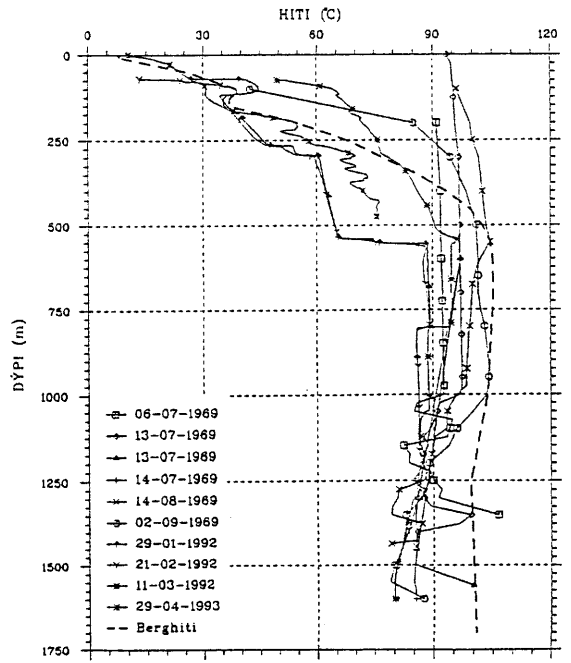
RV-29



26. Berghiti holu RV-29, Blesugrof.

24 Nov 1995 omar
L= 5031 Oracie

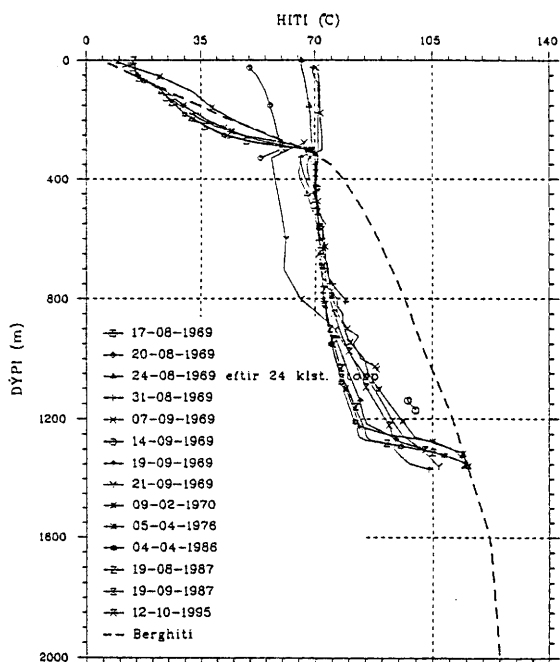
RV-31



28. Berghiti holu RV-31, Blesugrof.

24 Nov 1995 ómar
L = 5032 Oracie

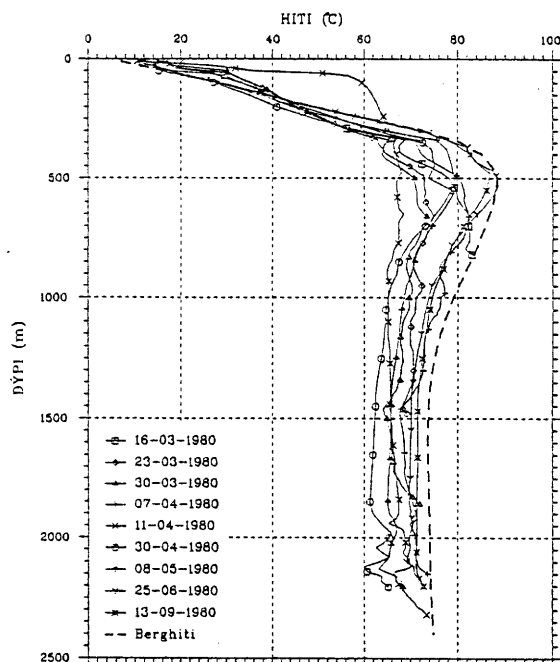
RV-32



29. Berghiti holu RV-32, Ártúnshöfða.

24 Nov 1995 ómar
L = 5036 Oracie

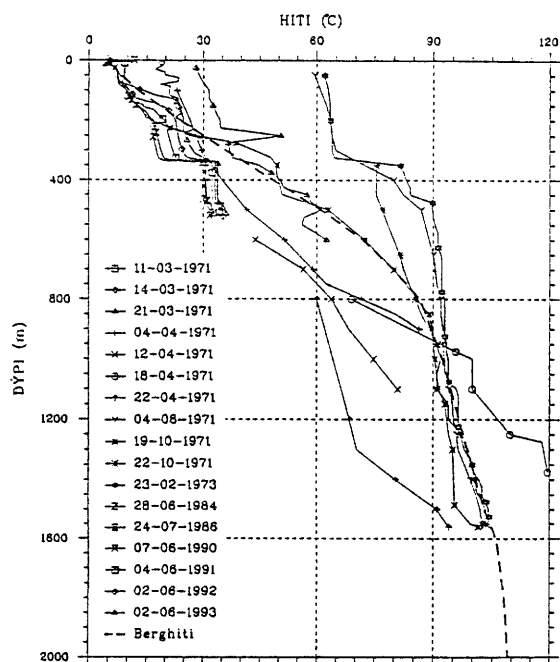
RV-36



31. Berghiti holu RV-36, Blesugróf.

24 Nov 1995 ómar
L = 5033 Oracie

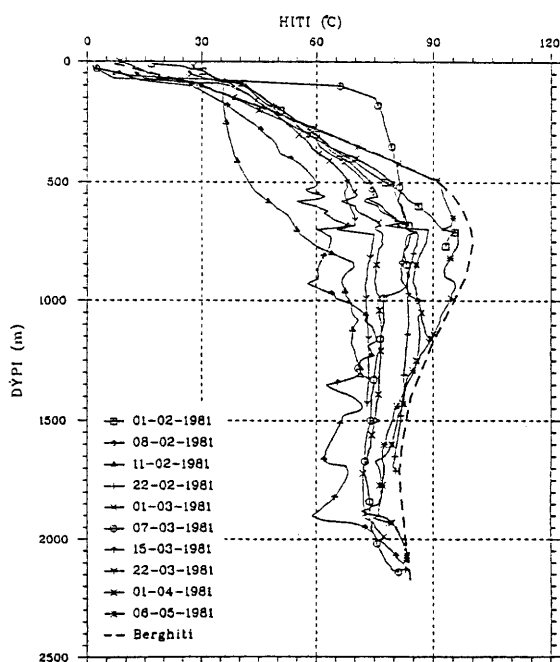
RV-33



30. Berghiti holu RV-33, Gröf.

24 Nov 1995 ómar
L = 5037 Oracie

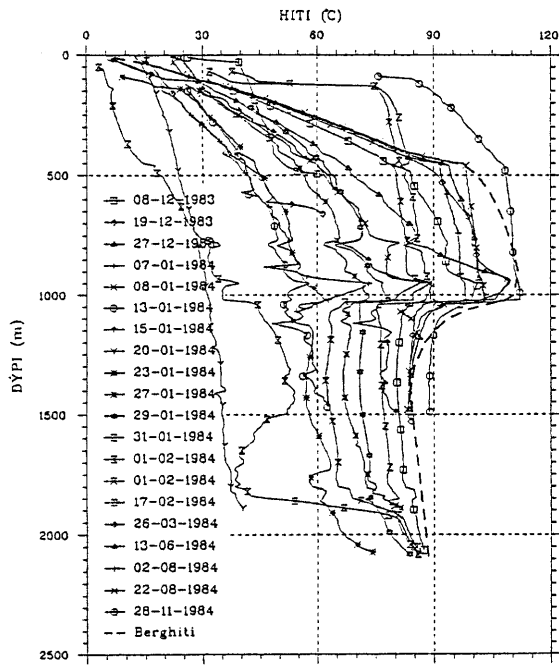
RV-37



32. Berghiti holu RV-37, Blesugróf.

24 Nov 1995 omar
L= 5039 Oracie

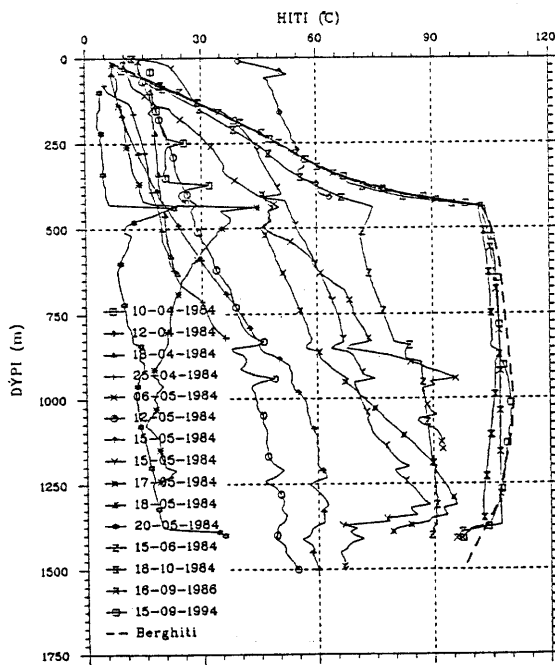
RV-39



33. Berghiti holu RV-39, Blesugróf.

24 Nov 1995 omar
L= 5041 Oracie

RV-41



34. Berghiti holu RV-41, Árbæ.

VIÐAUKI 2

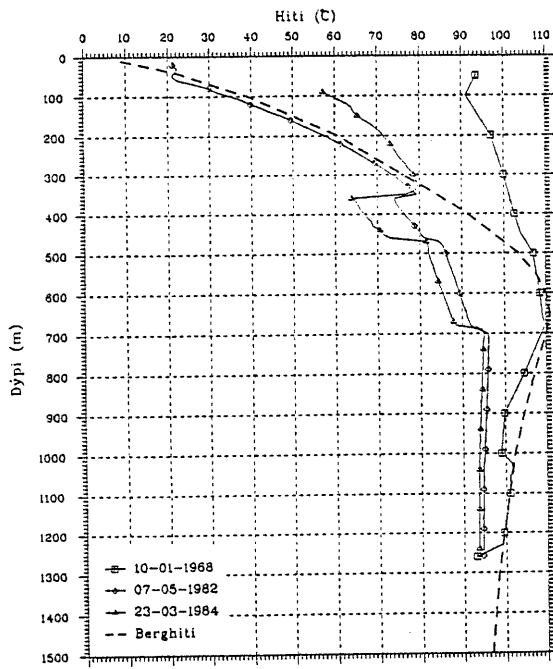
**Valdar hitamælingar úr djúpu holunum
Reiknaður jafnvægishiti í RV-25 og RV-28**

Tafla V1. Reiknaður jafnvæðishiti við holur RV-25 og RV-28.

Hóla RV-25		Hóla RV-28	
Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)
400	71,3	400	57,0
500	81,0	500	79,0
600	86,0	600	85,5
700	91,0	660	85,5
780	92,3	710	76,3
820	91,0	800	91,3
900	95,5	850	84,0
990	97,0	930	95,6
1070	82,0	1000	97,3
1140	93,0	1100	92,7
1200	96,4	1220	90,7
1300	96,7	1300	81,0
1400	88,5	1360	74,5
1450	80,6	1440	60,1
1520	83,0	1500	60,5

7 Dec 1995 ómar
L= 5023 Gracie

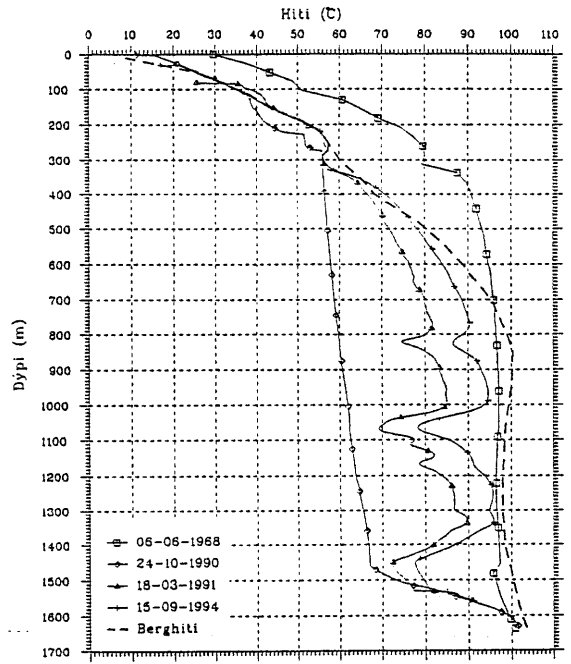
RV-23



1. Valdir hitaferlar úr holu RV-23.

7 Dec 1995 ómar
L= 5025 Gracie

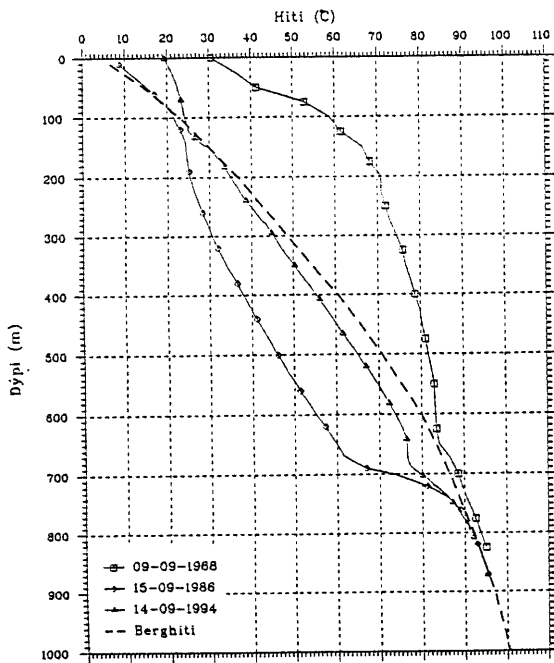
RV-25



3. Valdir hitaferlar úr holu RV-25.

7 Dec 1995 ómar
L= 5024 Gracie

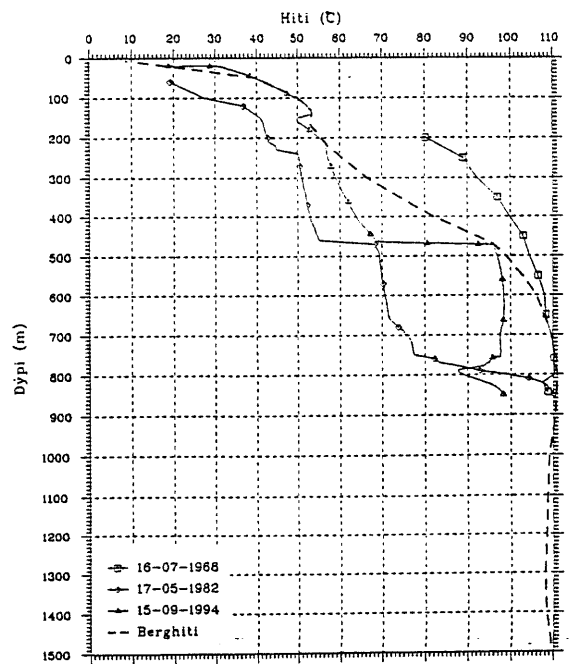
RV-24



2. Valdir hitaferlar úr holu RV-24.

8 Dec 1995 ómar
L= 5026 Gracie

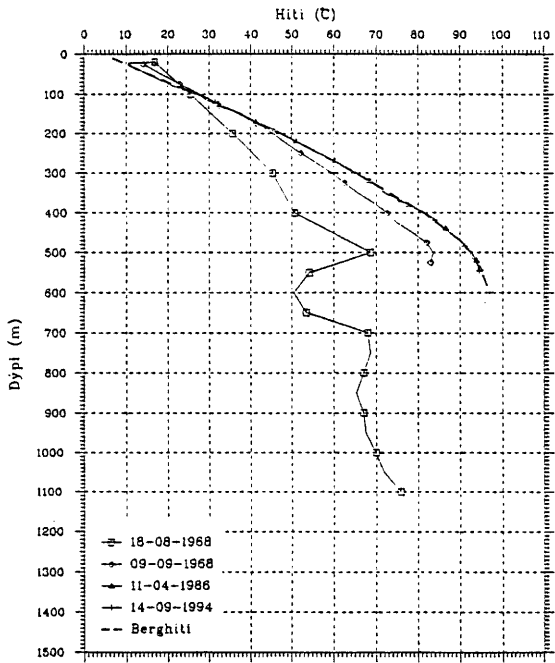
RV-26



4. Valdir hitaferlar úr holu RV-26.

7 Dec 1995 ómar
L= 5027 Gracie

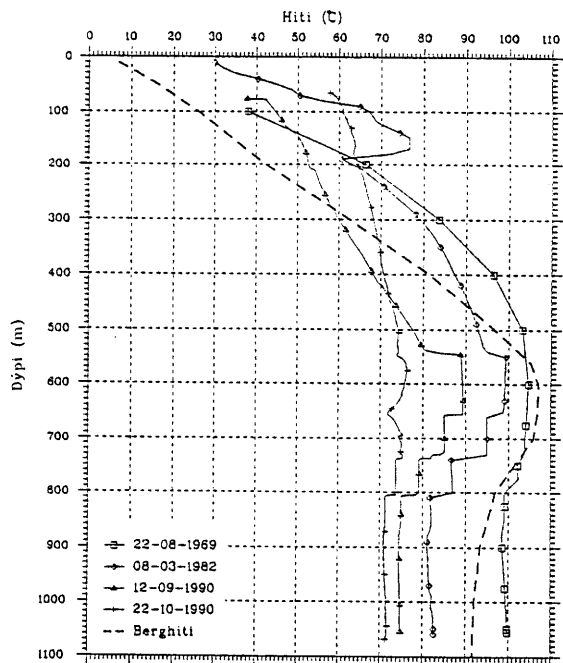
RV-27



5. Valdir hitaferlar úr holu RV-27.

7 Dec 1995 ómar
L= 5029 Gracie

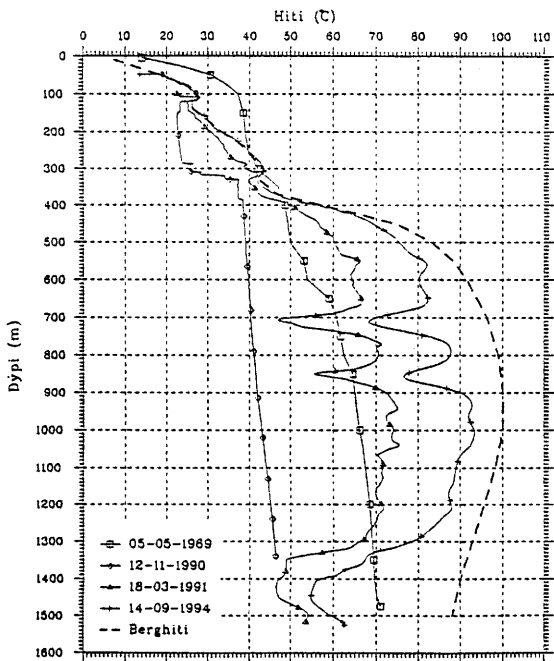
RV-29



7. Valdir hitaferlar úr holu RV-29.

7 Dec 1995 ómar
L= 5028 Gracie

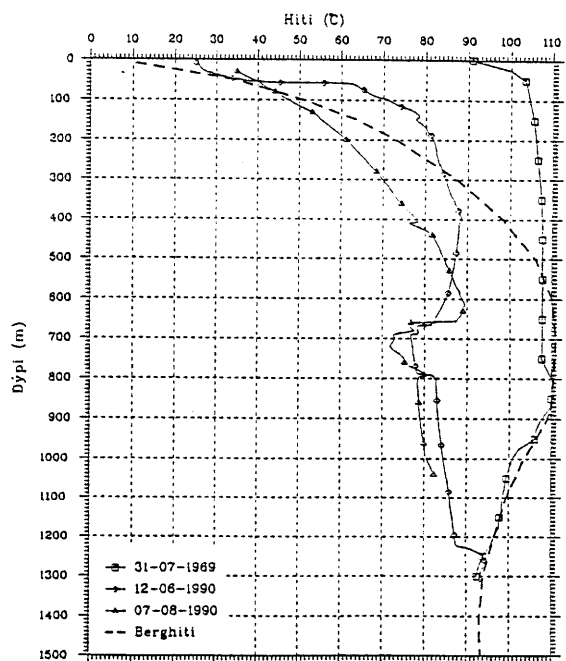
RV-28



6. Valdir hitaferlar úr holu RV-28.

7 Dec 1995 ómar
L= 5030 Gracie

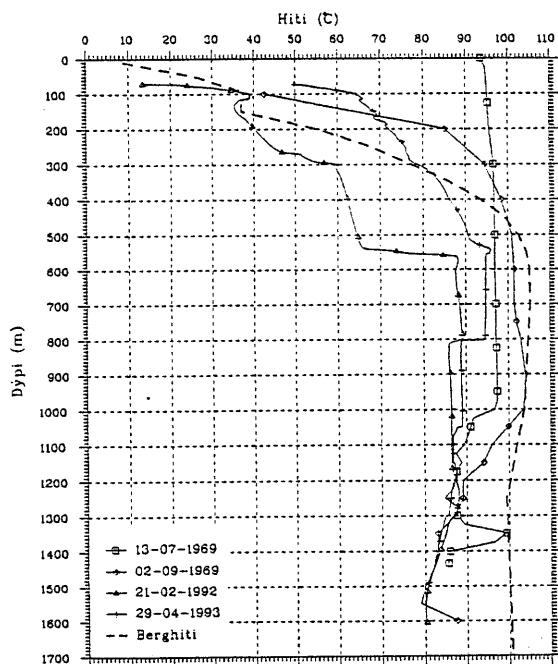
RV-30



8. Valdir hitaferlar úr holu RV-30.

7 Dec 1995 ómar
L= 5031 Óracle

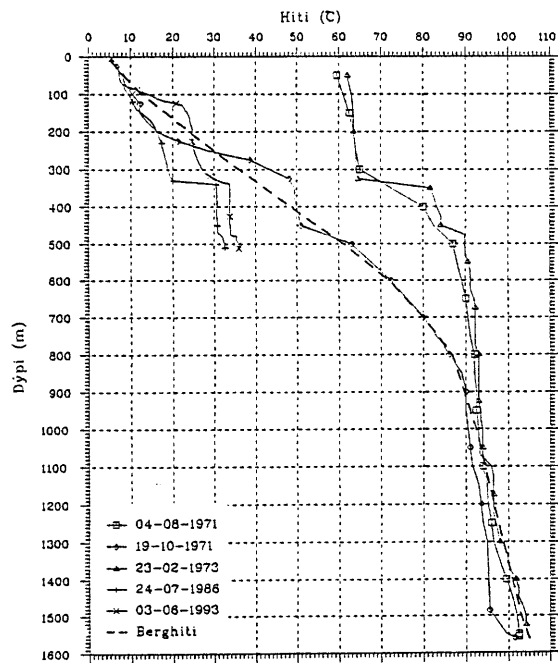
RV-31



9. Valdir hitaferlar úr holu RV-31.

8 Dec 1995 ómar
L= 5033 Óracle

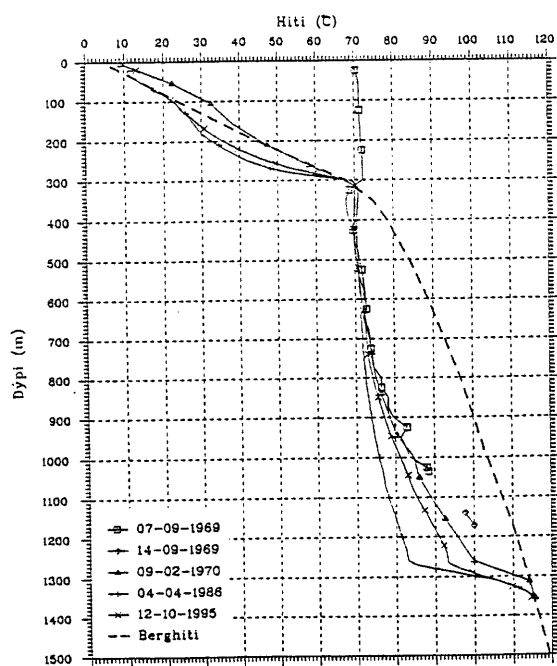
RV-33



11. Valdir hitaferlar úr holu RV-33.

7 Dec 1995 ómar
L= 5032 Óracle

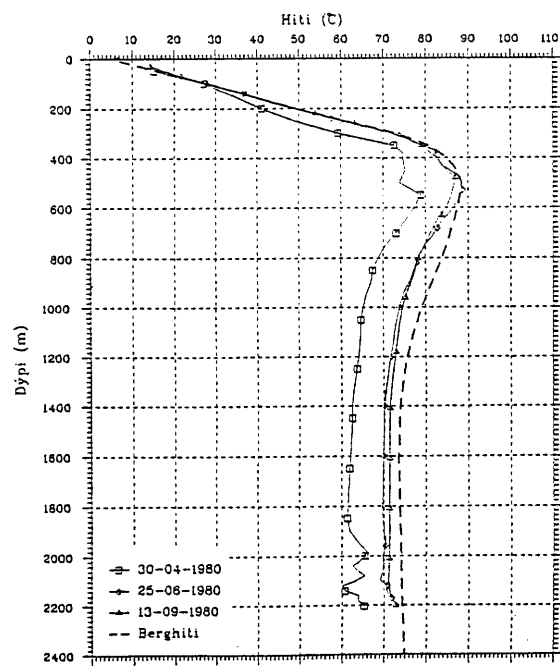
RV-32



10. Valdir hitaferlar úr holu RV-32.

8 Dec 1995 ómar
L= 5036 Óracle

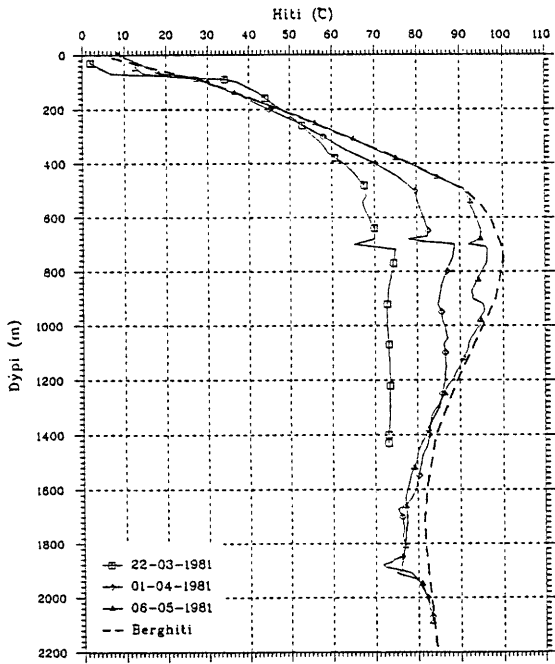
RV-36



12. Valdir hitaferlar úr holu RV-36.

7 Dec 1995 ómar
L= 5037 Órælie

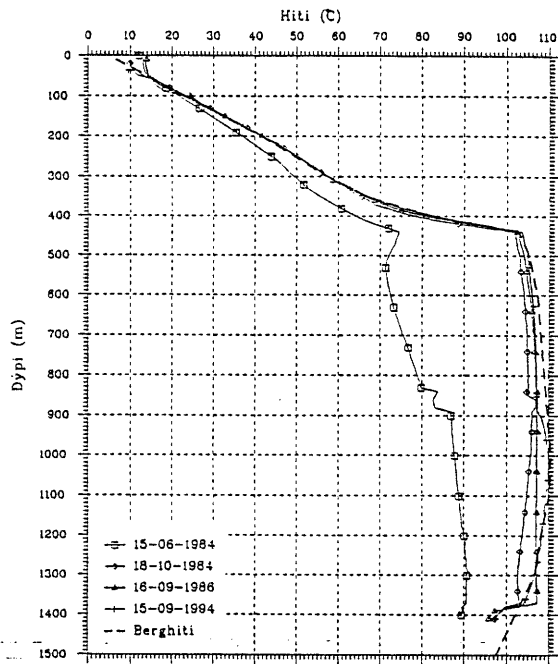
RV-37



13. Valdir hitaferlar úr holu RV-37.

7 Dec 1995 ómar
L= 5041 Órælie

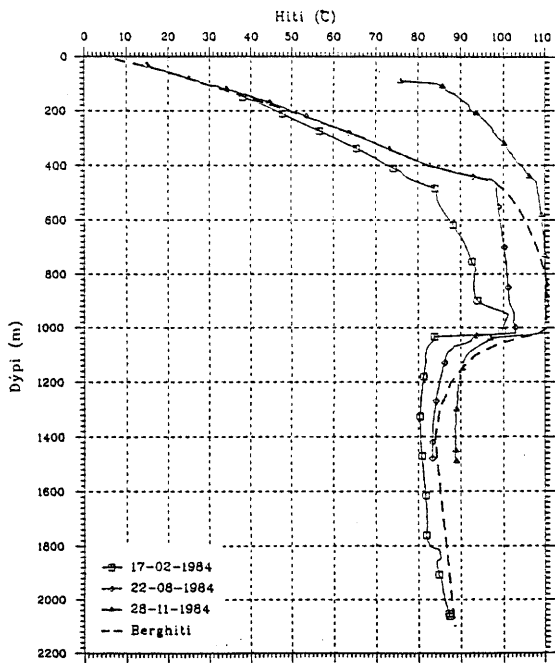
RV-41



15. Valdir hitaferlar úr holu RV-41.

7 Dec 1995 ómar
L= 5039 Órælie

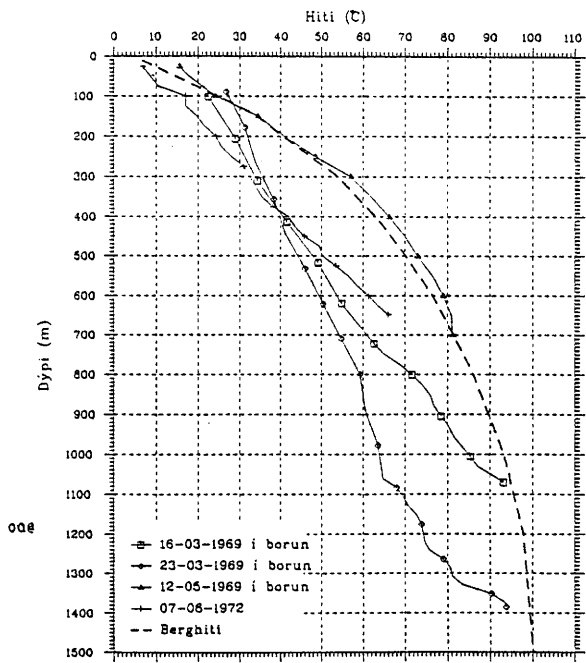
RV-39



14. Valdir hitaferlar úr holu RV-39.

7 Dec 1995 ómar
L= 9121 Órælie

KS-1



16. Valdir hitaferlar úr holu KS-1.