

# Hitaveita Rangæinga

Jarðhitaleit og virkjun nýs  
vinnslusvæðis í Kaldárholti



Hrefna Kristmannsdóttir  
Kristján Sæmundsson  
Guðni Axelsson

Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga

**2002**

**OS-2002/023**

OS-2002/023





**ORKUSTOFNUN**  
Rannsóknasvið

Verknr.: 8-610861

**Hrefna Kristmannsdóttir**  
**Kristján Sæmundsson**  
**Guðni Axelsson**

## **Hitaveita Rangæinga**

**Jarðhitaleit og virkjun nýs vinnslusvæðis**  
**í Kaldárholti**

**Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga**

**OS-2002/023**

**Mars 2002**

ISBN 9979-68-095-4

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ

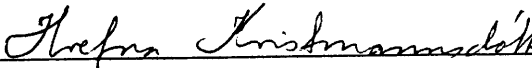
Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896

Akureyri: Háskólinn á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.

Sími: 463 0559 – Fax: 463 0560

Netfang: [os@os.is](mailto:os@os.is) – Veffang: <http://www.os.is>



<b>Skýrsla nr.:</b> OS-2002/023	<b>Dags.:</b> Mars 2002	<b>Dreifing:</b> <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> HITAVEITA RANGÆINGA Jarðhitaleit og virkjun nýs vinnslusvæðis í Kaldárholti.	<b>Upplag:</b> 25	
	<b>Fjöldi síðna:</b> 52	
<b>Höfundar:</b> Hrefna Kristmannsdóttir Kristján Sæmundsson Guðni Axelsson	<b>Verkefnisstjóri:</b> Hrefna Kristmannsdóttir	
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Jarðhitaleit/rannsókn vinnslusvæðis, yfirlit	<b>Verknúmer:</b> 8-610861	
<b>Unnið fyrir:</b> Hitaveitu Rangæinga		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Þrátt fyrir mikla fyrirhyggju og ráðdeildarsemi í rekstri Hitaveitu Rangæinga var svo komið á árinu 1998 að veitunni var nauðugur einn kostur að afla viðbótarorku tafarlaust. Leitin beindist í fyrstu einkum að nágrenni Laugalands og Kaldakinn austan við Laugaland. Sjónum var síðar beint að Kaldárholtssvæðinu þar sem voru boraðar 27 leitarholur uns vinnsluholan KH-36 var endanlega boruð 1999. Nýting Kaldárholtssvæðisins hófst þann 21. janúar 2000 og hefur gjörbreytt til hins betra öllum forsendum fyrir rekstri Hitaveitu Rangæinga. Vatnið er talið að flestu leyti ágætt til vinnslu, en ekki drykkjarhæft vegna hás flúorstyrks og ekki er talin hætta á að það valdi tæringu né útfellingum eitt sér né við blöndun við Laugalandsvatn. 30 l/s dæling úr aðalvinnsluholunni KH-36 veldur lítilli áraun á svæðið og árið 2001 fór vatnsborð í holu KH-36 lægst í 25 m dýpi þegar vinnslan var mest, en hæst fór það upp að yfirborði.		
<b>Lykilorð:</b> Jarðhitaleit, hitastigulsboranir, vinnslueiginleikar, orkuöflun, lekt, berghiti	<b>ISBN-númer:</b> 9979-68-095-4	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> 	
	<b>Yfirfarið af:</b> HK, KS, HÁ, BRJ	



## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR.....	7
2. FYRSTI ÁFANGI JARÐHITALEITAR 1998.....	9
2.1. Nágrenni Laugalands .....	12
2.2. Svæðið milli Laugalands og Suðurlandsvegur .....	12
2.3. Kaldakinn .....	13
2.4. Niðurstöður.....	15
3. SÍÐARI ÁFANGI JARÐHITALEITAR Í KALDÁRHOLTI.....	16
3.1. Fyrstu boranir .....	16
3.2. Jarðlög .....	16
3.3. Vatnsgengd.....	17
3.4. Hiti .....	17
3.5. Hóla 36 og horfur um framhald .....	19
4. VINNSLUEIGINLEIKAR JARÐHITAKERFISINS Í KALDÁRHOLTI.....	21
4.1. Efnasamsetning vatns í Kaldárholti .....	21
4.2. Um afköst jarðhitakerfisins í Kaldárholti .....	25
5. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR .....	28
6. HEIMILDIR .....	30
VIÐAUKI 1: Hitamælingar í leitarholum.....	33

## TÖFLUR

Tafla 1. Yfirlit yfir borholur úr fyrsta leitaátaki í nágrenni Laugalands.....	11
Tafla 2. Hitastigull í leitarholum í fyrra leitarátaki Hitaveitu Rangæinga í nágrenni Laugalands. ....	15
Tafla 3. Yfirlit yfir leitarholur boraðar í Kaldárholti.....	18
Tafla 4. Efnasamsetning heilsýna af jarðhitavatni frá Kaldárholti. ....	21
Tafla 5. SiO <sub>2</sub> og Cl styrkur í hlutsýnum frá holum KH-17 og KH-34 .....	22

## MYNDIR

Mynd 1. Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982 ársloka 2000.....	8
Mynd 2. Kort yfir svæðið milli Laugalands í Holtum og Kaldárholti.....	10

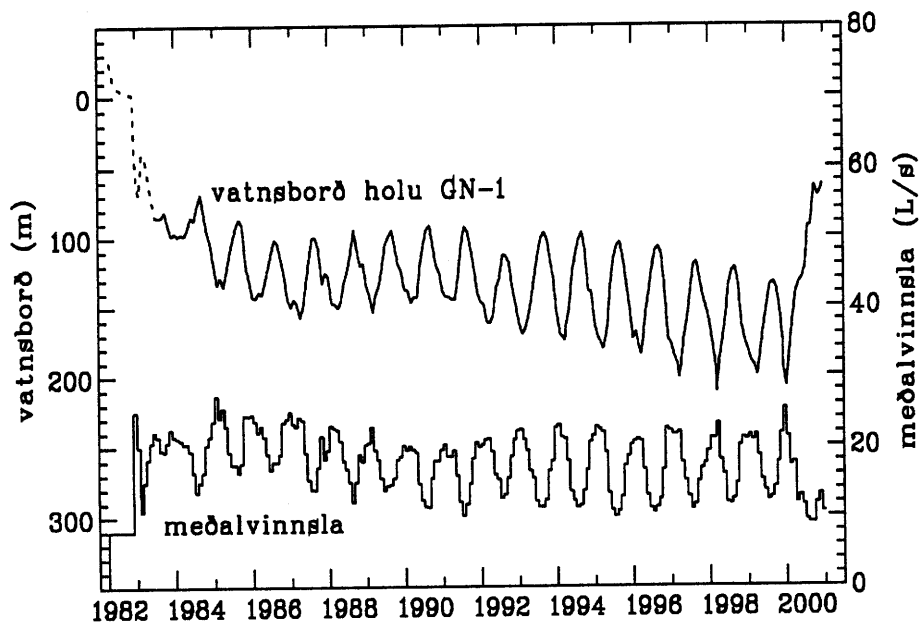
Mynd 3. Staðsetning hitastigulsholna í fyrri hluta jarðhitaleitarátaks Hitaveitu Rangæinga í nágrenni Laugalands. ....	14
Mynd 4. Hitasnið um holuröð norðan við Litlutungu. ....	15
Mynd 5. Jarðhitakort af K aldárholtssvæðinu þar sem sýnd er staðsetning lauga, rannsóknarholna og vinnsluholu og líkleg vatnsleiðandi sprunga.....	20
Mynd 6. Hitasnið gegnum Kaldárholtssvæðið byggt á hitamælingum í leitarholum....	20
Mynd 7. Na-K-Mg þríhyrningslínurit. ....	22
Mynd 8. Flokkun vatns eftir hlutfallslegum styrk anjóna.....	23
Mynd 9. Log Q/K.....	24
Mynd 10. Mælt og áætlað samband rennslis og vatnsborðs í holu KH-36 í Kaldárholti byggt á stuttri prófun í borlok auk prófana holna KH-34 og 35.....	26
Mynd 11. Vikumeðalvinnsla og vikulegar vatnsborðsmælingar í holu KH-36 í Kaldárholti fyrstu tvö ár vinnslu úr holunni. ....	27

## 1. INNGANGUR

Hitaveita Rangæinga þjónar Hellu, Hvolsvelli, Rauðalæk, Laugalandssvæðinu og allmörgum bæjum á veituleiðinni. Hún var stofnuð formlega árið 1981 og fyrstu húsin voru tengd haustið 1982. Strax í upphafi urðu talsverðir erfiðleikar vegna bilana djúpdælna og einnig reyndist vinnslusvæði veitunnar að Laugalandi mun afkastamínna en vonir stóðu til. Forsenda þess að veitan væri hagkvæm var að leggja aðveituæð úr asbesti, en það þýddi verulegt varmatap á leiðinni. Hönnunarforsendur gerðu því ráð fyrir að dælt væri verulega umfram notkun upp úr svæðinu til að halda uppi vatnshita á Hvolsvelli. Í nærfellt tvo áratugi vann hitaveitan aðallega úr einni borholu á Laugalandi í Holtum, holu LWN-4, en hafði aðra holu, GN-1, til vara. Vinnslan reyndi mjög á svæðið og lá við vatnsskortir í kuldaköstum á vetrum. Í ljós kom að vinnslusvæðið á Laugalandi stóð ekki undir nema um 17 l/s meðalvinnslu með verulegum niðurdrætti. Jafnframt varð verulegt varmatap í asbestleiðslunni og því örðugt að halda uppi nægilegum hita á Hvolsvelli. Aukinni notkun var mætt með ýmsum orkusparandi aðgerðum, betri einangrun á lögnum, hluti dreifikerfis var tvöfaldaður og farið var að selja vatn samkvæmt magnmælum. Einnig var settur upp rafskautsketill á Hvolsvelli 1988 þar sem vatnið var hitað upp ásamt bakrásarvatni.

Þrátt fyrir mikla fyrirhyggju og ráðdeildarsemi í rekstri veitunnar var fyrirsjáanlegt að til frekari orkuöflunar þyrfti að koma um eða fljótlega eftir aldamót. Niðurstöður hermi-eikninga sýndu að þá mundi svæðið ekki lengur standa undir 17 l/s vinnslu, hvað þá aukningu. Mjög ítarleg úttekt á mögulegum kostum til orkuöflunar var gerð 1993 (Grímur Björnsson o.fl. 1993).

Litið var m.a. til frekari orkuöflunar á Laugalandi með borunum eða niðurdælingu, frekari rafhitunar, endurnýjunar aðveituæðar og mögulegra nýrra vinnslusvæða, bæði nálægri lágheatasvæða og háheatasvæðisins í Reykjadalum við Torfajökul. Niðurstaðan var sú að ekki væri neinn augljós valkostur til frekari orkuöflunar. Mikill kostnaður var samfara flestum valkostum og miðað við fjárhagsstöðu veitunnar var óhægt um vik að ráðast í umfangsmiklar og dýrar rannsóknir, sem auk þess voru bundnar talsverðri óvissu. Þeir valkostir sem einna minnst áhætta var bundin eins og niðurdæling volgs vatns í Laugalandssvæðið eða bein nýting slíks vatns voru jafnframt þeir sem taldir voru skila minnstum árangri eða vera einungis skammtímalausnir. Var því beðið átektá með slíkar framkvæmdir en haldið áfram að tvöfalda veitukerfi eftir föngum og að endurnýja hluta aðveitunnar með stállögn. Jafnframt sinni veitan ýmsum rannsóknum sem miðuðu að frekari orkuöflum eins og t.d. jarðhitarrannsóknum á Núpi í Fljótshlíð 1992 (Kristján Sæmundsson o.fl. 1992; Jens Tómasson 1993) og hitastigulsborunum sunnan Rauðalæks haustið 1997, en þær skiluðu ekki tilætluðum árangri. Veitan varð því að mæta allri aukningu með orkusparandi aðgerðum og stóð jarðhitavinnslan í stað frá árinu 1992 eins og fram kemur á mynd 1. Afkoma veitunnar á árunum þar á eftir ásamt kröfum um lækun hárrar gjaldskrár olli því að hún sá sér ekki fært að leggja í dýr og áhættusöm jarðhitaleitarverkefni, enda talið að ráðrúm gæfist einhver ár fram yfir aldamót áður en vatnsskortur yrði.



Mynd 1. Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982 til ársloka 2000.

Þrátt fyrir að vinnslan stæði í stað hélt vatnsborð áfram að lækka hægt og sígandi. Líkanið, sem notað var til að herma vatnsborðsbreytingar á Laugalandssvæðinu var endurskoðað í ársbyrjun 1993 og í lok árs 1996 (Grímur Björnsson 1993; Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1996).

Í miklu kuldakasti í febrúar 1998 fór vatnsborð neðar en búist hafði verið við og við endurskoðun á líkanreikningum í kjölfarið var ljóst að líkanið náði ekki að herma viðbrögð svæðisins við mjög mikilli vinnslu (Guðni Axelsson 1998a). Ástæðan er væntanlega sú að vatnsleiðandi sprungur þrengjast þegar niðurdráttur er orðinn mjög mikill og vatnsþrýstingurinn hefur lækkað verulega. Þetta er eina þekkta dæmið um slíka hegðun jarðhitakerfis héraendis. Með breyttum forsendum sýndu hermireikningar að vatnsborð gæti farið niður í allt að 240 m árið 1999, ef veðurfar yrði mjög óhagstætt og því ljóst að grípa þurfti tafarlaust til aðgerða til frekari vatnsöflunar. Ekki var talið mögulegt að reka holurnar við lægra vatnsborð en 230 m svo að ljóst var að lítið ráðrúm var til orkuöflunar og Hitaveitu Rangæinga nauðugur einn kostur að afla viðbótarorku þegar í stað. Af þessum sökum var gerð ný úttekt á mögulegum orkuöflunarkostum veitunnar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1998) og farið yfir líkur á árangri, áhættu og kostnað. Athugaðir voru möguleikar á niurdælingu í Laugalandssvæðið og metin möguleg vatnsvinnsla úr holu 3 á Laugalandi. Jafnframt var hafið umfangsmikið jarðhitaleitaráttak í nágrenni Laugalands, og að lokum í Kaldárholti. Í þessari skýrslu er gefið yfirlit um gang jarðhitaleitarinnar. Fjallað er um upphaf jarðhitaleitar á ýmsum stöðum í nágrenni Laugalands og síðan um jarðhitaleitina í Kaldárholti og niðurstöður þeirra rannsókna, sem eru meginefni skýrslunnar. Gerð er ítarleg grein fyrir vinnslueiginleikum jarðhitasvæðisins í Kaldárholti sem nú hefur verið virkjað fyrir Hitaveitu Rangæinga.

## 2. FYRSTI ÁFANGI JARÐHITALEITAR 1998

Í febrúar 1998 þegar þessi staða var ljós og jafnframt að hitastigulsboranir sem hitaveitan hafði staðið fyrir við Rauðalæk haustið 1997 skiluðu ekki árangri voru gerðar tillögur um skipulega jarðhitaleit á þeim svæðum í nágrenni Laugalands sem talin voru koma til greina (Kristján Sæmundsson 1998).

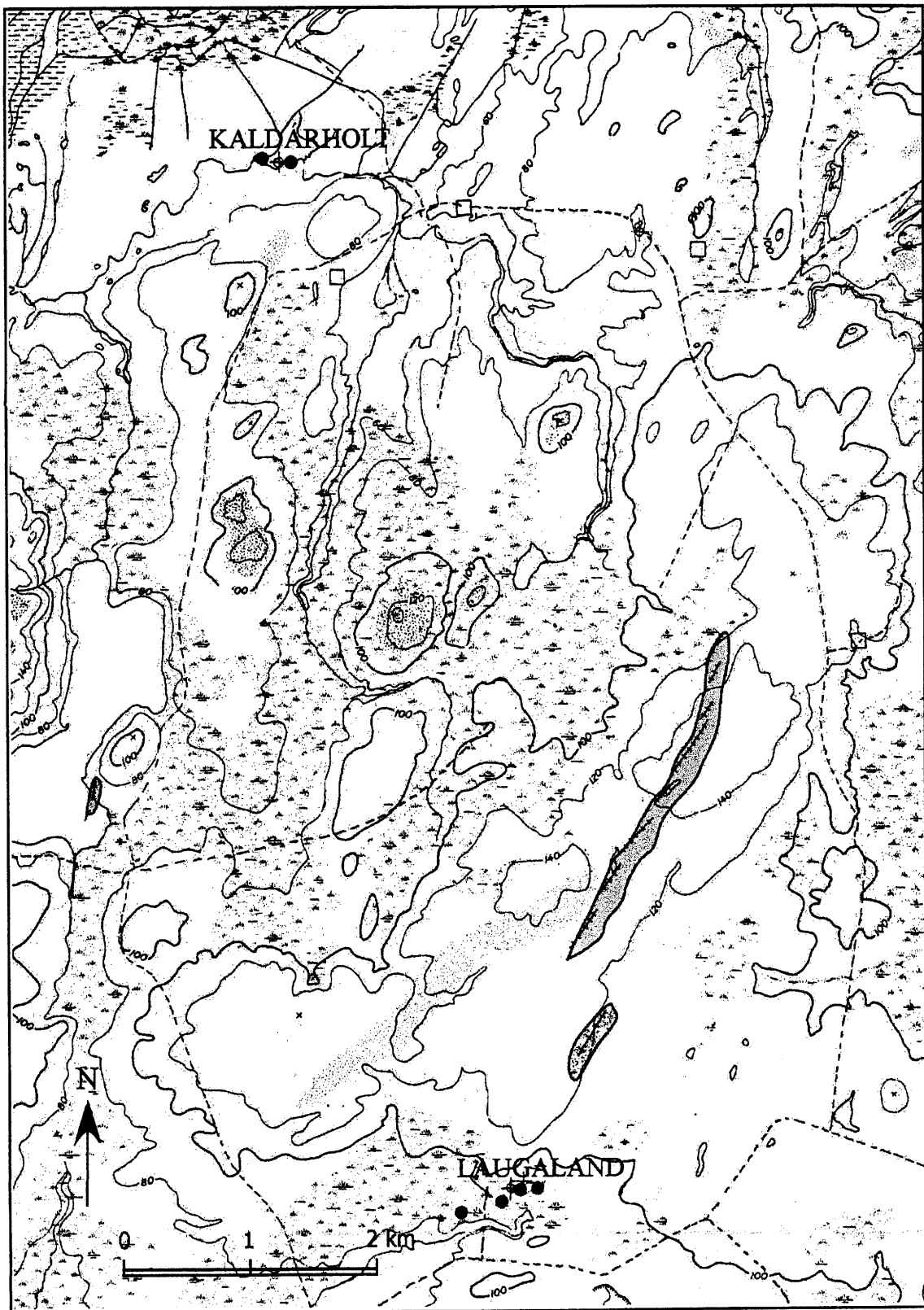
Í fyrsta áfanga jarðhitaleitar fyrir Hitaveitu Rangæinga í ársbyrjun 1998 (Kristján Sæmundsson 1998) beindist leitin einkum að þremur svæðum (mynd 2):

1. Nágrenni Laugalands
2. Svæði milli Laugalands og Suðurlandsvegur
3. Köldukinn austan við Laugaland

Við leitina var beitt hitastigulsborunum og reyndist nauðsynlegt að bora um 100 m djúpar holur. Nokkrar eru þó grynri auk þess sem ein er 150 m (í Köldukinn). Jarðlög eru fremur óhagstæð fyrir slíka leit þar sem bora þarf niður úr grágrýti og setlögum í tertíera blágrýtið til að sjá marktækan hitastigul. Skilin þarna á milli eru víðast hvar á 70–80 m dýpi. Í upphafi leitar var mið tekið af sýnilegum sprungum og jarðhitaummerkjum sem vitað var um eða sagnir voru um. Slíkt sést einungis suður á móts við Laugaland, en þangað nær einnig meginskjálftabelti Suðurlands (mynd 1). Sunnan Laugalands sjást hvorki sprungur né jarðhitaummerki, en smáskjálftar sjást í stöku þyrpingum, þannig að brotavirkni nær lengra suður. Varðandi leit að nýju borsvæði sunnan Laugalands var lágmarkskrafa sett við 160°C/km stigul, sem er um það bil tvöfaldur svæðisstigullinn. Þá er nokkuð víst um staðsetningu jarðhitakerfis, en óvíst um hita í því.

Nokkrar hitastigulsholur höfðu verið boraðar á þessu svæði áður en kom til þeirrar jarðhitaleitar sem hér er lýst. Þær sýndu nokkuð jafnan hitastigul kringum 80°C/km (Lyngás, Hella, Árbæjarfoss). Hóla í Litlutungu var þó heldur heitari með 96°C/km-stigul. Það voru einkum sú hola og NA-SV skjálftaþyrping milli Þykkvabæjar og Rauðalækjar sem gaf tilefni til að kanna svæðið sunnan Laugalands.

Alls voru boraðar 17 holur í fyrsta áfanga auk tveggja grunnra sem urðu ónýtar (tafla 1, mynd 2). Margar af holunum eru vatnsgefandi í grágrýtinu og setlögnum undir því. Í þeim flestum ber á millirennslu milli æða og þá einkum úr þeim efri í þær neðri. Eftir að kemur í blágrýtið eru holurnar flestar þéttar og sýna þar réttan berghita og þar með stigul þann sem eftir er leitað. Nokkrar af holunum lentu í vatnsæðum niðri í blágrýtinu. Það á einkum við um holu 10 Hallstúni, holu 12 í Brekknalandi og holu 14 í Litlutungulandi.



**Mynd 2.** Kort yfir svæðið milli Laugalands í Holtum og Kaldárholti. Helstu hverir og laugar á Laugalandi og Kaldárholti eru sýnd með deplum. Einnig eru helstu sprungusvæði sýnd á kortinu.

Tafla 1. Yfirlit yfir borholur úr fyrsta leitarátaki í nágrenni Laugalandis.

Staður	Bor	Frá	Til	Verkkaupji	Holunafn	Dýpi	Svæði	X	Y	Fóðring
83601	89	7.1.1998	8.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-01	57,0	Brekkur	620.676,1	376.134,5	3"/6 m
83602	89	8.1.1998	8.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-02	60,0	Efri Rauðalækur	622.575,4	377.276,7	3"/9 m
83603	89	9.1.1998	9.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-03	105,0	Efri Rauðalækur	622.575,4	377.276,7	3"/33 m
83604	89	12.1.1998	12.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-04	78,0	Marteinstunga	619.594,7	380.992,4	3"/33 m
83605	89	13.1.1998	13.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-05	60,0	Marteinstunga	618.920,8	379.357,4	3"/15 m
83606	89	14.1.1998	14.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-06	81,0	Gata	618.026,5	382.369,4	3"/6 m
83607	89	14.1.1998	15.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-07	81,0	Nefsholt	618.585,6	382.196,6	3"/24 m
83607	89	29.1.1998	29.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-07	105,0	Nefsholt	618.585,6	382.196,6	3"/24 m
83608	89	17.1.1998	22.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-08	152,5	Kaldakinn	614.447,8	381.582,1	3"/54 m
83609	89	27.1.1998	27.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-09	90,0	Brekkur	620.764,6	377.441,2	4"/6 m
83610	89	28.1.1998	28.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-10	96,0	Hallstún	617.752,8	381.805,6	4"/6 m
83611	89	30.1.1998	30.1.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-11	9,0	Brekkur	619.884,2	378.051,0	4"/6,5 m
83612	89	30.1.1998	2.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-12	105,0	Brekkur	619.884,2	378.051,0	3"/43 m
83613	89	3.2.1998	6.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-13	105,0	Brekkur	620.253,2	377.666,9	3"/24 m
83614	89	6.2.1998	10.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-14	114,0	Litlatunga	619.034,3	377.897,0	3"/42 m
83615	89	12.2.1998	10.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-15	105,0	Litlatunga	618.232,9	378.022,2	4"/8 m
83616	89	18.2.1998	19.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-16	93,0	Bjálmholt	619.253,5	377.619,4	4"/9,15 m
83617	89	20.2.1998	22.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-17	105,5	Marteinstunga	619.056,5	380.716,1	3"/18 m
83618	89	23.2.1998	23.2.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-18	90,0	Marteinstunga	618.420,8	379.333,8	3"/33 m
83619	25	22.3.1998	1.4.1998	Hitaveita Rangæinga	HR-19	258,3	Hallstún	617.759,8	381.653,1	10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "/36 m
82791	89	26.1.1998	26.1.1998	Filippus Björgvinsson	ÖL-01	63,0	Ölvisholtshjáleiga	616.676,8	379.150,6	4"/6 m
83453	23	22.7.1994	31.7.1994	Pórir Sveinbjörnsson	LA-03	145,0	Efri-Rauðalækur	618.874,1	373.996,2	3"/3 m
83551	89	3.10.1995	3.10.1995	Vilhjálmur Þórarinnsson	LT-01	60,0	Litlatunga	618.849,0	376.648,7	3"/3 m



## 2.1. Nágreppi Laugalands

Í nágreppi Laugalands voru boraðar 4 holur (mynd 3). Holur 6 og 7 (í Nefsholti) eru norðan við jarðhitasvæðið nærri sprungum sem þar sjást. Hóla 7 sýnir svæðisstigulinn  $83^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , en hóla 6 er óeðlilega köld. Þar gætir líklega góðrar lektar í virku sprungunum, þ.e. sama sprungukerfinu og Laugalandskerfið tengist. Hóla 6 er um það bil 1 km NNA frá vinnslusvæðinu og ljóst að jarðhitauppstreymi nær ekki þangað þótt sprungur nái þangað og heitt vatn gæti tengst henni á miklu dýpi (neðan 1000 m). Hóla 4 (í landi Marteinstungu) er um það bil 1300 m í VSV frá vinnslusvæðinu, en talið var hugsanlegt að sprunga með þá stefnu lægi frá Laugalandi þangað vestur. Holan sýndi um  $90^{\circ}\text{C}/\text{km}$  stigul sem bendir ekki til að uppstreymið teygist í þá áttina. Berghitinn í holunni svarar til þess sem vænta mætti í útjaðri jarðhitakerfis. Hóla 10 (í Hallstúni) er um 700 m ANA frá vinnslusvæðinu. Hún reyndist mjög lek og köld. Hin mikla lekt tengist líklega sprungum. Ekki verður á þessu stigi séð hvort stefna hennar er NNA-SSV eða ANA-VSV, en þannig liggja jarðskjálftasprungur á þessu svæði. Þessar holur benda til að Laugalandskerfið nái skammt út frá núverandi vinnslusvæði til V, N og A.

## 2.2. Svæðið milli Laugalands og Suðurlandsveggar

Fyrstu tvær holurnar í þessu leitarátaki voru boraðar við Suðurlandsveginn, önnur (hóla 1) á móts við afleggjarann að Brekkum, hin (hóla 3) í landi Meiritungu, skammt austan við Vegamót. Brekknaholan sýndi sama hitastigul og gamla holan í Litlutungu ( $96^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ). Vegamótaholan gaf aftur á móti svæðisstigulinn ( $85^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ). Þessi niðurstaða varð tilefni til að kanna svæðið nánar til norðurs frá heitari holunum. Tvær holur voru boraðar í því skyni upp með hitaveitulögninni, hóla 5 norðan við Hestaklett og hóla 9 austan við Völlinn. Hóla 5 reyndist kaldari, með um  $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$  stigul. Hins vegar má ráða af henni að Laugalandskerfið nái suður undir heiðina austan við Lýting og ýtti hún undir frekari könnun þar, eins og lagt hefur verið til með hólunni austan við Lýting. Hóla 9 kom út með  $117^{\circ}\text{C}/\text{km}$  stigul. Framhaldið varð því frekari leit út frá henni með holum 12, 13 og 14 (mynd 3). Hóla 12 lenti í miklu vatni og sprungu að því er borstjóri taldi. Hiti í henni ber þessa merki. Berghiti í 90 m er einungis  $6-7^{\circ}$ . Þar neðan við kemur holan út með um  $160^{\circ}\text{C}/\text{km}$  stigul á 15 m kafla í þéttu bergi, en hiti í botni (á 105 m dýpi) er einungis  $9^{\circ}\text{C}$ . Stigullinn er tæpast marktækur, því öflugt kaldavatnskerfi er þarna á ferðinni og gæti náð töluvert dýpra ef lektin tengist sprungu.

Hóla 13 er um 500 m SSV frá hólunni 12. Með henni var ætlunin að fá í senn hitastigul í sprungustefnu SV frá hólunni 12 og til vesturs frá hólunni 9. Leit út frá henni miðaðist við að fá A-V-hitasnið með fleiri holum í röð og með hæfilegu millibili. Hóla 13 gaf hitastigul upp á  $89^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , og var þannig töluvert kaldari en hóla 9. Hóla 14 var þá boruð austan við hólunni 9 í Litlutungulandi. Hún reyndist mjög lek niðri í blágrýtinu, en þó heitari en hóla 9. Hiti í botnæð er rúmar  $16^{\circ}\text{C}$ . Það svarar til um  $125^{\circ}\text{C}/\text{km}$  stiguls. Nokkurt rennsli er úr holunni af rúmlega  $14^{\circ}\text{C}$  heitu vatni. Framhaldið var borun hólunni 15 enn austar. Borun hennar lauk þ. 13.2.1998, og var hún hitamæld þ. 17.2. 1998. Hitastigull í henni er  $83^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Svæðisstigullinn austar er töluvert lægri eða um  $70^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , sem fram kemur í borholum í Ölvisholtshjáleigu og þar austur af. Með þessum 4 holum (9, 13, 14 og 15) fékkst hitasnið yfir 2 km breiða spildu þar sem vísbending sást um hitahámark milli hóluna 9 og 14 (mynd 4). Þar var hóla 16 boruð, en reyndist kaldari, með um

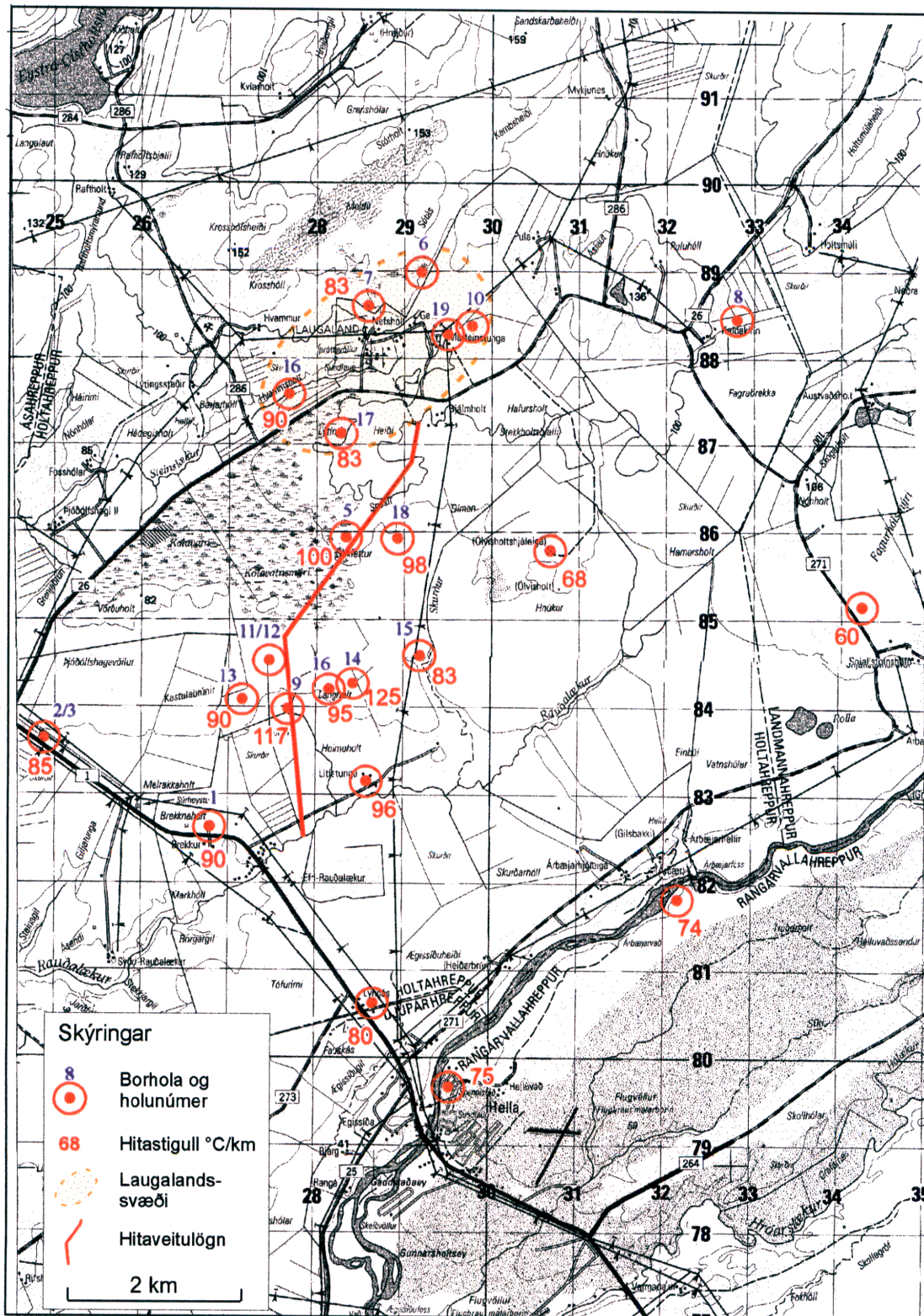
90°C/km-stigul. Það kom nokkuð á óvart, og varð til þess að frekari leit á grundvelli hitasniðsins var hætt. Síðustu leitarholurnar, nr 17 og 18, voru boraðar austur af Hestakletti og vestan við Lýtinginn. Við Hestaklett hafði fundist um 100°C/km-stigull og þótti ástæða til að kanna hvort einhvers væri að vænta austur þaðan, en svo reyndist ekki. Hóla 18 við Lýting lokaði svæðinu kringum Laugaland til suðurs og reyndist vera köld eins og aðrar holur á þeim slóðum. Í henni er niðurrennsli úr grunnum æðum niður í 95 m, en botnhitinn (í 105 m) er lágur og bendir ekki til jarðhita þótt innan við 1 km sé í jarðhitann á Laugalandi og holan sé í sprungustefnu þaðan. Raunar er alltaf hætta á að niðurrennslið blekki þar sem niðurdrátturinn á Laugalandi gæti valdið kólnun langt út. Hins vegar er niðurdrætti ekki þannig háttáð að bendi til þrýstisambands. Niðurstaðan var þá sú í lokin að á svæðinu milli Þjóðvegur og Laugalands væri ekki að finna heitt vatn.

Á Laugalandi mátti greina VNV-ASA-stefnu í dreifingu lauganna sem þar voru fyrir. Þessi stefna er jafnframt önnur aðalstefna virku jarðskjálftasprungnanna á Suðurlandi. Í leitarholunum næst Laugalandi mátti einnig sjá vísbendingu um þetta sama, einkum í Hallstúnsholu HR-10, sem er 96 m djúp og með allmiklu vatni og sjálfrennsli. Botnhitinn er hins vegar lágur, ~10°C á 100 m. Síðasta tilraunin var þá gerð með borun dýpri holu. Gert var ráð fyrir að hún gæti orðið nokkur hundruð metra djúp og sett í hana fóðring niður fyrir kalda og leka kaflann sem fram kom í holu HR-10. Í Hallstúnsholu HR-19 fékkst rúmlega 100°C-stigull ofan við æð í 130 m, en hæg hitnun þar fyrir neðan (7°C/100 m). Greinilegt var því að holan væri fjarri nokkru verulegu uppstreymi, og var borun hætt í 258 m.

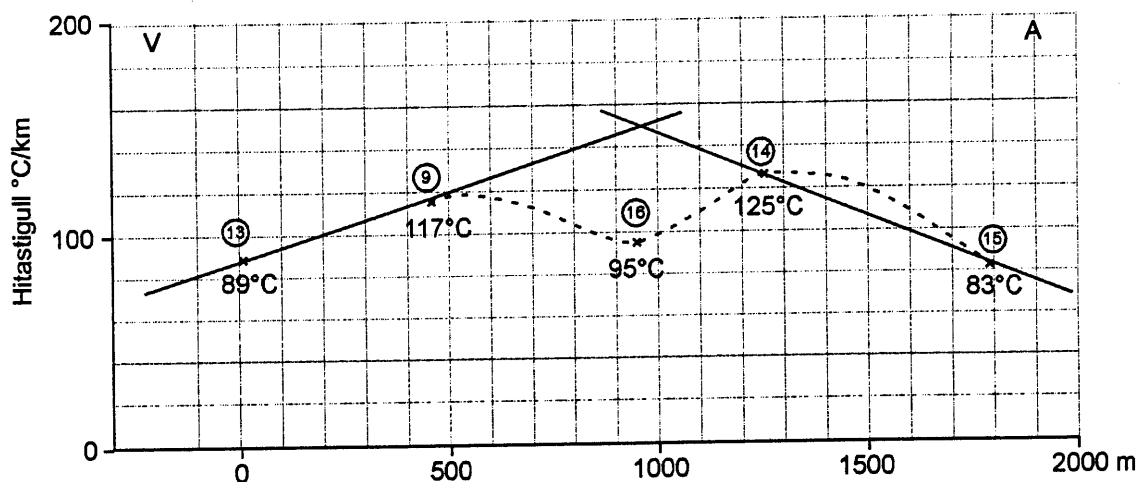
### 2.3. Kaldakinn

Í Köldukinn eru volgrur, mest 14,6°C heitar, sem koma upp á stuttri NNA-SSV línu (sprungu). Frá Köldukinn eru tæpir 4 km að Laugalandi. Tilgangurinn með borun í Köldukinn var að kanna hversu heitt vatn væri þar að fá og hvernig jarðlagaskipanin væri. Köldukinnarholan hefur holunúmerið 8 og er 153 m djúp. Tertiera blágrýtið byrjar á 85 m dýpi. Mikið vatn var ofan til í holunni, en það var að mestu fóðrað af með 3" röri í 54 m. Neðar komu fleiri æðar í holuna, sú neðsta í 120 m. Holan er 20,5°C frá 120 m æðinni niður úr, þannig að vatnskerfið í efstu 200–300 metrum berggrunnnsins á þessum stað er vart miklu heitara en það. Neðar mætti vænta hækandi hita. Smávegis rennsli er úr holunni af 15–16°C heitu vatni (0,7 l/s). Volgrurnar breyttu sér ekki við borunina. Holan er 15 m vestan við volgrurnar og fær vatn úr lekum lögum og lagamótum, en hefur ekki skorið vatnsleiðandi sprunguna. Köldukinnarkerfið býður upp á tvennt: Annars vegar volgt vatn til niðurdælingar í lekan jaðar Laugalandskerfisins til að auka vinnslu og minnka niðurdrátt í því. Hins vegar djúpborun (ca. 1000 m holu) til að vinna heitt vatn af meira dýpi úr þeim sprungum sem grunna/volga kerfið tengist.





**Mynd 3.** Staðsetning hitastigulsholna í fyrri hluta jarðhitaleitarátaks Hitaveitu Rangæinga í nágrenni Laugalands. Staðsetning borholna og númer eru sýnd á kortinu. Laugalandssvæðið er afmarkað og aðveitulögn hitaveitunnar frá því. Í töflu 1 er yfirlit um borholurnar og staðsetning þeirra gefin í hnitum. Tilsvarandi hitastiglar eru sýndir í töflu 2.



Mynd 4. Hitasnið um holuröð norðan við Litlutungu. Heildregna línan sýnir áætlaðan stigul áður en hola 16 var boruð. Brotna línan sýnir útkomuna.

## 2.4. Niðurstöður

Hitastigull í þeim holum sem boraðar voru í þessu leitarátaki var yfirleitt undir 100°C (tafla 2) og þóttu niðurstöður tæplega nógu lofandi. Jafnframt tókust ekki samningar við landeigendur í Köldukinn og var því ákveðið að snúa sé að öðrum svæðum.

Tafla 2. Hitastigull í leitarholum í fyrra leitarátaki Hitaveitu Rangæinga í nágrenni Laugalands.

	Dýpi m	Hitastigull °C/km
HR-1	57	96
HR-3	105	85
HR-4	78	90
HR-5	60	100
HR-6	81	62 (nærri vatnskerfi)
HR-7	105	83
HR-8	153	í vatnskerfi
HR-9	90	117
HR-10	96	í vatnskerfi
HR-12	105	í vatnskerfi
HR-13	105	89
HR-14	114	126
HR-15	105	83
HR-16	93	92
HR-17	105	83 (niðurrennsli)
HR-18	90	87
HR-19	258	(nærri vatnskerfi, undir svæðisstigli)

Ölvisholtshjáleiga u.þ.b. 70  
Litlatunga (heima) 96

### 3. SÍÐARI ÁFANGI JARÐHITALEITAR Í KALDÁRHOLTI

Jarðhitaleit á grannsvæðum Laugalands og Hellu gaf ekki tilefni til áframhalds og var því sjónum beint að Kaldárholti, en á það svæði hafði verið bent í áðurnefndri skýrslu frá 1993 um valkosti Hitaveitu Rangæinga. Þar var helst von um nægilega heitt vatn og fjarlægð viðráðanleg.

#### 3.1. Fyrstu boranir

Heitavatnsboranir í Kaldárholti beindust að laugasvæði við Kaldárholtslæk, þar sem eru ~50°C heitar laugar á tveim stöðum (mynd 2). Vegna hás sýrustigs í laugavatninu (pH ~10,5) var ekki hægt að reikna út efnahita jarðhitavatnsins með vissu, en kísilstyrkur benti til um eða yfir 70°C hita. Nálæg hitasvæði á Skeiðum eru yfir 70°C þau heitustu og önnur fjarlægari ofan til í Holtum og í Landsveit eru um 60°C heit. Í töflu 3 er sýnt yfirlit um allar holur sem boraðar hafa verið í Kaldárholti, helstu upplýsingar um þær og staðsetning með hnitum. Borstaðir eru sýndir á mynd 5. Niðurstöður hitamælinga sem gerðar hafa verið á holunum eru í Viðauka 1. Fyrst var borað við Kaldárholtslæk 1968, 96 m djúp hola og önnur 60 m djúp 1988, báðar við eystri laugarnar (Kristján Sæmundsson 1992). Þær náðu aðeins 42–43°C hita, og sú dýpri sýndi lítils háttu viðsnúning í hita (þ.e. lækkun með dýpi). Í næstu lotu (1989–1990) voru boraðar 8 holur. Í tveim þeim fyrstu við vestri laugarnar (nr 3 og 4) kom fram krappur viðsnúningur. Þá var leitað norður og austur og boraðar þar 6 holur 70–130 m djúpar (nr 5–10). Í þeirri heitustu og austustu (nr 10) fannst 61°C heitt vatn. Afgerandi viðsnúningur í hita sást í tveim af þessum holum (nr 6 og 9). Hins vegar fór hitinn hækkandi til norðausturs og benti það til uppstreymis úr þeirri átt (Kristján Sæmundsson 1992). Ekki varð af nýtingu þess heita vatns sem fannst. Þannig stóðu mál vorið 1998 þegar Hitaveita Rangæinga hóf rannsóknir í Kaldárholti.

#### 3.2. Jarðlög

Norðan við Kaldárholtslæk er víðlendur mýrarfláki sem nær norður og vestur að Þjórsá. Kaldárholtið sjálft og holtið sunnan við lækinn eru úr ungu grágrýti. Það var upphaflega samfelld hraunlagabekja, en er mjög rofin nú með djúpum jökulsorfnnum dældum (Kristján Sæmundsson 1970). Undir mýrinni er ein slík. Fyrstu boranirnar sýndu að setmyndanir í dældinni ná niður á tæplega 60 m dýpi. Setið stóð vel í holuveggjunum og reyndist nóg að fóðra 12–15 m ofan í það. Bergið þar neðan við var greint sem ummyndað, holufyllt basalt (Jens Tómasson 1990), enda fundust í því ummyndunarsteindirnar mesólít/skólesít, brennisteinskís og kalsít. Jarðlög í dýpstu Kaldárholtsholunum voru seinna rannsökuð betur og gerði Jakob Þór Guðbjartsson skýrslu um þau (1999). Hann taldi unga grágrýtið og brotaberg tengt því vera undir setinu, og ná niður á 120 m dýpi í holu 17, þeirri vestustu sem greind var, en miklu grynna suðaustar. Þetta er líklega ekki rétt. Heldur munu skilin vera á 50–60 m dýpi á hitasvæðinu öllu, nema suðaustast þar sem grynna er á þau. Til þess bendir mikil holufylling í basalti með rauðalögum strax undir setinu neðan 50–60 m dýpis. Rannsóknir Jakobs Þórs sýndu mikið laumontít (geislastein sem myndast við vel yfir 100°C hita) í djúpu holunum, sumt af því var sprungufylling, t.d. áberandi í hrun- og æðakafla á 450 m dýpi í holu 34.

Basaltmyndunin á þessu svæði (s.k. Hreppamyndun) sést óvíða. Næsta opna er við brúna á Kaldárholtslæk vestan við Saurbæ, önnur er vestur við Þjórsá sunnan við lækinn. Jarðlagahalli er um 12° til NV (Kristján Sæmundsson 1970). Holufylling er mun meiri en almennt gerist í Hreppamynduninni (sbr. laumontít og brennisteinskís). Hún er ekki í samræmi við jarðhitann sem þarna er nú, heldur gætir þar nálægðar við kulnaða megineldstöð uppi í Hreppum. Miðja hennar er við Stóru-Laxá norðaustur af Hrepphólum. Gangaskari liggur trúlega frá henni til suðvesturs, og er jarðhitinn við Kaldárholtslæk líklegast í tengslum við hann.

Heita vatnið á Suðurlandi fylgir ungum sprungum. Brotahreyfingar tengdar jarðskjálftavirkni hafa myndað þær og halda þeim lekum. Sprungur þessar stefna N-S og VSV-ANA, en nærri yfirborði myndast smásprungur skáhallt yfir þær. Engar slíkar sprungur hafa fundist á jarðhitasvæðinu við Kaldárholtslæk, en helst hefði verið von til að sjá þær í holtinu sunnan við lækinn. Eldra sprungukerfi sést frá þeim tíma sem Hreppamyndunin var að hlaðast upp. Þar er fyrst og fremst um að ræða misgengi og ganga með NA-SV-stefnu.

### 3.3. Vatnsgengd

Mikið vatn kom í flestar holurnar sem boraðar voru í Kaldárholti, einkum úr setlögum og efsta hluta berggrunnsins, oft kringum 5 l/s í loftblæstri. Dýpri æða gætti fyrst að ráði þegar kom suðaustast á leitarsvæðið þar sem holur 34 og 35 eru. Vatn í þeim nam tugum l/s í blæstri. Sjálfrennsli var úr þeim holum sem stóðu lægst og var toppþrýstingur á þeim áætlaður kringum ½ bar.

### 3.4. Hiti

Með leitarholunum var reynt að rekja sig í átt að uppstreymi úr berggrunni (Hreppamyndun). Flestallar holurnar náðu niður fyrir mislægið milli grágrýtisins og Hreppamyndunar. Ekki var að sjá afgerandi hitabreytingu við skilin milli setlaga og Hreppamyndunar. Með leitarholum 11–16 náðist rúmlega 64°C heitt vatn. Hóla 17 var þá boruð dýpra hjá heitustu holunni. Hún fór í gegnum >60°C heitan æðakafla á 50–100 m dýpi, en kólnaði þar fyrir neðan í 59°C á 400 m. Sýnt var með þeirri holu að nokkuð langt væri í uppstreymið. Næstu 16 holur þokuðust smám saman á breiðri framlínu og með útúrdúrum suðaustur á við. Tvær af þessum holum (nr 32 og 33) voru boraðar niður fyrir 300 m. Með þeim rann loks upp hitamyndin af svæðinu, furðu einföld, en óútskýrð ennþá (mynd 6): Uppstreymið myndar hitatungu hallandi til austurs. Aðeins vestustu holurnar og þær dýpstu (nr 17, 32 og 33) náðu niður í gegnum hana. Hinar enduðu í henni og þær austustu náðu ekki niður í hana (nr 23, 28, 29 og 31). Rétt er að hafa í huga að hitasniðið á myndinni liggur ekki þvert á líklegustu uppstreymisrás, þannig að halli hitatungunnar er í raun mun brattari en þar kemur fram.

Eftirleikurinn reyndist auðveldur þegar hér var komið. Við blasti að taka þurfti stórt skref til austurs eða suðausturs með djúpri holu. Skrefin urðu raunar tvö með holum 34 (456 m) og 35 (540 m). Báðar lentu í miklu vatni og seinni holan var fast að 69°C heit, en hin gráðu kaldari. Í framhaldi þar af var síðan boruð vinnsluhola (nr 36) um 40 m norður af holu nr 35. Hún lenti í vatnsmikilli æð í 426–429 m sem gefur rúmlega 69°C heitt vatn.

Tafla 3. Yfirlit yfir leitarholur boraðar í Kaldárholti.

Staður	Bor	Frá	Til	Verkkaupi	Holunafn	Dýpi	X	Y	Fóðring
83431	48	8.4.1967	14.3.1968	Þórir Sveinbjörnsson	KH-01	96,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/9,60 m
83432	51	19.11.1974	22.11.1974	Gísli Helgason	KH-02	37,5	621440	390979	
83433	27	14.12.1989	19.12.1989	Gísli Helgason	KH-03	77,1			
83434	27	19.12.1989	20.12.1989	Gísli Helgason	KH-04	45,0			
83435	27	28.12.1989	30.12.1989	Gísli Helgason	KH-05	71,2			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/12 m
83436	27	2.1.1990	4.1.1990	Gísli Helgason	KH-06	122,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/13,5 m
83437	27	12.1.1990	18.1.1990	Gísli Helgason	KH-07	128,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/12 m
83438	27	24.1.1990	30.1.1990	Gísli Helgason	KH-08	130,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/13m
83439	27	1.2.1990	11.2.1990	Gísli Helgason	KH-09	116,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/15 m
83440	27	13.2.1990	22.2.1990	Gísli Helgason	KH-10	117,0			5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/13 m
83430	89	7.4.1998	7.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-11	75,0	619616	389919	3"/21 m
83301	89	8.4.1998	8.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-12	90,0	619655	389912	3"/21 m
83302	89	14.4.1998	14.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-13	105,0	619615	389967	3"/18 m
83303	89	15.4.1998	15.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-14	120,0	619642	389961	3"/18 m
83304	89	16.4.1998	16.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-15	111,0	619698	389779	3"/15 m
83305	89	17.4.1998	17.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-16	114,0	619673	389834	3"/8 m
83306	89	20.4.1998	17.4.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-17	405,0	619676	389843	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/63 m
83307	89	4.5.1998	4.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-18	120,0	619692	390028	3"/15 m
83308	89	5.5.1998	5.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-19	120,0	619664	389935	3"/15 m
83309	89	6.5.1998	5.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-20	120,0	619651	389811	3"/15 m
83310	89	7.5.1998	7.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-21	85,0	619625	389780	3"/15 m
83311	89	8.5.1998	8.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-22	127,0	619597	389751	3"/12,7 m
83311	89	14.5.1998	14.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-22	161,0	619597	389751	3"/15 m
83312	89	11.5.1998	11.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-23	121,0	619531	389676	3"/15 m
83313	89	12.5.1998	12.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-24	121,0	619607	389632	3"/15 m
83314	89	13.5.1998	13.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-25	120,0	619683	389645	3"/12 m
83315	89		15.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-26	120,0	619637	389733	3"/15 m
83316	89	16.5.1998	16.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-27	139,0	619581	389853	3"/15 m
83317	89	17.5.1998	17.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-28	90,0	619493	389870	3"/15 m
83318	89	18.5.1998	19.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-29	126,0	619443	389881	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/15 m
83319	89	22.5.1998	22.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-30	21,0	619324	390073	3"/15 m
83320	89	22.5.1998	22.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-31	120,0	619324	390073	3"/51 m
83321	89	25.5.1998	27.5.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-32	315,0	619553	389863	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/60 m
83322	89	23.6.1998	30.6.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-33	354,0	619535	389763	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/55,4 m
83323	89	30.6.1998	9.7.1998	Hitaveita Rangæinga	KH-34	456,0	619474	389629	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/21 m
83324	89	9.12.1998	8.1.1999	Hitaveita Rangæinga	KH-35	540,0	619394	389623	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/27 m
83325	79	10.4.1999	3.5.1999	Hitaveita Rangæinga	KH-36	445,0	619376	389627	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "/253 m
83531	89	9.11.1988	9.11.1988	Ólafur Sigfússon	HA-01	60,0			4"/15 m



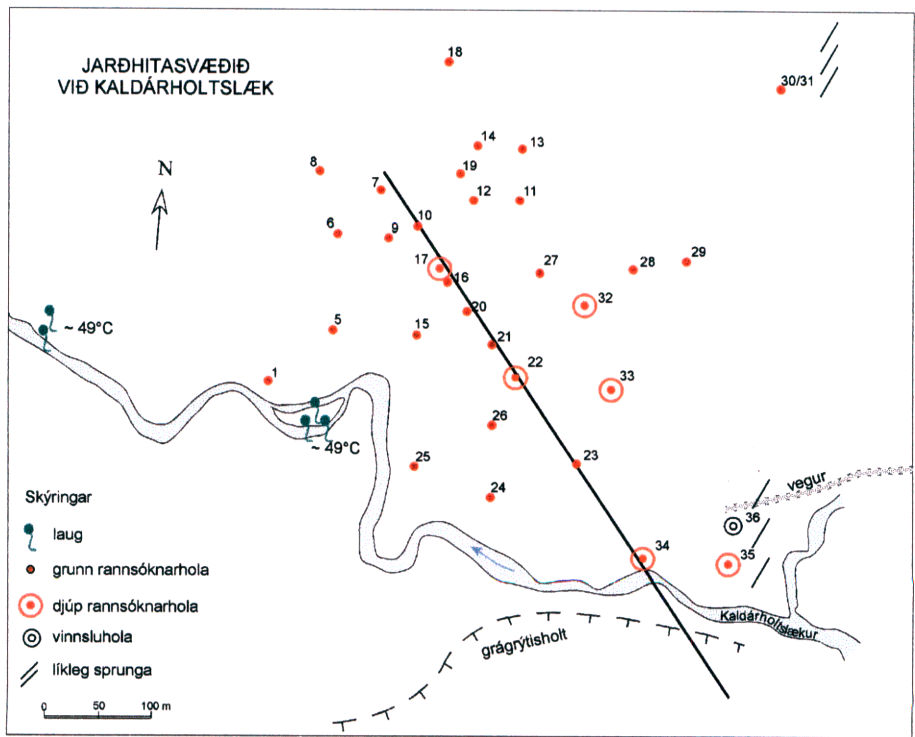
### 3.5. HOLA 36 OG HORFUR UM FRAMHALD

Hola 36 var fódruð í fyrsta áfanga með 10” röri í 36 m. Hún var síðan boruð með 10” krónu í 254 m og fódruð með 8” röri í það dýpi. Nokkrar æðar sem voru of kaldar til að nýta voru lokaðar frá með fódringunni. Í 250 m dýpi mældist 68°C hiti eftir 36 tíma hlé á borun og var það metið svo að nýta mætti allt vatn sem kæmi í holuna þar fyrir neðan.

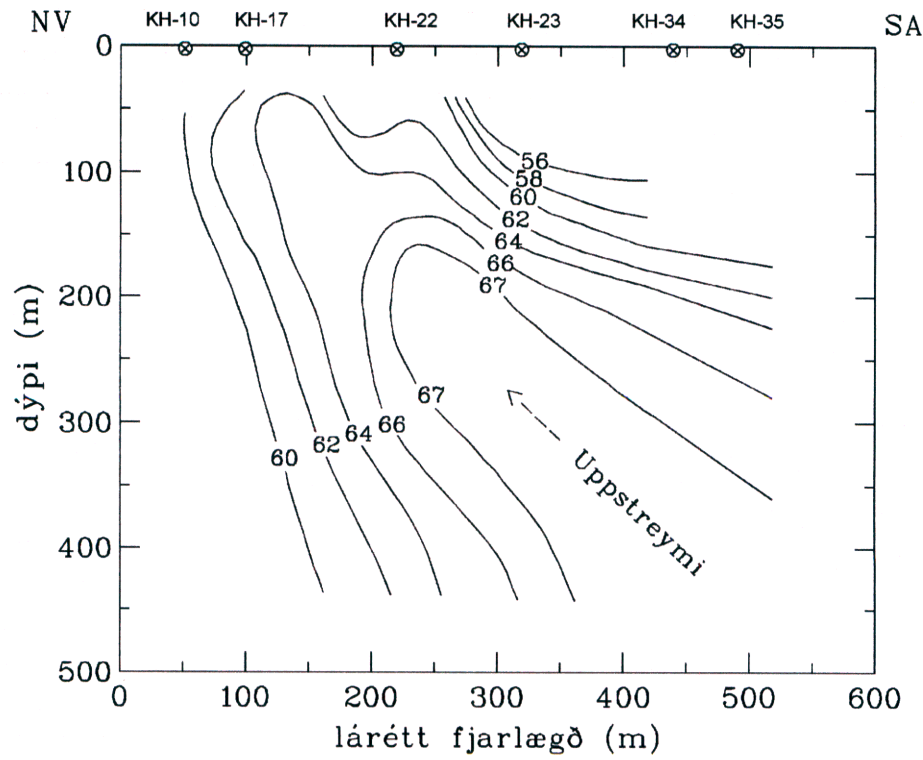
Holan var síðan boruð í 8” vídd í 308 m. Þá var komið í hana vatn, um 15 l/s í blæstri. Hitamæling sýndi rúmlega 69°C hita á því dýpi (viðauki 1). Frá 308 m var borað með 6 ¼” hjólakrónu. Eftir það sýndu æðar sig sem skoltap, en það er er sönnun þess að kerfið er lágþrýst. Eftir að stóra æðin kom inn á 426–429 m dýpi var boraður 15 m sokkur þar niður fyrir og þá hætt. Lokadýpi hafði verið áætlað 600–700 m þegar hola 36 var hönnuð og miðað við granna holu (Orkustofnun 1999). Fódringardýpi hafði verið áætlað 100 m, en í borun sýndi sig að dýpri fódring var nauðsynleg, og þá var komist hjá því að steypa í æðar neðan fódringar.

Þegar hola 36 var staðsett var hugsað fyrir öðrum borstað norðar ef þörf þætti á. Sá staður er í líklegri sprungustefnu austur af holu 29 og 250 norðan við holu 36 (mynd 5). Ekki reyndist þörf á að bora hana, en ekkert hefur komið fram sem breytir staðsetningu hennar. Hins vegar miðaðist sú staðsetning einnig við tiltölulega grunna borholu. Djúp borhola (þ.e. 1000–1500 m) hefur komið til umræðu, en tillaga hefur ekki verið gerð um staðsetningu. Hugsanlega myndi nást heitara vatn ef djúpt yrði borað, en líklega yrði lektin eitthvað minni.

Við jarðskjálftann 17. júní 2000 kom öflugur þrýstipúls á jarðhitakerfið og flæddi þá mikið vatn upp úr því um tíma. Sprungur komu í veginn að Kaldárholti ekki fjarri því sem líkleg sprungustefna sýnir á mynd 5. Niðurdráttur í jarðhitakerfinu er enn líttill, en verði vinnslan umtalsverð myndi hann væntanlega koma fram. Þá gæti reynst nauðsynlegt að fylla og steypa í leitarholurnar, einkum þær djúpu, til að koma í veg fyrir niðurrennsli í þeim. Með hitamælingum í leitarholunum er hægt að fylgjast með hættu á slíku.



**Mynd 5.** Jarðhitakort af Kaldárholtssvæðinu þar sem sýnd er staðsetning lauga, rannsóknarholna og vinnsluholu og líkleg vatnsleiðandi sprunga.



**Mynd 6.** Hitasnið gegnum Kaldárholtssvæðið byggt á hitamælingum í leitarholum.

## 4. VINNSLUEIGINLEIKAR JARÐHITAKERFISINS Í KALDÁRHOLTI

### 4.1. Efnasamsetning vatns í Kaldárholti

Samfara borun leitarholna í Kaldárholti voru tekin sýni úr nokkrum þeirra til efnagreininga bæði til að spá í djúphitastig jarðhitakerfisins og meta vinnslueiginleika þess. Í sumum sýnunum hafa öll helstu uppleyst efni verið greind og jafnvel sporefni og samsætur (heilsýni), en í öðrum aðeins örfá valin efni (hlutsýni). Efnasamsetning sýna sem tekin hafa verið úr holum KH-33, KH-34 og KH-36 til greininga á öllum aðalefnum er skráð í töflu 3. Til samanburðar er sýnd í töflunni efnasamsetning sýna úr laug við Kaldárholtisæk, og úr holum KH-02 og KH-10.

Tafla 4. Efnasamsetning heilsýna af jarðhitavatni frá Kaldárholti. Styrkur í mg/l.

Staður	Kaldárholtisækur	KH-02	KH-10 (55 m dýpi)	KH-33 (67m dýpi)	KH-33 (120m dýpi)	KH-34	KH-36	KH-36	KH-36
Dags.	68-05-15	92-11-26	92-11-26	98-07-02	98-07-02	98-07-22	00-03-16	00-09-20	01-11-30
Númer	1968-3256	1992-0307	1992-0306	1998-0381	1998-0382	1998-0416	2000-0061	2000-0339	2001-0447
Hítastig °C	-	61,6	-	-	-	-	67,1	67,8	66,8
pH/°C	10/49	9,65/23	10,38/23	10,40/22	10,35/23	10,40/21	10,36/23	10,32/23	10,29/22
CO <sub>2</sub> (heild)	8,1	7,9	18,9	13,9	13,8	15,2	12,2	12,5	11,9
Brennist. v. (H <sub>2</sub> S)	0,2	0	0,12	0,15	0,13	0,04	0,17	0,16	0,15
Leiðni µS/sm	-	904	349	342	344	338	327	318	325
Bór (B)	1,37	0,1	0,16	-	-	0,15	0,12	0,14	0,15
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	76,0	53,9	89,5	89,6	89,0	87,9	89,9	89,2	88,4
Uppl. e.	293	531	236	-	-	256	252	212	243
Súrefni (O <sub>2</sub> )	-	0	-	-	-	-	0	0	0
Natríum (Na)	72,4	167	73,2	67,6	68,0	65,3	63,2	64,2	64,0
Kalíum (K)	1,7	1,75	0,76	0,74	0,77	0,73	0,66	0,66	0,69
Magnesium (Mg)	0,01	0,006	0,003	0,007	0,012	0,003	0,007	0,001	0,015
Kalsíum (Ca)	2,7	16,3	1,38	2,37	2,27	2,42	2,71	2,75	2,76
Flúoríð (F)	2	1,82	2,34	2,23	2,24	2,14	2,17	2,21	2,27
Klóríð (Cl)	31,6	217	21,7	18,2	18,0	21,7	20,5	19,4	20,5
Brómíð (Br)	-	0,78	0,08	-	-	-	0,06	-	-
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	36,3	56,3	27,2	26,1	26,7	25,6	26,2	25,5	25,8
Al (Al)	-	-	-	-	-	-	0,0963	0,118	0,119
Járn (Fe)	-	-	-	-	-	-	0,0064	0,0032	0,0032
Mangan (Mn)	-	-	-	-	-	-	0,0002	0,0003	0,00006
δD ‰	-	-78,1	-69,2	-	-	-	-67,6	-68,0	-68,3
δ <sup>18</sup> O ‰	-	-10,98	-10,01	-9,91	-9,86	-	-9,82	-9,82	-9,74

Í töflu 4 eru sýndar niðurstöður efnagreininga á sýnum þar sem mæld voru einungis fáein valin efni.

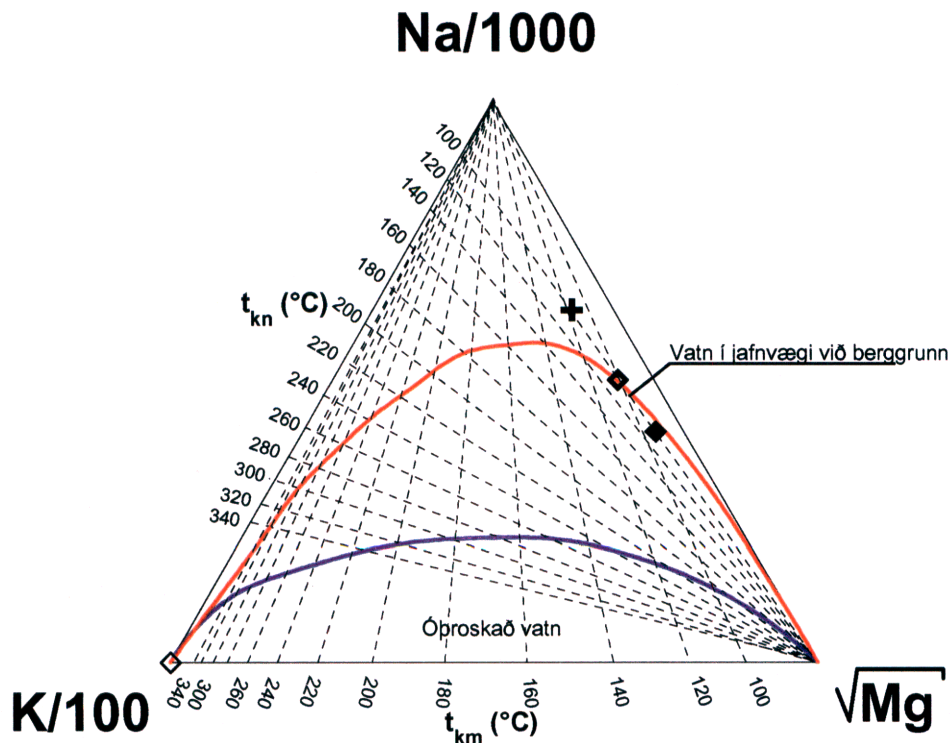


**Tafla 5.**  $\text{SiO}_2$  og  $\text{Cl}$  styrkur í hlutsýnum frá holum KH-17 og KH-34.

Hola nr.	KH-17	KH-17	KH-34	KH-34	KH-34	KH-34	KH-34
Dags.	98.04.30	98.04.30	98.07.02	98.08.24	98.08.25	98.08.27	98.0827
Sýni nr.	98.0264	98.0265	98.0380	98.0517	98.0518	98.0519	98.0520
$t^\circ\text{C}/\text{Q kg/s}$				66.9/11.7	64.3/13.9	67.1/13.5	67.5/13.5
$\text{SiO}_2$	83.8	84.7	85.4	87.5	86.8	87.0	87.0
$\text{Cl}$	23.1	22.7	17.1				

Við rannsókn á efnainnihaldi vatnsins samfara jarðhitaleitinni skipti tvennt meginmáli; annars vegar að meta upprunahitastig þess með því að reikna út djúphitastig frá efnasamsetningunni og hins vegar að meta vinnslueiginleika þess og líkur á að hægt sé að blanda því saman við vatnið á Laugalandi í aðveitulögnum.

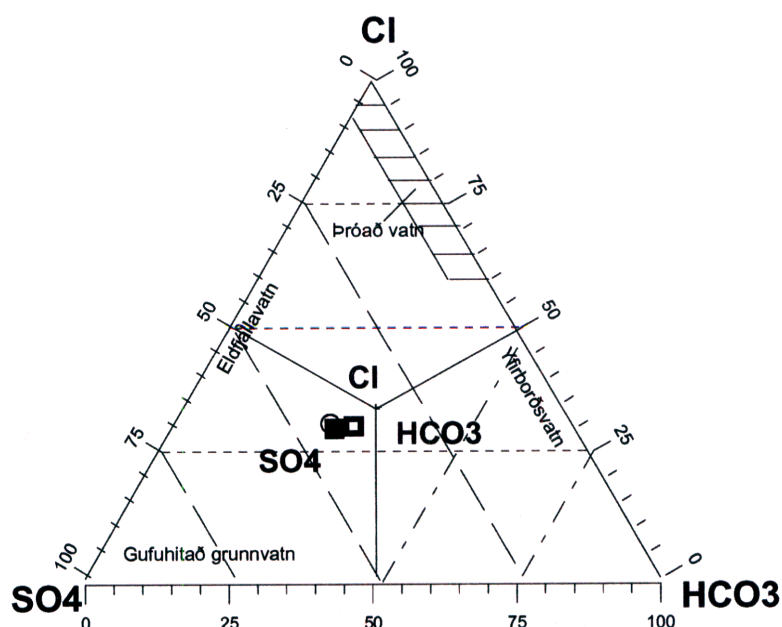
Á mynd 7 er sýnt Na-K-Mg þríhyrningslínurit, sem á að sýna hversu vel þróað jarðhitavatn er og nálægt jafnvægi við berggrunn. Á línuritinu kemur einnig fram reiknað efnahitastig miðað við tvo mismunandi alkaliefnahitamæla.



**Mynd 7.** Na-K-Mg þríhyrningslínurit (Giggenbach, 1988, Stefán Arnórsson, 1991). Línuritið sýnir hversu vel þróað jarðhitavatn er, eða hversu nálægt jafnvægi við berggrunn það er. Einnig sýnir það hitastig miðað við tvo mismunandi efnahitamæla, sem eiga að vera nær jafnvægi við íslenskt vatn. Punktarnir sýna flokkun vatns mismunandi sýna úr holum KH-34 og 36 (tafla 3).

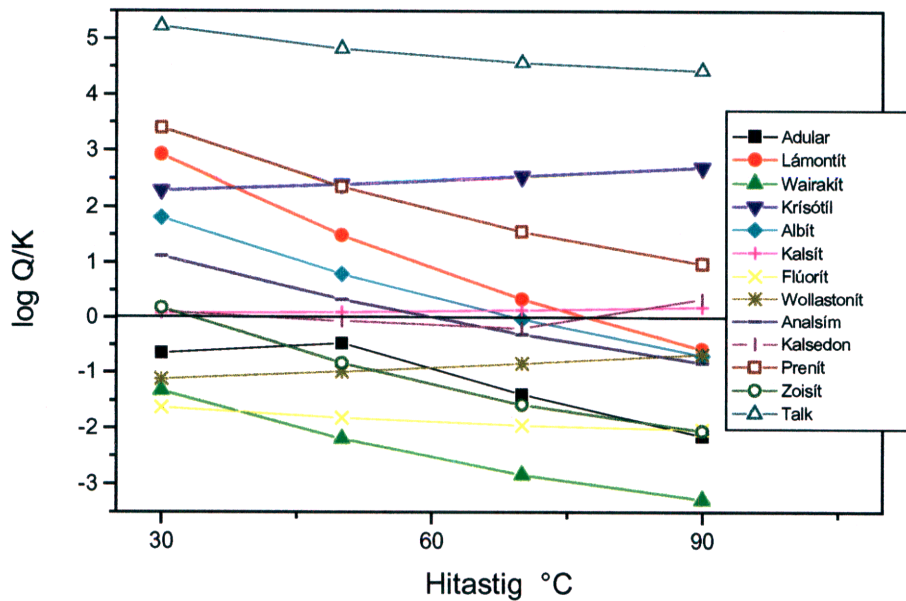
Nokkur dreifing er á punktum, sem stafar aðallega af mismunandi niðurstöðum á greiningum á magnesíum. Magnesíum er snefilefni og getur munur um fáein míkrogrömm skapað svona dreifingu. Við stóru jarðskjálftana sumarið 2000 hækkaði styrkur magnesíums í mörgum jarðhitakerfum á Suðurlandi tímabundið, vegna innstreymis kaldara vatns inn í sprungukerfin (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 2001) og stafar aðalflöktið á myndinni af því. Myndin sýnir annars að vatnið virðist vera nálægt efnajafnvægi við berg og djúphitastig vatnsins frá hlutfalli alkalimálma gefur hitastig um og yfir 100°C. Alkalíhitastig er reyndar oft ekki marktækt við vatnshitastig undir 100°C.

Á mynd 8 er svo sýnd flokkun vatnsins miðað við hlutfallslegan styrk anjóna og er vatnið næst því að vera sulfatvatn, en hlutfall klóríðs, sulfats og bíkARBÓNATS er mjög svipað í því. Þetta er ekki óalgeng flokkun fersks lághitavats á Íslandi, þar sem aðalanjónir eru bíkARBÓNAT ( $\text{HCO}_3^-$ ) og sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Vatn úr holu LNW-4 flokkast svipað og Kaldárholtvatnið, sem sulfatvatn. Það var þó talsvert saltara (með hærri klóríðstyrk) í upphafi vinnslu en hefur breyst með tímanum, einkum eftir að hola GN-1 var boruð.



**Mynd 8.** Flokkun vatns eftir hlutfallslegum styrk anjóna (Giggenbach 1991).

Athugun á efnajafnvægjum við algengar ummyndunarsteindir (mynd 9) gæti bent til að vatnið væri blandað, en það sýnir merki efnajafnvægis við 60–80°C hita og merki um blöndun við a.m.k. 90°C heitt vatn.



**Mynd 9.** Log  $Q/K$  línurit sem sýnir lógariðmann af hlutfalli virknimargfeldis í vatninu úr Kaldárholti og fræðilegs leysnimargfeldis í vatninu fyrir valdar ummyndunarsteindir á móti hitastigi. Sé viðkomandi steind í jafnvægi við vatnið, er þetta hlutfall núll. Skerist ferlarnir undir 0-línunni bendir það til blöndunar.

Niðurstöður efnagreininga úr leitarholunum gáfu fremur flókna mynd, sem erfitt var að túlka. Nokkuð líklegt var þó talið að vatnskerfið væri a.m.k. 80°C heitt og jafnvel allt að 100°C heitt. Miðað við það líkan sem hitastigulskortið og staðsetning vatnsæða frá borun gaf, var talið líklegt að vatnið hefði runnið frá aðaluppstreyminu í setlagi ofan á klöpp þangað sem volgrunnar koma fram. Það samræmdist ágætlega því sem túlkun á efnainnihaldinu gaf til kynna þ.e. að vatnið væri aðrunnið jarðhitavatn, sem blandast hefði eitthvað kaldara vatni en síðan náð að komast í allgott efnajafnvægi við blöndunarhitann. Hins vegar tókst ekki í þessum áfanga að finna heitara vatn og vatn úr vinnsluholunni KH-36 er nánast eins að efnasamsetningu og vatn úr holum KH-10, 33, 34 (tafla 3) (Hrefna Kristmannsdóttir 1998; Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998 a og b). Styrkur natríums og klóríðs er svolítið breytilegur, en munurinn er tæplega marktækur. Einnig sést nokkur munur á styrk áls, járns og mangans. Talsvert flókt getur verið á styrk þungmálma og einkum hvað járn varðar eru margir mögulegir mengunarvaldar og ekki óalgennt að fram komi óskýrðar styrkbreytingar.

Jarðhitavatnið í Kaldárholti er mjög efnasnautt, en það hefur mun hærra pH en vatn frá Laugalandi og lægri kísilstyrk þar sem það er kaldara. Það er að flestu leyti vel fallið til nota í hitaveitu og ekki talin hætta á að það valdi tæringu né útfellingum, hvorki eitt sér eða við blöndun við vatnið úr LWN-4 (Hrefna Kristmannsdóttir 1998; Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998a og b). Þess skal þó gætt að bæði vatnið á Laugalandi og í Kaldárholti er svolítið yfirmettað af kalki og því getur upphitun þess

og mikil afloftun hugsanlega komið af stað útfellingum. Greinilegur munur er á hlutfalli stöðugra samsætna í vatni frá vinnslusvæðunum tveimur og ætti breyting á þeim að gefa til kynna blöndun vegna niðurrennsliis Kaldárholtsvatns í holu GN-1, sem hefur verið í gangi nú um tveggja ára skeið (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 2000; 2001; 2002).

Vegna hás sýrustigs vatnsins freyðir sápa minna og það gæti þurrkað meira húð en Laugalandsvatnið. Vegna hás styrks flúors og reyndar einnig hás sýrustigs telst Kaldárholtsvatnið ekki hæft til drykkjar og ekki er talið æskilegt að nota það óblandað til að brynna skepnum þar sem langvarandi notkun gæti valdið flúoreitrun.

## 4.2. Um afköst jarðhitakerfisins í Kaldárholti

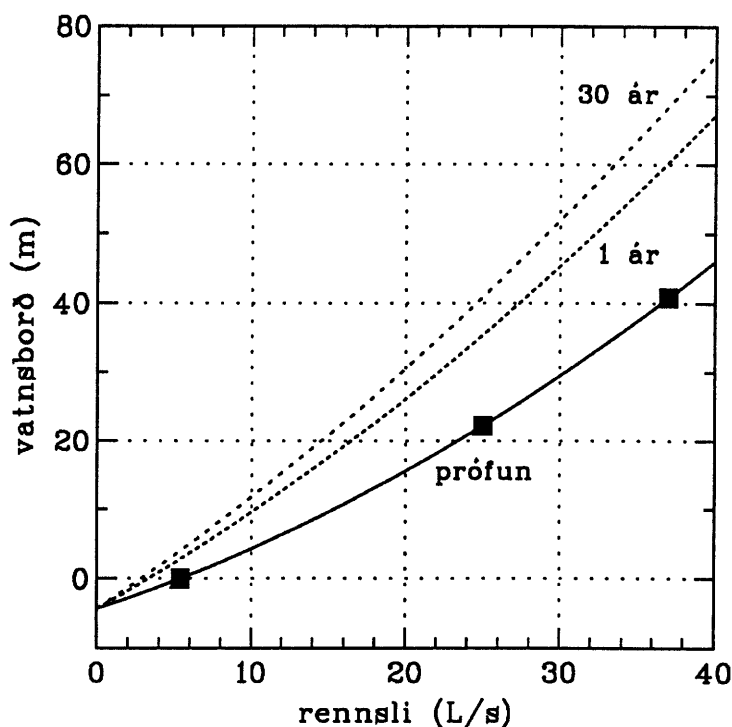
Jarðhitaleitinni í Kaldárholti lauk með borun tveggja tilraunaholna, KH-34 og 35, sem gáfu mikið af 67–69°C vatni. Gerð var grein fyrir niðurstöðum prófana þeirra og nýtingarmöguleikum í nokkrum greinargerðum (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1998; Guðni Axelsson, 1998 b, c, Guðni Axelsson o.fl., 1999). Hóla KH-34 var talin geta gefið a.m.k. 30 l/s af 67°C vatni, með hóflegum niðurdrætti, sem jafngildir um 40 GWh orkuvinnslu. Síðasta rannsóknarholan, hola KH-35, reyndist jöfn holu KH-34 í afköstum.

Í framhaldi af þessu ákvað Hitaveita Rangæinga að virkja Kaldárholtssvæðið til þess að afla viðbótarorku. Fyrsta skrefið fólst í borun vinnsluholunnar, holu KH-36. Vinnsluholan var prófuð með loftdælingu þann 30. apríl 1999. Loftdælt var úr holunni í tveimur 2–3 klst. þrepum, 25 og 37 l/s. Í báðum þrepunum kom niðurdrátturinn fram strax og dæling hófst, en síðan jókst hann mjög hægt. Nokkru meiri niðurdráttur er í holu KH-36 en í holum KH-34 og 35. Það er ekki óeðlilegt því efstu 250 m vinnsluholunnar eru fódraðir af, en tilraunaholurnar eru aðeins fódraðar í 20–30 m. Þá er nokkurt iðustreymistap í holunni. En langtímaníðurdráttur er mjög hægur, og í samræmi við það sem fram kom við prófanir holna KH-34 og 35.

Mynd 10 sýnir samband dælingar og vatnsborðs í holu KH-36, bæði niðurstöður prófunarinnar og spá til 30 ára. Spáin er byggð á niðurstöðum fyrri prófana um eiginleika jarðhitakerfisins. Mælingar í öðrum holum á svæðinu, meðan á prófun holu KH-36 stóð, staðfesta fyrri niðurstöður um mikla stærð og góða lekt jarðhitakerfisins. Samkvæmt myndinni mun holan hæglega geta staðið undir 30 l/s langtímvinnslu, eins og prófanir á holum KH-34 og 35 höfðu bent til. Hafa þarf í huga þá ónákvæmni sem fylgir spám reiknuðum til svo langs tíma á grundvelli stuttra prófana. Á það má benda að við 40 l/s dælingu er u.þ.b. 20 m niðurdráttur vegna iðustreymistaps.

Nýting Kaldárholtssvæðisins hófst þann 21. janúar 2000 og sýnir mynd 11 gögn um vinnslu og vatnsborð í Kaldárholti árin 2000 og 2001. Á þessu tímabili var viku-meðalvinnslan mest tæplega 32 l/s aðra viku nóvember 2001, en minnst um 11 l/s í lok maí 2000. Á myndinni sést hvernig vinnslan var augin úr holunni í kjölfar Suðurlandsskjálftans 17. júní 2000. Var það gert til þess að mæta minni dælingu úr holu LWN-4 og auka við niðurdælinguna í holu GN-1 á Laugalandi.

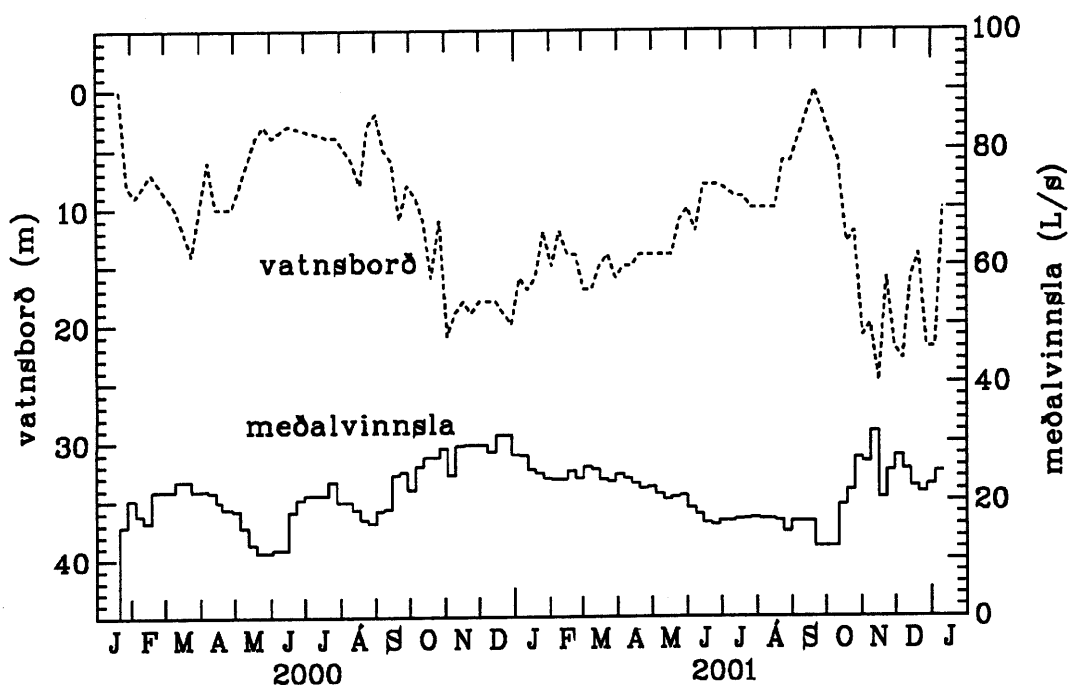




Mynd 10. Mælt og áætlað samband rennslis og vatnsborðs í holu KH-36 í Kaldárholti byggt á stuttri prófun í borlok auk prófana holna KH-34 og 35.

Árið 2000 var heildarorkuvinnsla Hitaveitu Rangæinga um 56 GWh og þar af voru 28 GWh, eða 50%, framleiddar í Kaldárholti (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 2002). Árið 2001 var heildarorkuvinnsla Hitaveitunnar aðeins 49 GWh og þar af voru 30 GWh, eða um 60%, framleiddar í Kaldárholti (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 2001).

Á myndinni sést hvernig þrýstingur (vatnsborð) í jarðhitakerfinu í Kaldárholti sveiflast með vinnslunni. Auk þess hækkaði þrýstingur mikið við jarðskjálftann 17. júní 2000, enda jarðhitakerfið í þeim geira jarðskorpunnar sem þjappaðist saman við skjálftann. Í kjölfarið lækkaði þrýstingurinn aftur hægt og bítandi. Á myndinni sjást þessi áhrif á því að vatnsborð í holunni lækkar ekki þegar vinnslan er aukin eftir miðjan júní 2000. Í lok ársins 2000 er vatnsborð aðeins á 20 m dýpi, þrátt fyrir um 30 l/s dælingu. Árið 2001 fór vatnsborð svo lægst í 25 m dýpi þegar sem vinnslan var mest, en hæst fór það upp undir yfirborð.



Mynd 11. Vikumeðalvinnsla og vikulegar vatnsborðsmælingar í holu KH-36 í Kaldárholti fyrstu tvö ár vinnslu úr holunni.

Ljóst er að afköst holu KH-36 eru enn meiri en áætlað var á grundvelli stuttrar loftdælingar í borlok (Vigdís Harðardóttir o.fl. 1999). Við 30 l/s dælingu var t.d. spáð 30–45 m niðurdrætti, en ekki 20–25 m eins og raunin hefur orðið. Afköst holunnar eru því u.þ.b. 50% meiri en spáð hafði verið. Ástæður þess eru væntanlega minna þrýstifall í og næst holunni en spáð hafði verið, minni langtímaniðurdráttur auk þess sem þær miklu jarðskorpuhreyfingar sem fylgdu jarðskjálftunum sumarið 2000 hafa hugsanlega aukið eitthvað lekt jarðhitakerfisins, og þar með minnkað niðurdráttinn. Þrýsti-hækkunin, sem varð sumarið 2000, gekk til baka, en mögulegt er að afköst jarðhitakerfisins hafi aukist varanlega við skjálftana. Það verður að teljast frekar líklegt, en erfitt verður að meta það vegna þess hve stutt vinnslusaga Kaldárhólts fyrir skjálftann er. Auk þess er ljóst að stór hluti niðurdráttarins verður í og við holu KH-36 og því væntanlega hægt að auka afköstin enn frekar með borun fleiri vinnsluholna.

Áhugavert verður að reikna nýjar og nákvæmari vatnsborðsspár fyrir holu KH-36 og jarðhitakerfið í Kaldárholti nú þegar meira af gögnum um viðbrögð kerfisins hafa safnast. Nota mætti þjöppuð geymislíkön, líkt og notuð hafa verið fyrir jarðhitakerfið á Laugalandi. Það var fyrst sett upp árið 1987 og hefur verið endurskoðað nokkrum sinnum síðan (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1998).

Hitastig vatnsins sem dælt er upp í Kaldárholti hefur haldist stöðugt um 68–69°C. Rétt er að benda á að nokkur hætta er á kólnun vatns úr jafn vel opnu jarðhitakerfi og kerfinu í Kaldárholti, vegna niðurstreymis kaldara vatns. Því verður mikilvægt að fylgjast vel með efnainnihaldi vatnsins, en breytingar á því gætu varað við slíkum breytingum í tíma. Einnig er rétt að hitamæla leitarholur af og til í sama tilgangi.

## 5. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

- Frá því að ljóst varð að vinnslusvæðið á Laugalandi stóð ekki undir nema um 17 l/s meðalvinnslu með verulegum niðurdrætti var farið að leita leiða til frekari orkuöflunar.
- Þrátt fyrir mikla fyrirhyggju og ráðdeildarsemi í rekstri veitunnar var fyrirsjáanlegt að til frekari orkuöflunar þyrfti að koma um eða fljótlega eftir aldamót.
- Veturinn 1997–1998 varð ljóst að veitunni var nauðugur einn kostur að afla viðbótarorku þegar á næsta ári.
- Í febrúar 1998 voru gerðar tillögur um skipulega jarðhitaleit á þeim svæðum í nágrenni Laugalands sem talin voru koma til greina og hafið umfangsmikið jarðhitarleitarátak.
- Leitin beindist einkum að þremur svæðum: Nágrenni Laugalands, svæði milli Laugalands og Suðurlandsvegur og Köldukinn austan við Laugaland.
- Boraðar voru fyrst 4 holur í nágrenni Laugalands, ein hola í Köldukinn og síðan fleiri holur milli Laugalands og Suðurlandsvegur. Alls urðu holurnar 19.
- Jarðhitaleit á grannsvæðum Laugalands og Hellu gaf ekki tilefni til áframhalds og var því sjónum beint að Kaldárholtssvæðinu þar sem hiti var hæstur af mögulegum valkostum til jarðhitarleitar fyrir veituna.
- Á Kaldárholtssvæðinu voru boraðar 27 leitarholur uns vinnsluholan KH-36 var endanlega boruð 1999.
- Tekin var sú ákvörðun að vinna um 69°C heitt vatn sem fannst í þessu leitarátaki en freista þess ekki að bora dýpri holu að sinni.
- Nýting Kaldárholtssvæðisins hófst þann 21. janúar 2000 og hefur gjörbreytt til hins betra öllum forsendum fyrir rekstri Hitavetiu Rangæinga.
- Efnasamsetning vatnsins úr holu KH-36 í Kaldárholti er nærfellt eins og í vatni úr holum KH-33 og KH-34. Vatnið er talið að flestu leyti ágætt til vinnslu og ekki talin hætta á að það valdi tæringu né útfellingum hvorki eitt sér né við blöndun við vatnið úr holu LWN-4.
- Vegna styrks flúors og reyndar einnig hás sýrustigs telst vatnið í Kaldárholti ekki hæft til beinnar neyslu og ekki er talið æskilegt að nota það óblandað til að brynna skepnum.
- Á grundvelli stuttra prófana holna KH-34, 35 og 36 var talið að hola KH-36 gæti hæglega staðið undir 30 l/s vinnslu. Við þá vinnslu var spáð 30–45m niðurdrætti í holunni. Afköst holu KH-36 hafa þó sýnt sig vera u.þ.b. 50% meiri og niðurdráttur aðeins 20–25m.
- Árið 2001 var ársmeðalvinnslan í Kaldárholti um 21 l/s, sem svarar til um 30 GWh orkuvinnslu. Það eru um 60% af orkuvinnslu Hitaveitu Rangæinga það árið.
- Árið 2001 fór vatnsborð í holu KH-36 í Kaldárholti lægst í 25 m dýpi þegar vinnsla var mest, en hæst fór það upp undir yfirborð.

- Orkuþörf Hitaveitu Rangæinga er væntanlega fullnægt um næstu framtíð með virkjun Kaldárholtssvæðsins. Þegar til frekari orkuöflunar kemur er líklegt að litið verði til borunar dýpri holu á Kaldárholtssvæðinu en einnig á eftir að rannsaka betur vatnskerfið í Köldukinn.
- Fylgjast þarf vel með mögulegri vatnkólnun vegna niðurrennslis og til þess getur komið að steypa þurfi í holur til að draga úr hættu á slíku.
- Mjög mikilvægt er að hafa áfram gott eftirlit með vinnslusvæðum til að geta brugðist við mögulegum breytingum í tíma.

## 6. HEIMILDIR

- Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 2749-2765.
- Giggenbach, W.F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. Í: D'Amore, F., *Application of Geochemistry in Reservoir Development*. UNITAR/UNDP publication, Rome, Italy, 119-142.
- Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1993. Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarrannsóknir 1987–1992 og möguleikar á frekari orkuöflun. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03 B, 74 s.
- Guðni Axelsson 1998 a. Jarðhitavinnsla á Laugalandi í Holtum. Staða að loknu kulda-kasti. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/01, 9 s.
- Guðni Axelsson 1998 b. Stutt dæluþrófun holu KH-34 í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/03, 6 s.
- Guðni Axelsson 1998 c. Nýting vatns úr holu KH-34 í Kaldárholti. Um áhrif niðurdælingar í holu GN-1 í Götu. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/06, 5 s.
- Guðni Axelsson, Þórólfur Hafstað og Kjartan Birgisson 1999. Loftdæling holu KH-35 í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð GAx-ÞHH/KB-99/01, 6 s.
- Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998 a. Blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum v/Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, greinargerð HÁ-HK 98/02, 2 s.
- Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998 b. Um vatn frá Kaldárholti og Laugalandi, Holtum. Orkustofnun, greinargerð HÁ-HK 98/03, 2 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1998: Jarðhitavatn úr borholum í Kaldárholti. HK-98/03, 5 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson 1996. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1995–1996. Orkustofnun, OS-96072/JHD-41 B, 21 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Kristján Sæmundsson, Halldór Ármannsson og Grímur Björnsson 1998. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1997–1998 og staða vatnsöflunar. Orkustofnun, OS-98077, 30 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Vigdís Harðardóttir 2000. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu á vinnslusvæðum veitunnar á Laugalandi í Holtum og Kaldárholti 1999–2000. Orkustofnun, OS-2000/086 21 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Kristján Sæmundsson og Ingvar Baldursson 2001. Hitaveita Rangæinga - Jarðhitavinnsla, jarðhitaleit, virkjun í Kaldárholti og áhrif Suðurlandsskjálfta á rekstur veitunnar. Orkuþing 2001. (María Jóna Gunnarsdóttir ritstj.) Reykjavík, 607–614.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Vigdís Harðardóttir 2002. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu á vinnslusvæðum veitunnar á Laugalandi í

- Holtum og Kaldárholti 2001. Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, OS-2002/009, 21 s.
- Jakob Þór Guðbjartsson 1999. Jarðlagaskipan og jarðhiti við Kaldárholt, Rang. Háskóli Íslands, Raunvísindadeild, 57 s.
- Jens Tómasson 1990. Kaldárholt, svarfgreining holu 7. Handrit dags. 16. jan. 1990. Orkustofnun.
- Jens Tómasson 1993. Jarðlög holu 1 Núpi í Fljótshlíð. Orkustofnun, greinargerð JT-93/02, 3 s.
- Kristján Sæmundsson 1970. Interglacial lava flows in the lowlands of southern Iceland and the problem of two-tiered columnar jointing. *Jökull* 20, 62–77.
- Kristján Sæmundsson 1988. Borun rannsóknarholu við Kaldárholtslæk í Holtum.- Orkustofnun, greinargerð. KS-88/17.
- Kristján Sæmundsson 1992. Jarðhiti í Kaldárholti, Holtum. Orkustofnun, greinargerð KS-92/13.
- Kristján Sæmundsson 1998. Jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, greinargerð KS-98/01, 3 s.
- Kristján Sæmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ragna Karlsdóttir 1992. Bráðabirgðaskýrsla um holu 1 á Núpi í Fljótshlíð. Orkustofnun, greinargerð KS-HK-RK-92/07 4 s.
- Magnús Ólafsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1990. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1989–1990. Orkustofnun, OS-90047/JHD-27 B, 17 s.
- Orkustofnun 1999. Borun vinnsluholu í Kaldárholti fyrir Hitaveitu Rangæinga. Verk- og útboðslýsing. Orkustofnun, OS-99004.
- Stefán Arnórsson 1991. Geochemistry and geothermal resources in Iceland. In: D'Amore, F. (co-ordinator), Applications of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publication, Rome, 145–196.
- Vigdís Harðardóttir, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1999. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1998–1999. Orkustofnun, OS-99116, 17 s.



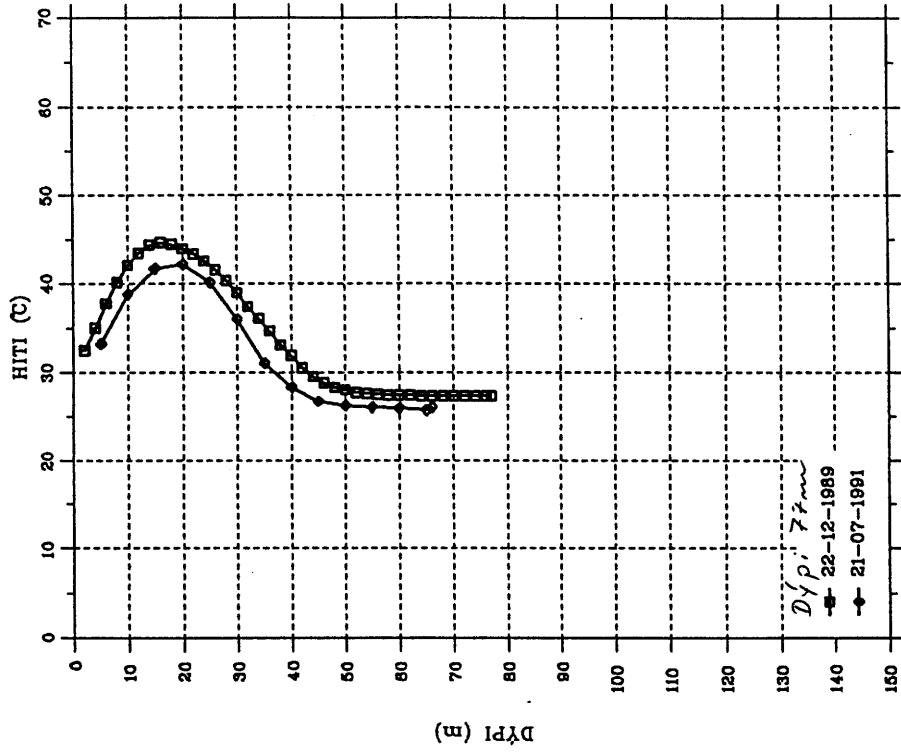


## **VIÐAUKI 1:**

### **Hitamælingar í leitarholum**

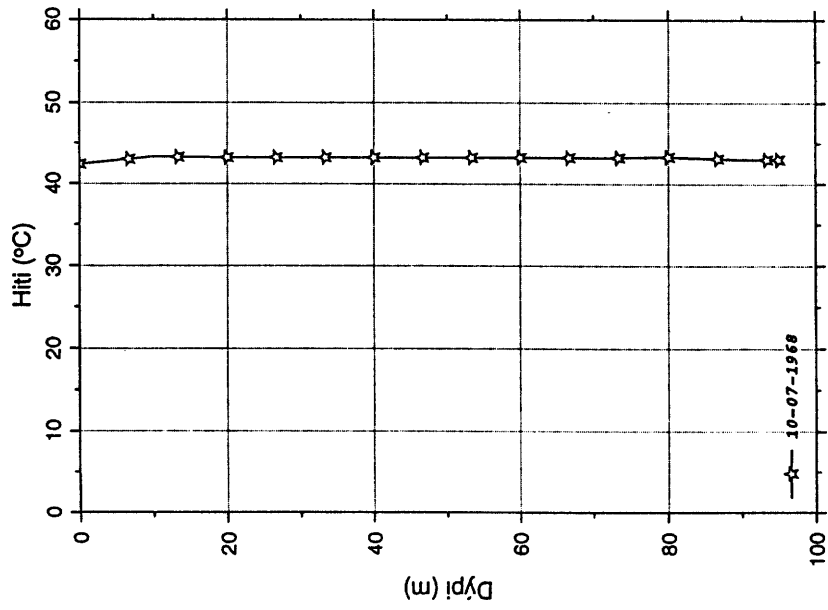
1-29 Sep 1992 ks  
L- 83433 Oracía

Kaldárholt  
Hola 3



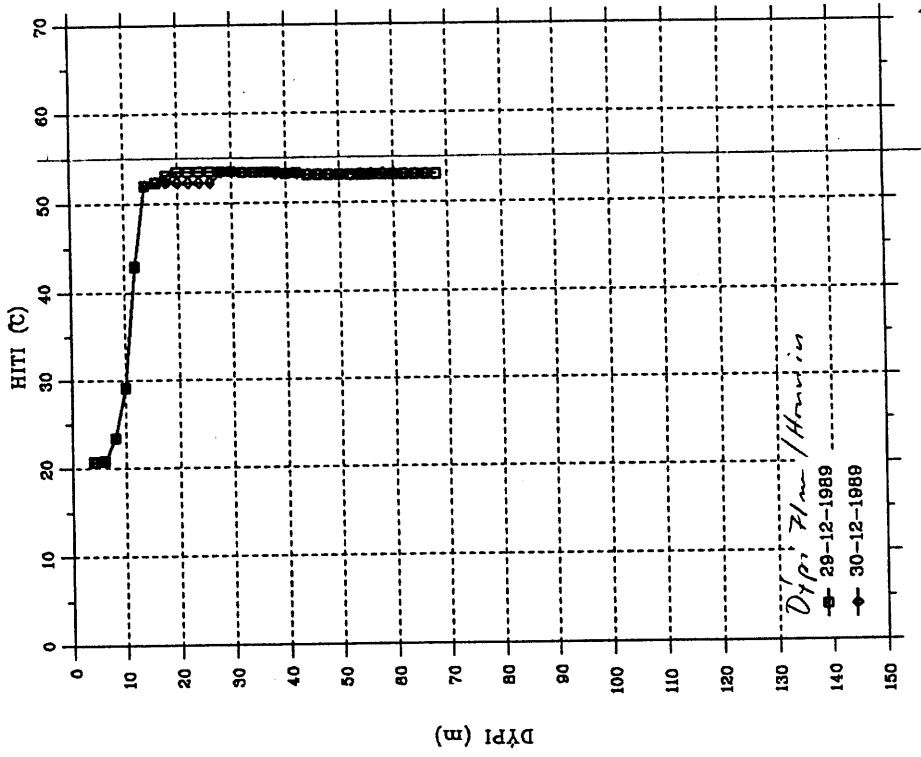
1-16-mai-2002  
ks 83431

Kaldárholt KH-01  
Rangárvallasýsla



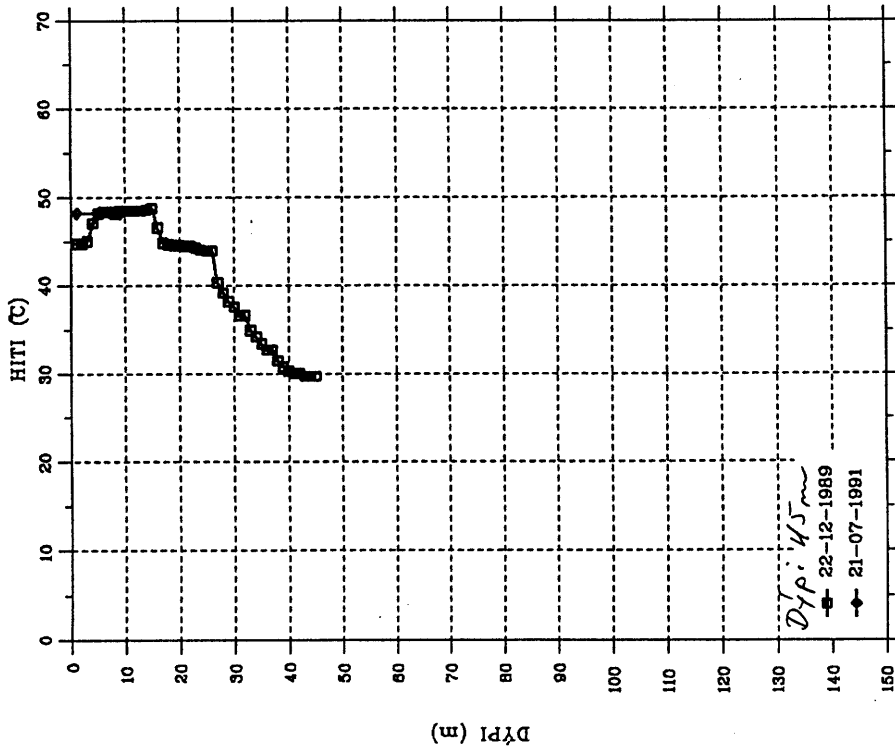
25 Sep. 1982 ka  
L= 83433 Oracle

Kaldárholt  
Hole 5



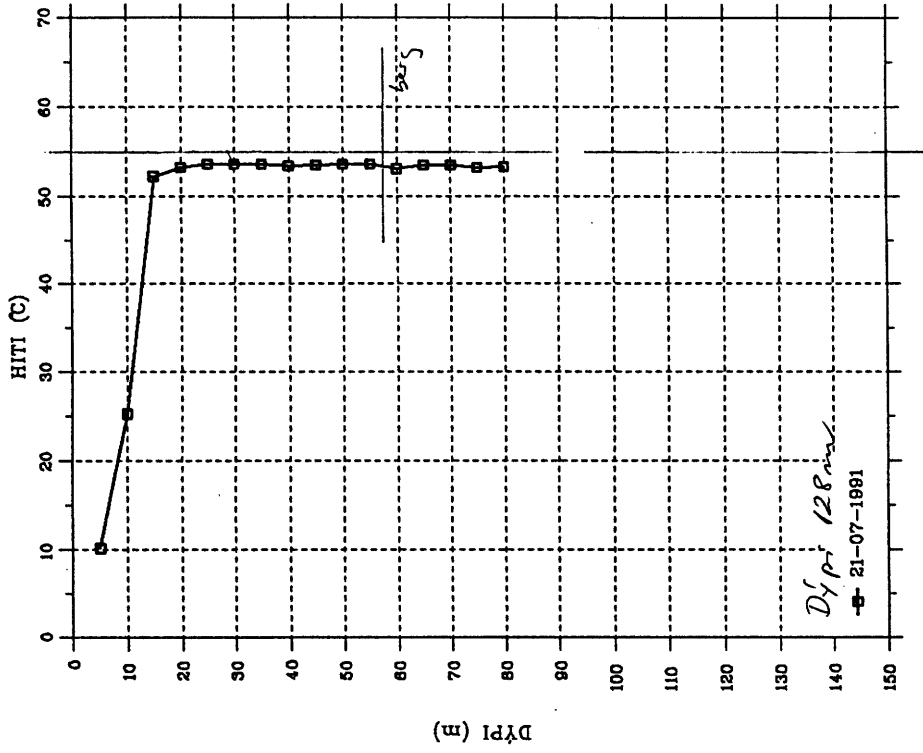
25 Sep. 1982 ka  
L= 83434 Oracle

Kaldárholt  
Hole 4



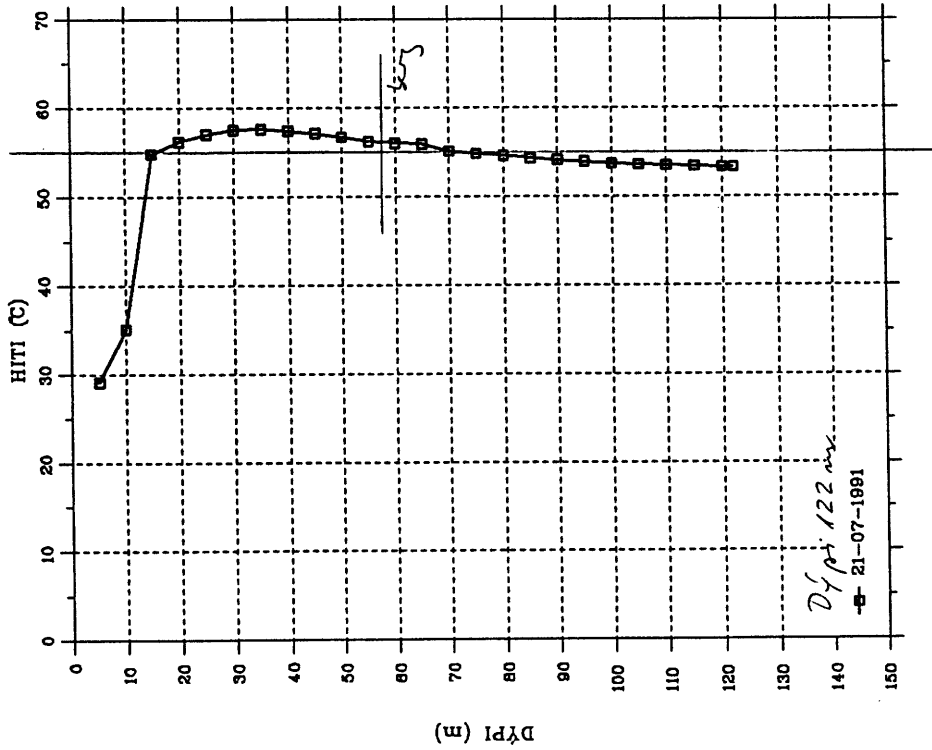
25 Sep 1992 ks  
L- 83437 Oracle

Kaldárholt  
Hola 7



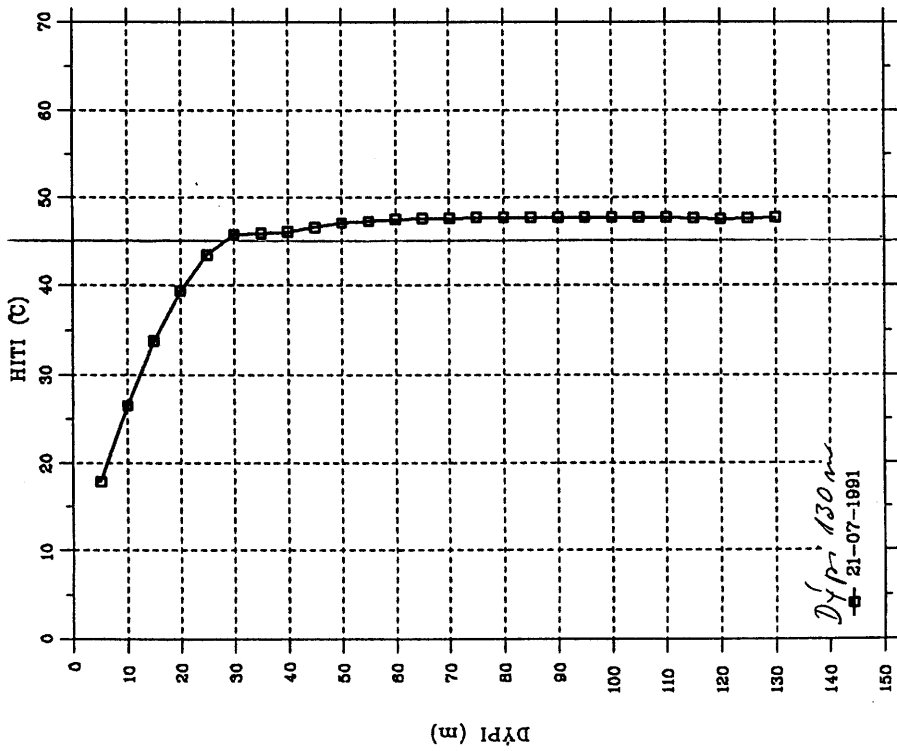
25 Sep 1992 ks  
L- 83436 Oracle

Kaldárholt  
Hola 6



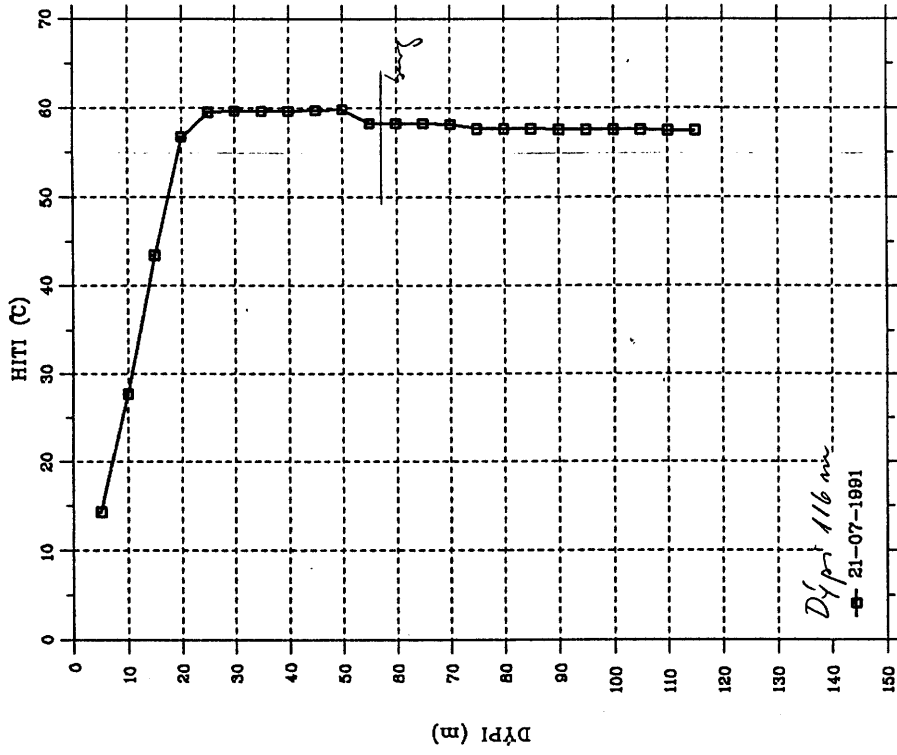
26 Sep 1992, ka  
L- 83438 Oracle

### Kaldárholt Hole 8



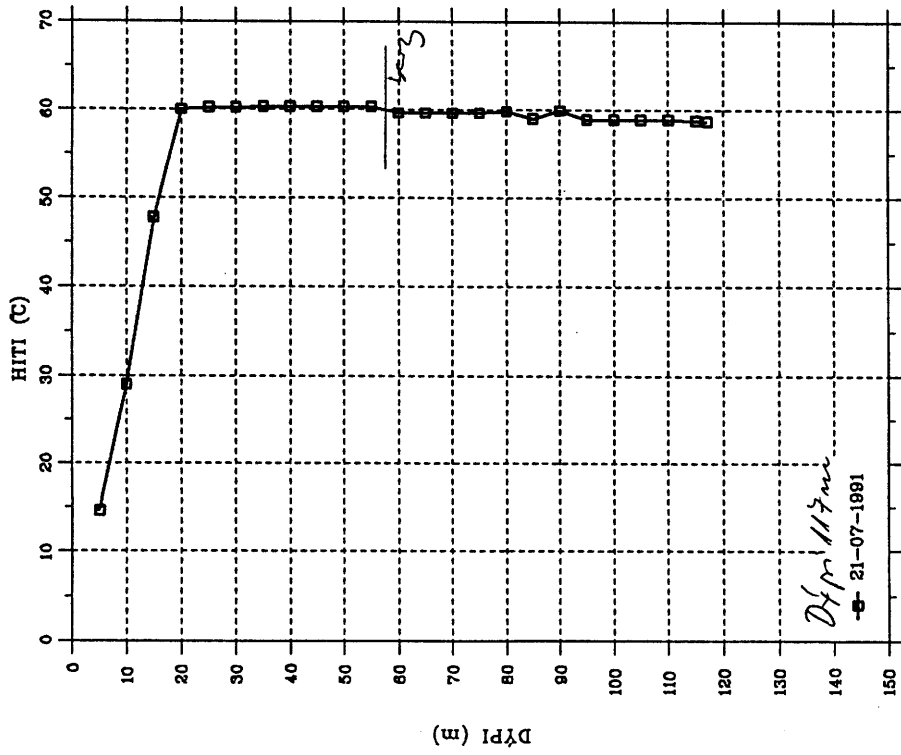
25 Sep 1992, ka  
L- 83439 Oracle

### Kaldárholt Hole 9



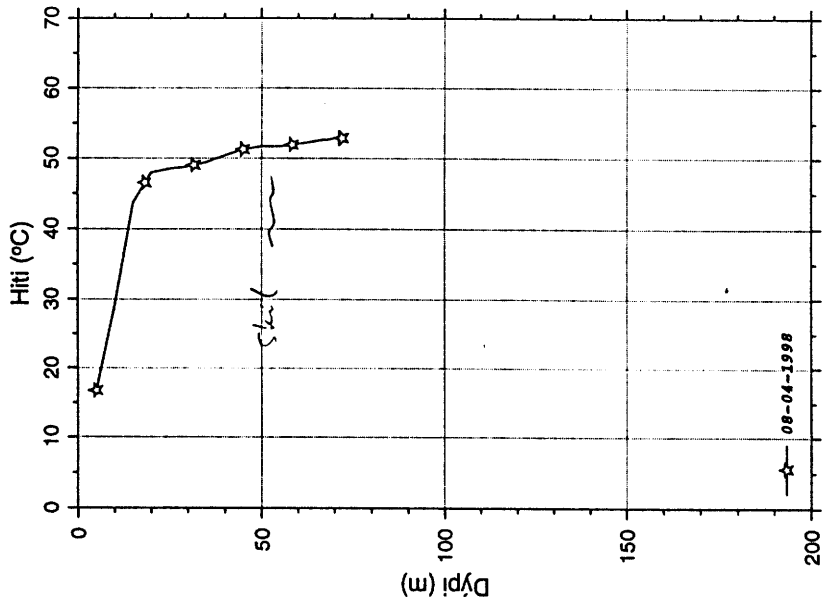
25 Sep 1992 ka  
 83440 Orca

Kaldárholt  
 Hóla 10

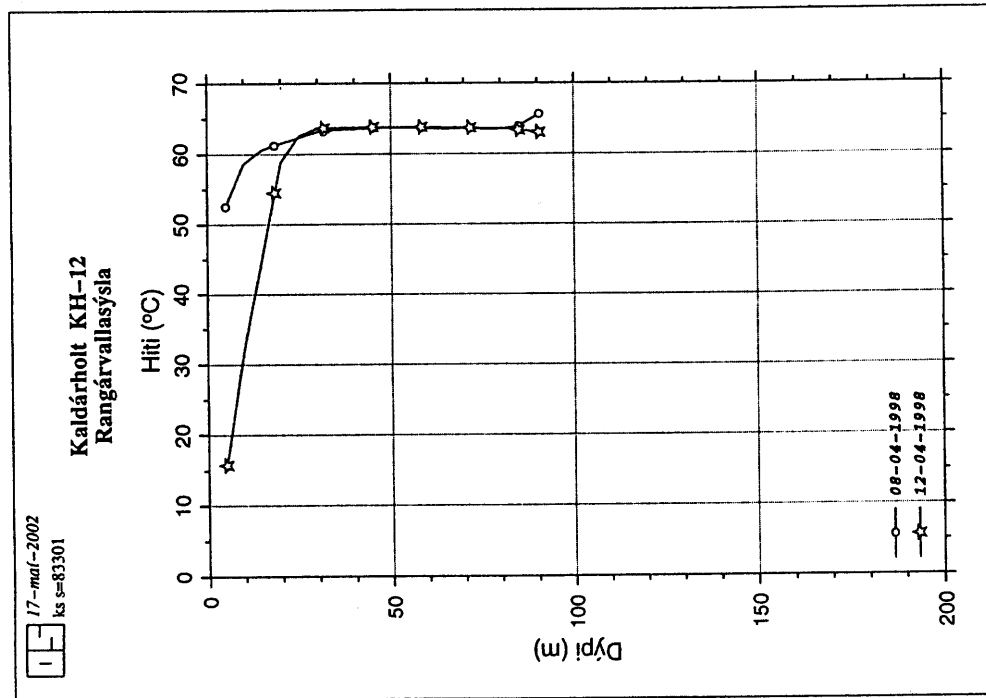
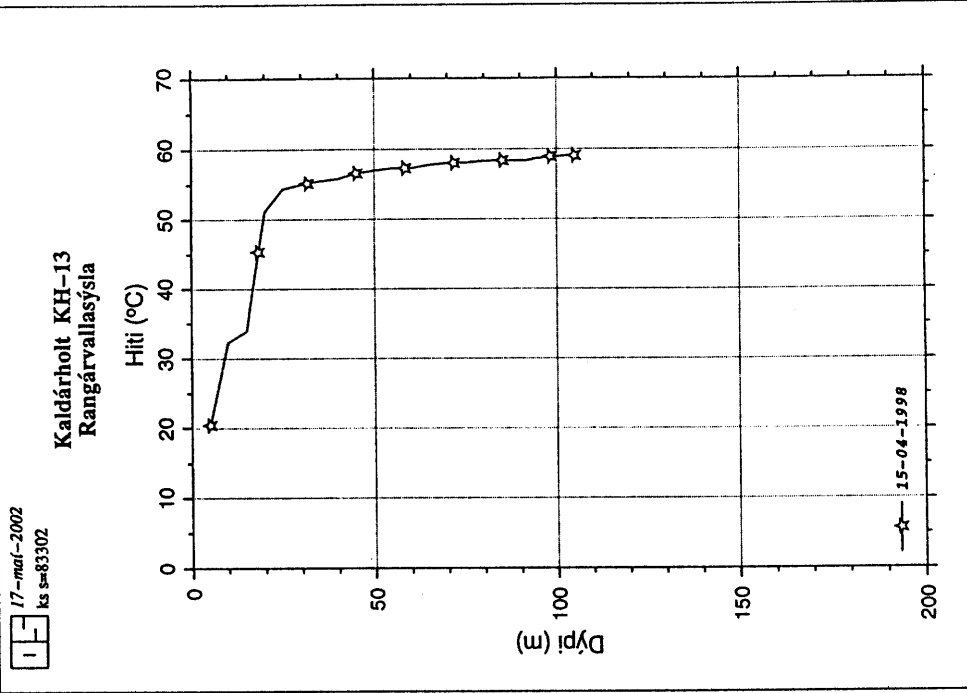


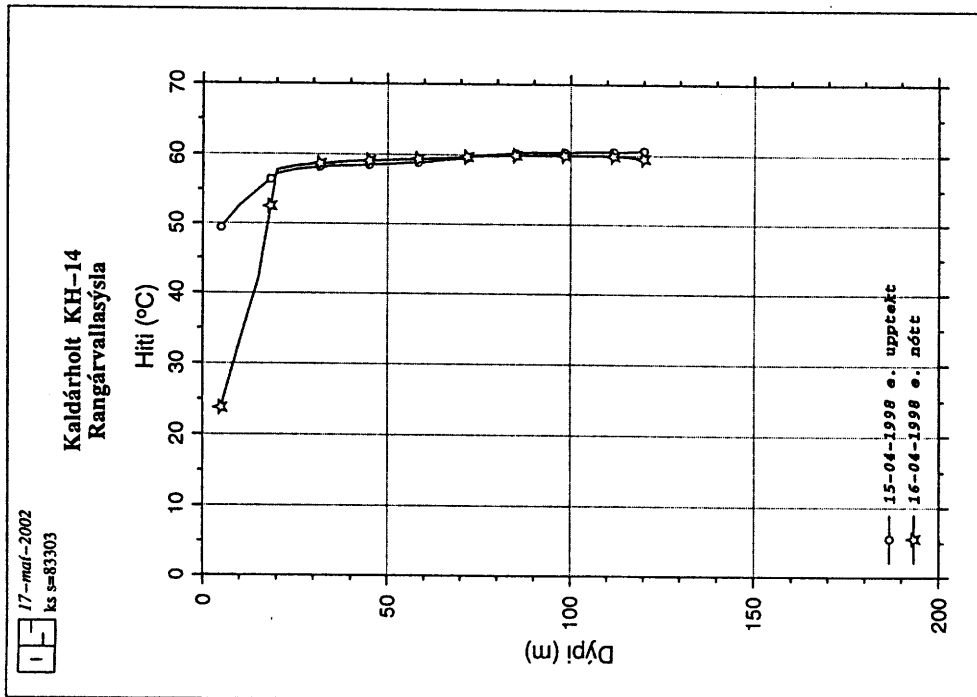
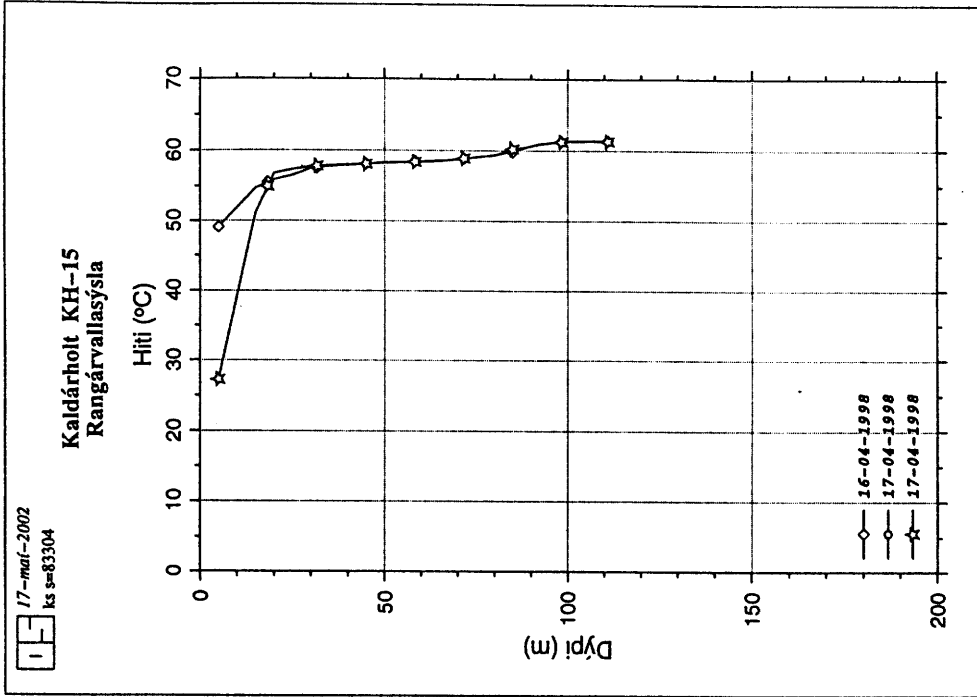
17-mai-2002  
 ka s=83430

Kaldárholt KH-11  
 Rangárvallasýsla



08-04-1998

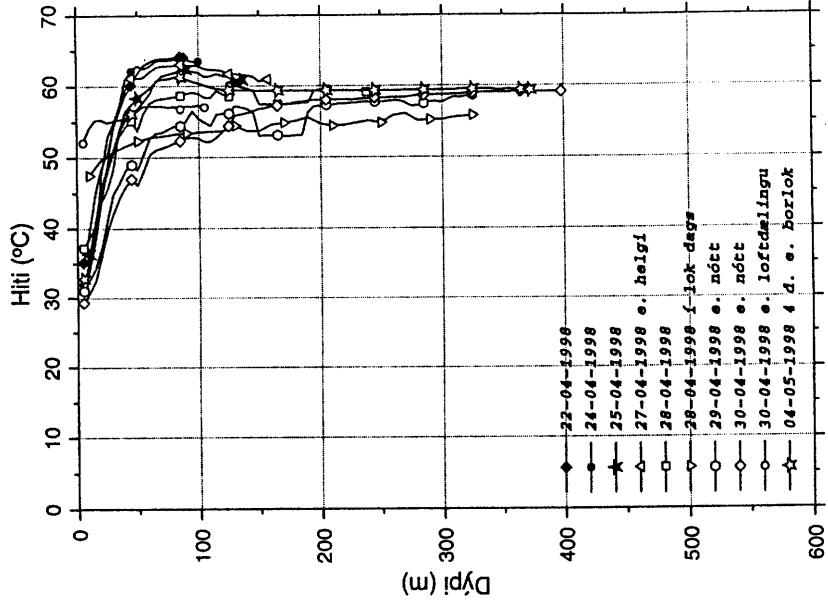






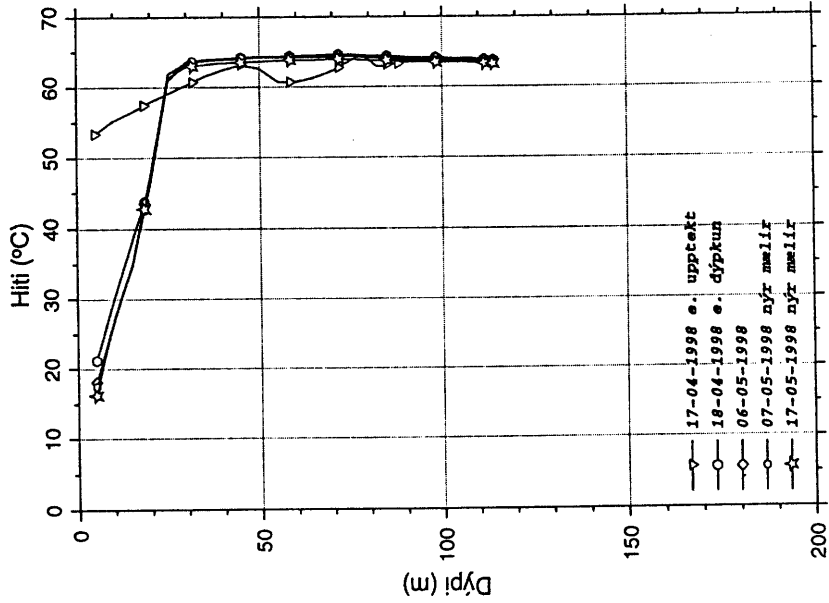
17-maí-2002  
ks s=83306

Kaldárholt KH-17  
Rangárvallasýsla



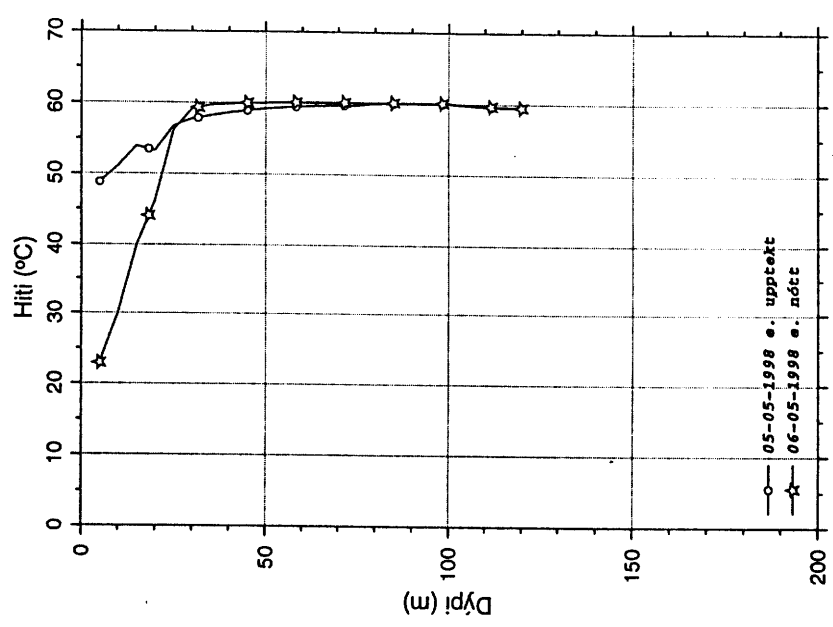
17-maí-2002  
ks s=83305

Kaldárholt KH-16  
Rangárvallasýsla



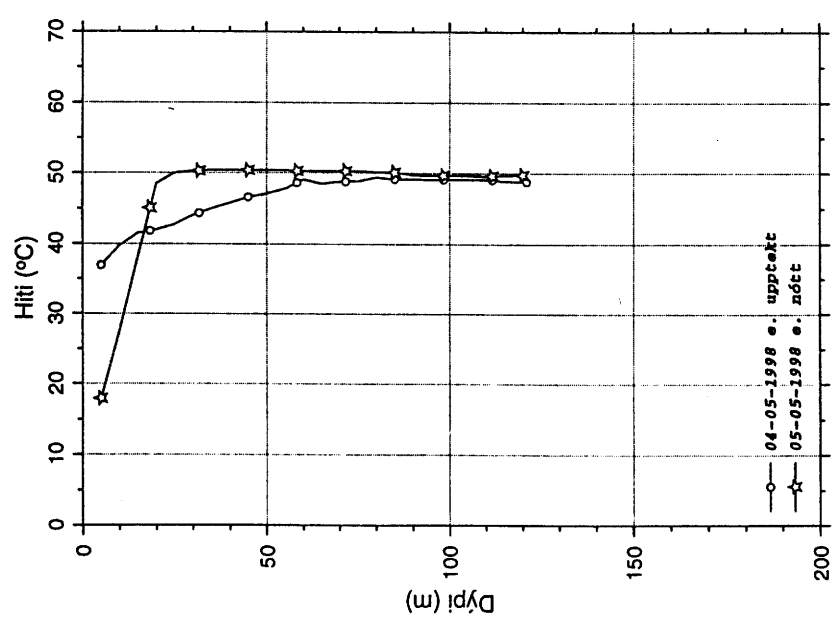
17-mai-2002  
ks s=83308

### Kaldárholt KH-19 Rangárvallasýsla



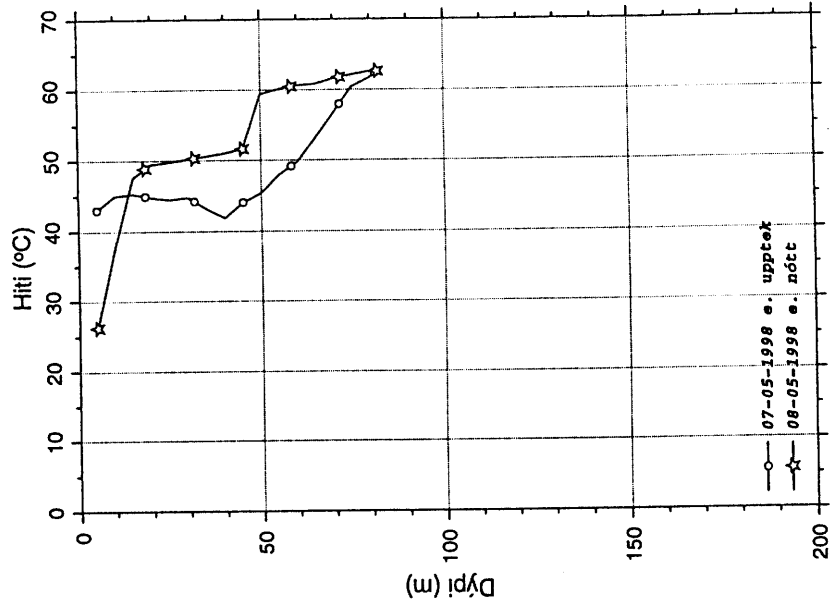
17-mai-2002  
ks s=83307

### Kaldárholt KH-18 Rangárvallasýsla



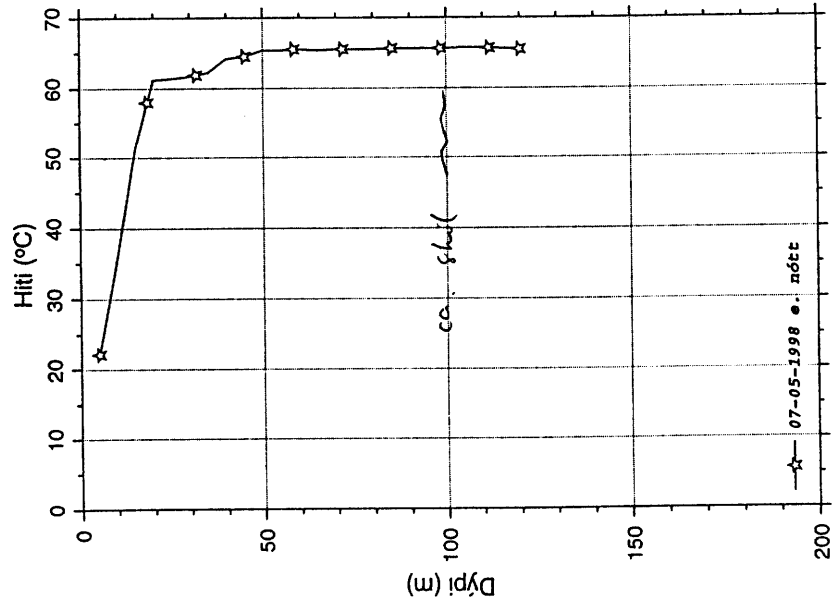
17-máj-2002  
ks s=83310

**Kaldárholt KH-21  
Rangárvallasýsla**



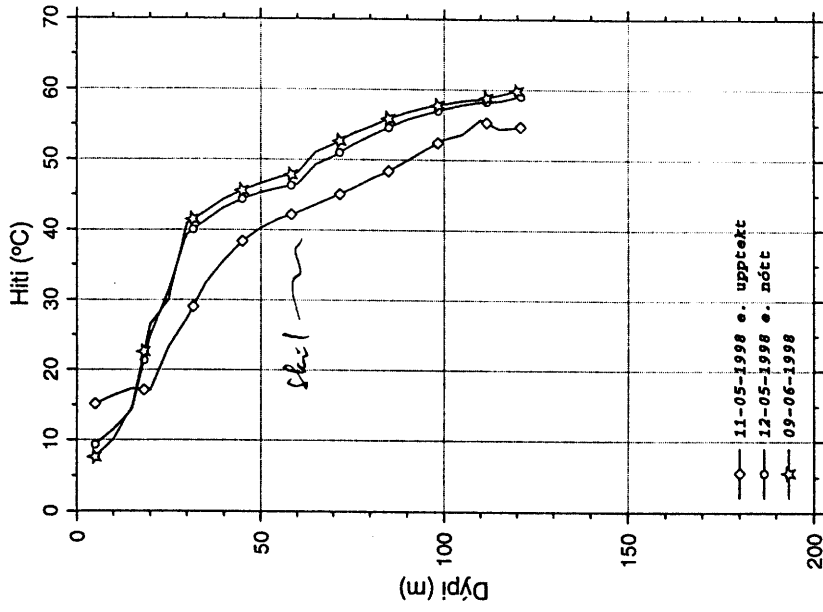
17-máj-2002  
ks s=83309

**Kaldárholt KH-20  
Rangárvallasýsla**



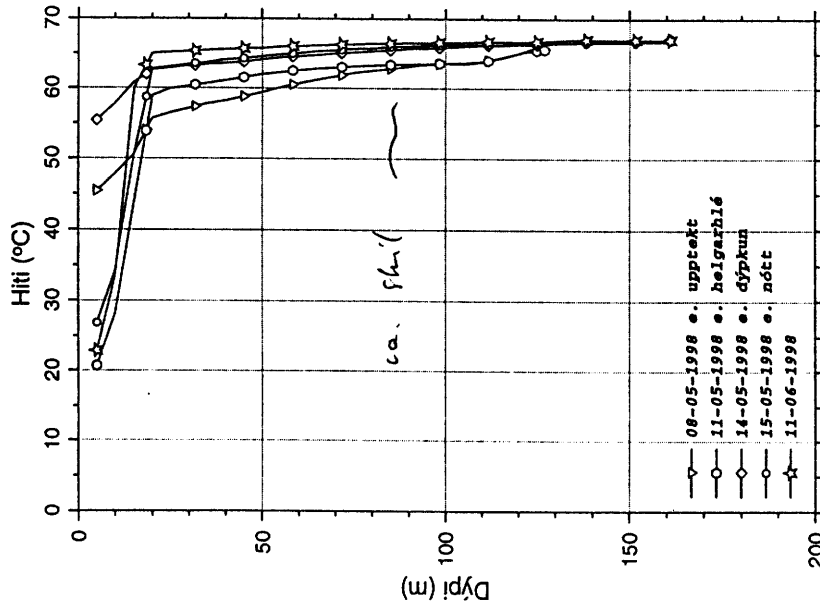
17-máj-2002  
ks s=83312

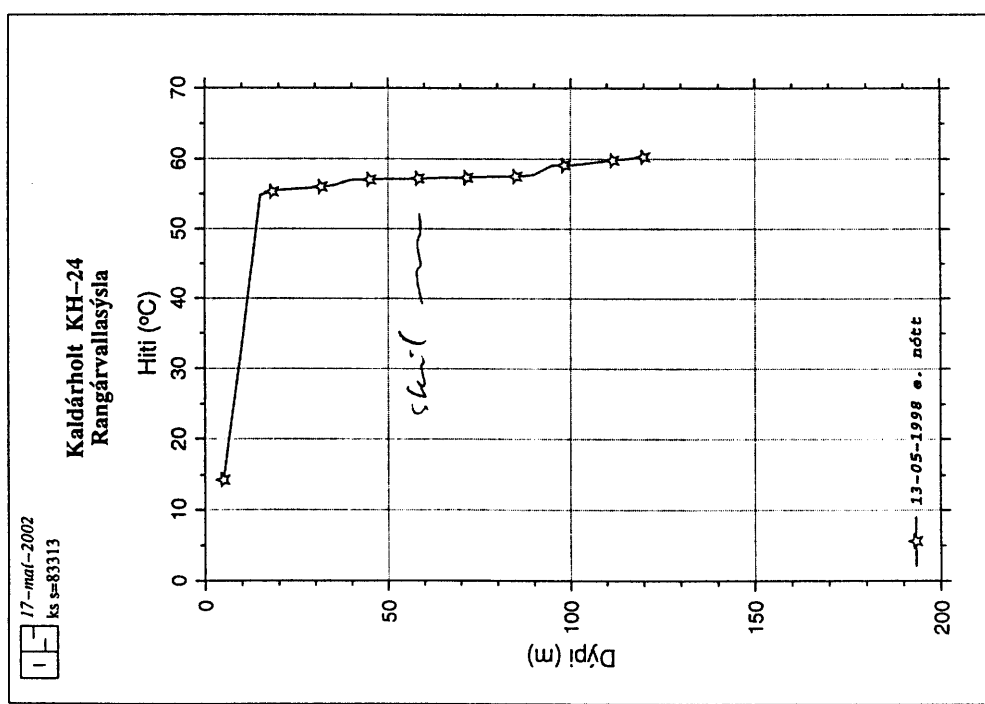
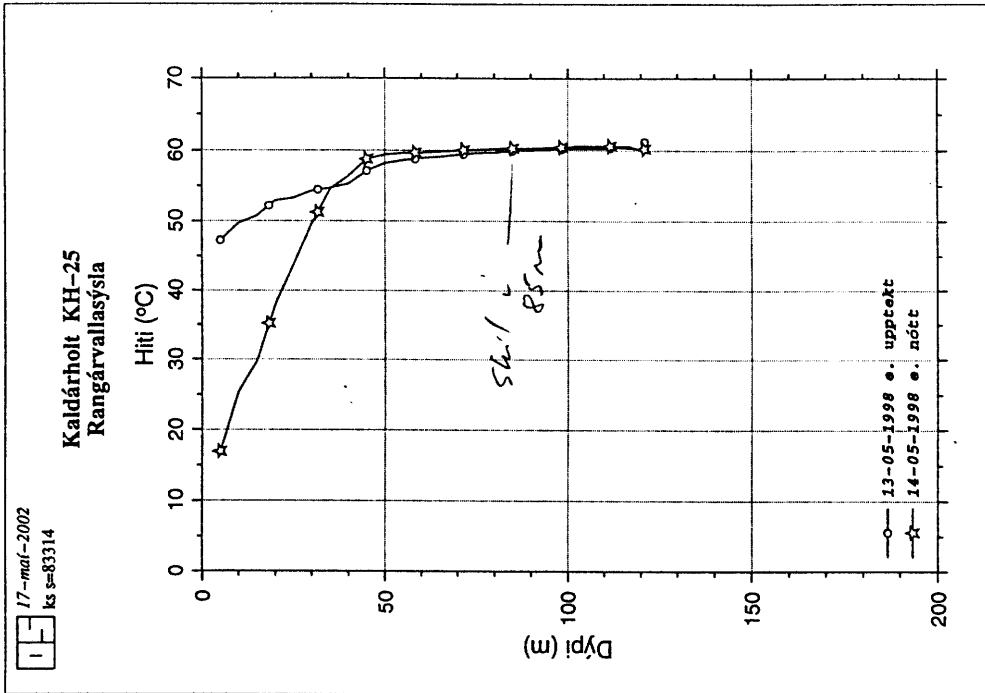
Kaldárholt KH-23  
Rangárvallasýsla



17-máj-2002  
ks s=83311

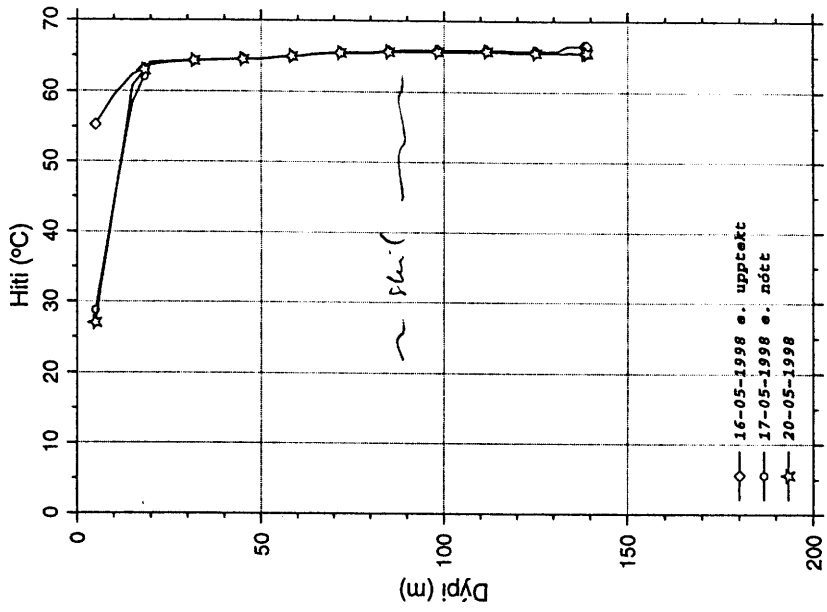
Kaldárholt KH-22  
Rangárvallasýsla





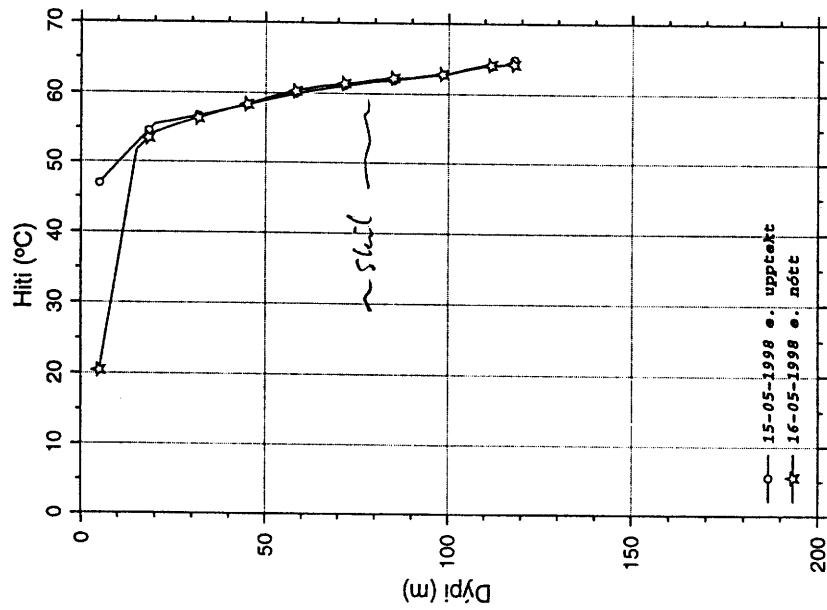
17-mai-2002  
ks s=83316

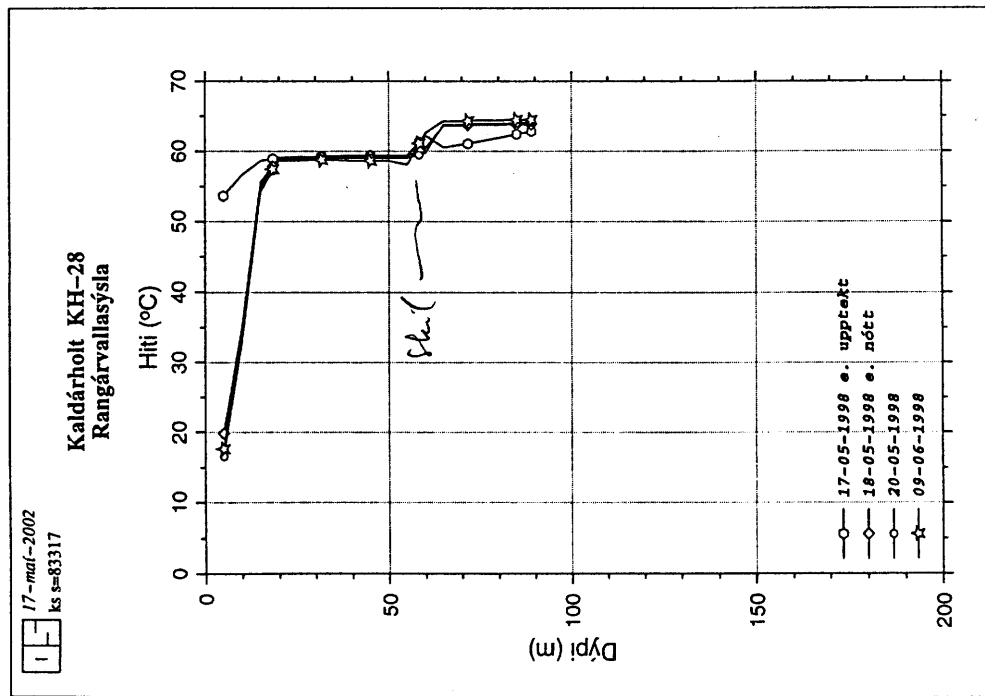
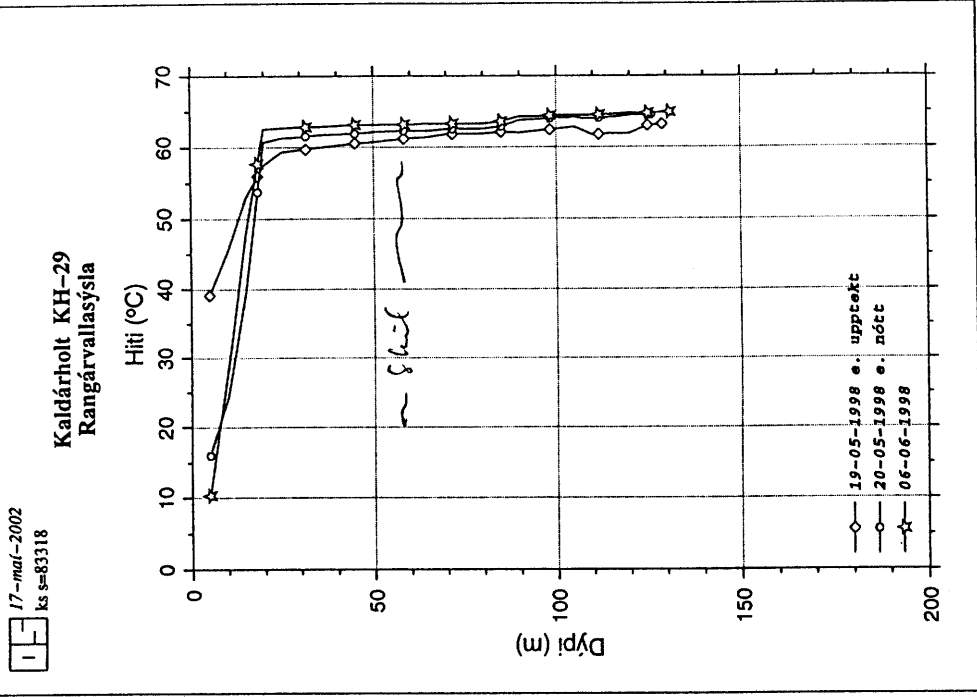
Kaldárholt KH-27  
Rangárvallasýsla

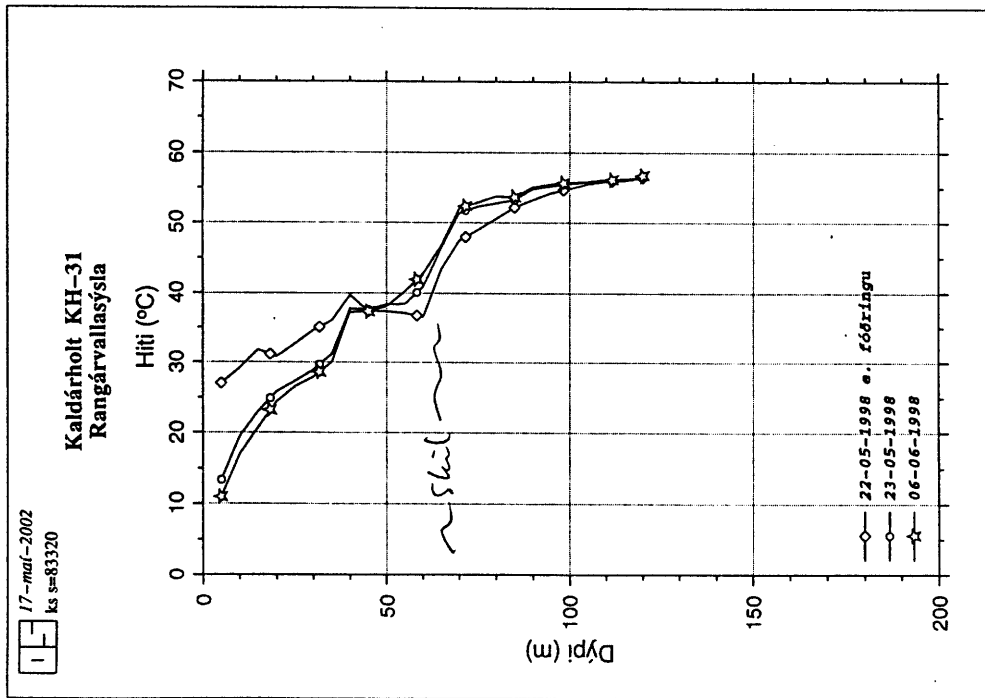
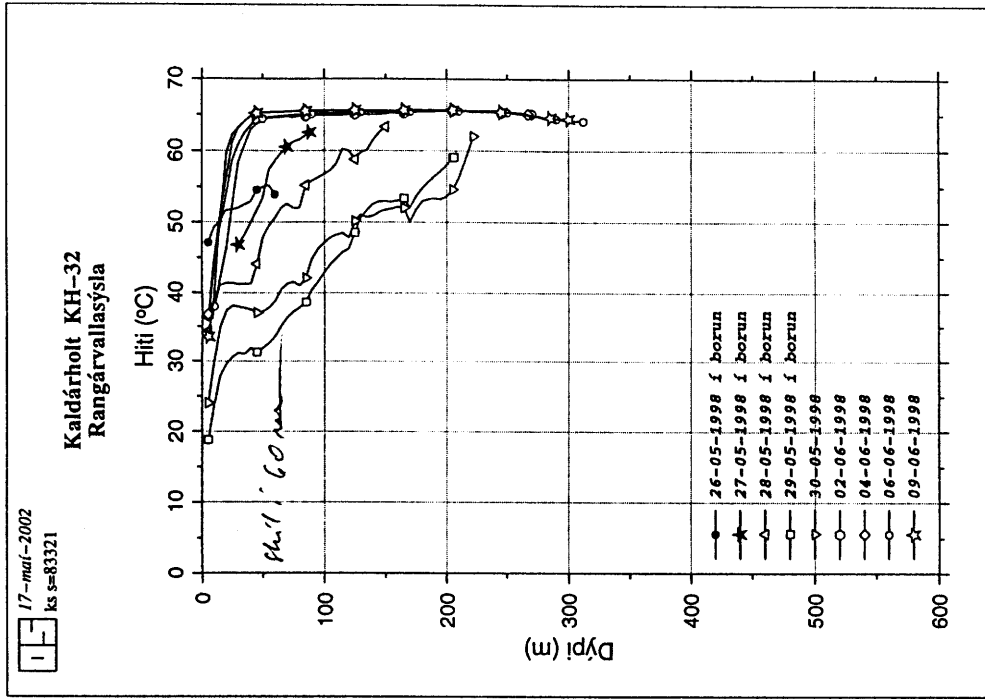


17-mai-2002  
ks s=83315

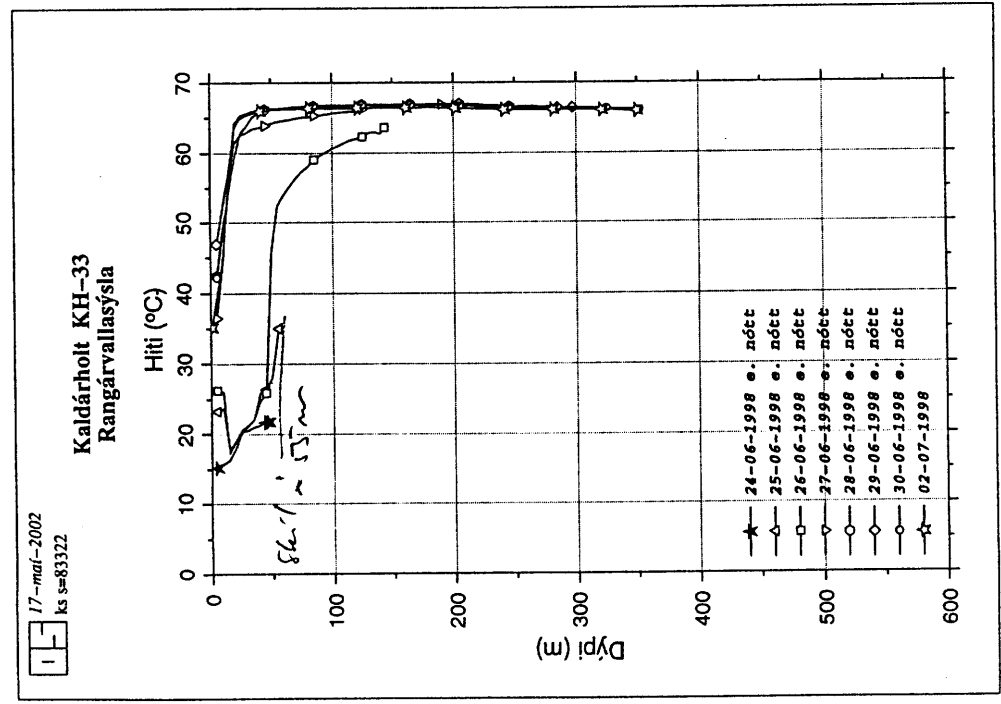
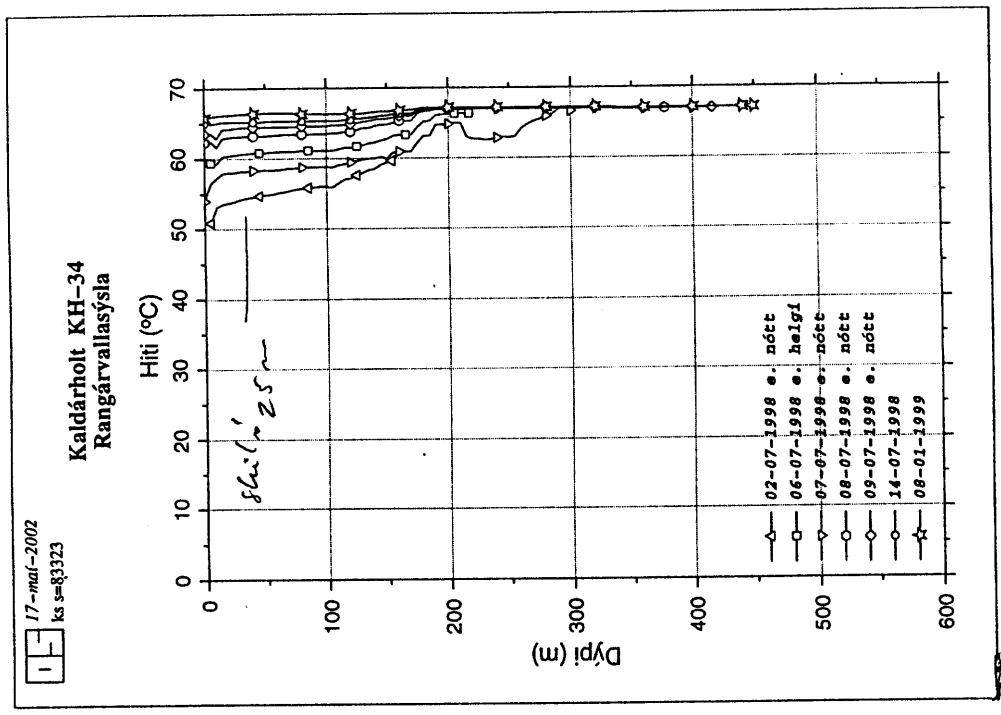
Kaldárholt KH-26  
Rangárvallasýsla





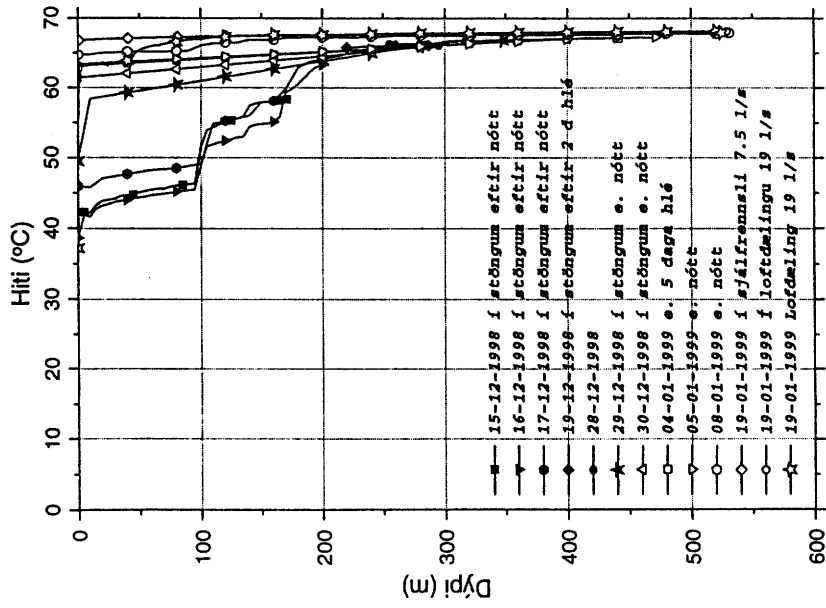






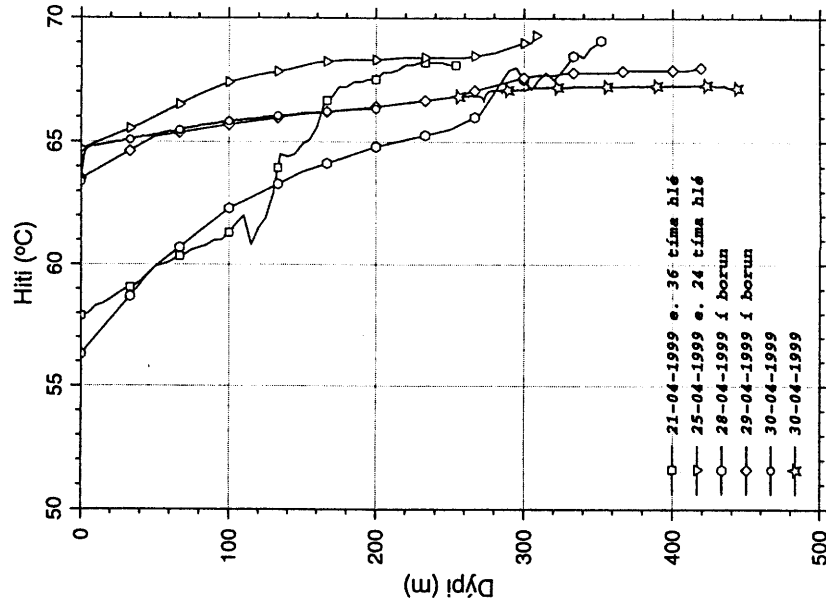
17-maí-2002  
ks s=83324

Kaldárholt KH-35  
Rangárvallasýsla



17-maí-2002  
gak s=83325

Kaldárholt KH-36  
Rangárvallasýsla



16-maf-2002  
ks s=83531

Hagi HA-01  
Rangárvallásýsla

