



**ORKUSTOFNUN**

**Rannsóknasvið**

**Hitaveita Rangæinga**

**Eftirlit með jarðhitavinnslu  
1997-1998  
og staða vatnsöflunar**

**Hrefna Kristmannsdóttir  
Guðni Axelsson  
Kristján Sæmundsson  
Halldór Ármannsson  
Grímur Björnsson**

**1998**

**Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga  
OS-98077**





**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 8-610861

**Hrefna Kristmannsdóttir**  
**Guðni Axelsson**  
**Kristján Sæmundsson**  
**Halldór Ármannsson**  
**Grímur Björnsson**

*Hitaveita Rangæinga*

**Eftirlit með jarðhitavinnslu 1997-1998**  
**og staða vatnsöflunar**

**Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga**

**OS-98077**

**Desember 1998**



<b>Skýrsla nr.:</b> OS-98077	<b>Dags.:</b> Desember 1998	<b>Dreifing:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til <i>efnab</i>
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> HITAVEITA RANGÆINGA Eftirlit með jarðhitavinnslu 1997-1998 og staða vatnsöflunar	<b>Upplag:</b> 35	
	<b>Fjöldi síðna:</b> 30 + viðauki	
<b>Höfundar:</b> Hrefna Kristmannsdóttir Guðni Axelsson Kristján Sæmundsson Halldór Ármannsson Grímur Björnsson	<b>Verkefnisstjóri:</b> Hrefna Kristmannsdóttir	
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Árlegt vinnslueftirlit	<b>Verknúmer:</b> 610 861	
<b>Unnið fyrir:</b> Hitaveitu Rangæinga		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Í skýrslunni er fjallað um vinnslueftirlit hjá Hitaveitu Rangæinga árið 1997-1998. Gerð er grein fyrir efnasamsetningu vatns úr vinnsluholum hitaveitunnar, LWN-4 og GN-1, og breytingum sem verða á efnasamsetningu í dreifikerfinu. Tekið er saman yfirlit um vatnsvinnslu og áhrif hennar á vatnsborð og hita. Einnig er fjallað um stöðu og möguleika Hitaveitunnar hvað frekari orkuöflun varðar, og stutt samantekt er um átak í jarðhitaleit árið 1998 og möguleika á nýtingu vatns frá Kaldárholti. Helstu niðurstöður vinnslueftirlits eru að litlar breytingar eru á efnastyrk vatns úr vinnsluholum. Stöðug tæring er á asbesti í aðveitulögnum, en þó minni en áður. Meðalvinnsla vatns á Laugalandi í Holtum 1998 stefnir í 17,4 l/s sem er um 4% aukning frá meðalvinnslu síðustu ára. Orkuvinnslan verður um 41 GWh. Í miklu kuldakasti í mars 1998 fór vinnslan í 27 l/s, þá mestu í áratug, og vatnsborð fór í 214 m, eða neðar en nokkru sinni áður og neðar en búist hafði verið við. Ástæðurnar má rekja til mikils vinnslutopps og eiginleika jarðhitakerfisins. Verði viðlíka kuldatið nú í vetur er nokkur hættu á vatnsskort, sem væntanlega má mæta með hækkun framrásarhita frá kyndistöð. Helstu kostir á frekari orkuöflun veitunnar eru bein nýting 67°C heits vatns frá Kaldárholti, niðurdæling vatns þaðan í Laugalandssvæðið og endurnýjun aðveitulagnar á Hellu, auk djúpbörunar í Kaldárholti.		
<b>Lykilorð:</b> Hitaveita, lágheatavæði, vinnsla, eftirlit, vatnsborð, hiti, efnastyrkur, jarðhitaleit	<b>ISBN-númer:</b>	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> <i>Hrefna Kristmannsdóttir</i>	
	<b>Yfirfarið af:</b> HK, GAx	

## EFNISYFIRLIT

1. Inngangur	5
2. Efnasamsetning vatns í holum LWN-4 og GN-1	5
3. Efnasamsetning vatns í dreifikerfi	10
4. Vinnsla, vatnsborð og vatnshiti	11
5. Staða vatnsöflunar og valkostir til frekari orkuöflunar	17
6. Jarðhitaleit	18
7. Efnasamsetning vatns í Kaldárholti	20
8. Um áhrif nýtingar vatns frá Kaldárholti	22
9. Samandregnar niðurstöður	27
10. Heimildir	29
Viðauki: Greinargerðir um málefni Hitaveitu Rangæinga 1998	31

Listi yfir greinargerðir í viðauka í tímaröð:

- Greinargerð um vatnsöflun Hitaveitu Rangæinga á komandi árum.  
Greinargerð HK/KS/GrB/ÓGF-97/03.
- Jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga. Greinargerð KS-98/01.
- Hitaveita Rangæinga. Greining berglaga í rannsóknarholum. Greinargerð GÓF-98/04.
- Jarðhitavinnsla á Laugalandi í Holtum. Staða að loknu kuldakasti í mars 1998.  
Greinargerð GAx-98/01.
- Jarðhitavatn úr borholum í Kaldárholti. Greinargerð HK-98/03.
- Blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum v/Hitaveitu Rangæinga.  
Greinargerð HÁ-HK 1998/02.
- Um vatn frá Kaldárholti og Laugalandi, Holtum. Greinargerð HÁ-HK 1998/03.
- Jarðhitaleit í Kaldárholti. Minnisblað 20.07.98.
- Stutt dæluþrófun holu KH-34 í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/03.
- Nýting vatns úr holu KH-34 í Kaldárholti. Um áhrif niðurdælingar í holu GN-1 í Götu.  
Greinargerð GAx-98/06.
- Vinnsla heits vatns úr holu 3 á Laugalandi í Holtum. Greinargerð GrB-98/07.

## Töfluskra

Tafla 1. Efnasamsetning vatns úr holu LWN-4	6
Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu GN-1	6
Tafla 3. Styrkur kalsíums og súrefnis í dreifikerfi	10
Tafla 4. Vinnsla úr jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum 1982-1998	11
Tafla 5. Efnasamsetning heildarsýna jarðhitavatns frá Kaldárholti	20
Tafla 6. Kísil- og klórstyrkur í hlutsýnum frá holum KH-17 og KH-3	21
Tafla 7. Áætlanir um rennsli, hita og orkuflutning fyrir mismunandi tilfelli samnýtingar Kaldárhólts og holu LWN-4	24

## Myndaskra

Mynd 1. Klóríðinnihald í vatni úr holu LWN-4	7
Mynd 2. Natríuminnihald í vatni úr holu LWN-4	7
Mynd 3. Kísilinnihald í vatni úr holu LWN-4	8
Mynd 4. Breytingar á styrk klóríðs í holu GN-1	8
Mynd 5. Breytingar á styrk natríums í holu GN-1	9
Mynd 6. Breytingar á styrk kísils í holu GN-1	9
Mynd 7. Aukning kalsíums í vatni á leið um veitulög	10
Mynd 8. Vatnsborð í holum LWN-4 og GN-1 ásamt vinnslu, okt. 1996 til nóv. 1998	12
Mynd 9. Vikumeðaldæling úr LWN-4 og útihiti, október 1996 til nóvember 1998	13
Mynd 10. Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982	14
Mynd 11. Spá um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 næsta árið, með og án kuldakasts	15
Mynd 12. Vikumeðaldæling og hiti vatns úr LWN-4, október 1996 til nóvember 1998	16
Mynd 13. Hiti vatns úr LWN-4 skv. mælingum Hitaveitunnar og vinnsla á Laugalandi frá 1987	16
Mynd 14. Mælt og áætlað samband rennslis og vatnsborðs í holu KH-34 í Kaldárholti	22
Mynd 15. Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 næstu fimm árin fyrir fjögur vinnslutilfelli	23
Mynd 16. Áætlaður tími frá byrjun niðurdælingar í holu GN-1 þar til kólnunar gætir í holu LWN-4	25
Mynd 17. Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 við 12 l/s ársmeðalvinnslu, án niðurdælingar og með 4 l/s niðurdælingu í GN-1 í 3 mánuði á sumrin	26
Mynd 18. Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 við 12 l/s ársmeðalvinnslu án niðurdælingar og með 2 l/s niðurdælingu í GN-1 í 6 mánuði á veturna	26

## 1. Inngangur

Í skýrslunni er fjallað um vinnslueftirlit hjá Hitaveitu Rangæinga árið 1997-1998. Verkið er unnið samkvæmt samningi Hitaveitunnar og Orkustofnunar nr. 611861-1989. Tekið er saman yfirlit yfir vatnsvinnslu og áhrif hennar á vatnsborð og hita. Fjallað er um efnasamsetningu vatns úr vinnsluholum veitunnar, LWN-4 og GN-1, og breytingar sem verða á efnasamsetningu í dreifikerfinu. Einnig er í skýrslunni yfirlit yfir stöðu og möguleika Hitaveitu Rangæinga varðandi orkuöflun í framtíðinni og stutt samantekt um átak Hitaveitunnar í jarðhitaleit árið 1998, þ.á.m. niðurstöður efnarannsóknna og dæluþrófunar í Kaldárholti, og fjallað um möguleika á nýtingu vatnsins þar. Jafnframt er að finna í viðauka allar greinargerðir þessu tengdar, sem skrifaðar hafa verið á árinu. Skýrslur samþærilegar þessari hafa verið teknar saman allmörg undanfarnin ár (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996; Guðrún Sverrisdóttir o.fl. 1997; Magnús Ólafsson o.fl., 1990).

## 2. Efnasamsetning vatns í holum LWN-4 og GN-1

Þann 1. desember sl. var tekið sýni úr vinnsluholu hitaveitunnar LWN-4 og samdægurs voru tekin sýni úr dreifikerfinu. Þessi sýnataka fór fram nokkuð seint á árinu eins og verið hefur á undanförunum árum aðallega vegna anna á Orkustofnun á þessum árstíma. Sýni var tekið úr holu GN-1 á vormánuðum, en grípa þurfti til þess ráðs að dæla úr henni til að jafna vatnstöku á svæðinu yfir kaldasta tíma vetrarins. Efnagreiningar á öllum helstu uppleystum efnum, nokkrum sporefnum og vetnis- og súrefnissamsætum í vatnssýnunum úr holunum eru í töflum 1 og 2 ásamt eldri efnagreiningum úr þeim til samanburðar. Eins og fram kemur í töflu 1 er ekki um neinar stórfelldar breytingar að ræða á efnasamsetningu í holu LWN-4 frá fyrra ári. Efnainnihald vatnsins hefur verið að lækka með tímanum (myndir 1, 2, 3) vegna innstreymis kaldara og efnasnauðara vatns inn í jarðhitakerfið, en hægt hefur á því á allra síðustu árum. Þetta kemur vel fram á myndum 1 og 2 sem sýna breytingar á styrk klóríðs og natríum, sem eru mælikvarði á seltu vatnsins. Styrkur natríums er reyndar einnig háður hitastigi þess. Styrkur kísils er háður hitastigi vatnsins og breytist hann lítið (mynd 3), sem þýðir að kæling er ekki yfirvofandi í náinni framtíð. Svæðið virðist þannig ná að hita upp það innstreymi, sem nú er af köldu efnasnauðu vatni.

Niðurstöður efnagreininga á vatnssýninu úr holu GN-1 eru sýndar í töflu 2 og til samanburðar eru sýndar niðurstöður efnagreininga á eldri sýnum úr holunni. Á myndum 4, 5 og 6 eru sýndar breytingar á styrk klóríðs, natríum og kísils. Síðast var tekið sýni úr þeirri holu í ársbyrjun 1997 en þar áður árið 1992, enda hefur sáralítil vinnsla verið úr henni. Frá því að síðasta sýni var tekið hefur ekki orðið nein breyting að ráði á efnasamsetningu vatnsins. Hins vegar varð veruleg breyting á þeim fimm árum sem liðu þar áður milli sýna. Vatnið þynntist verulega sem kemur fram í því að styrkur allra salta lækkaði. Styrkur kísils sem er í beinu samhengi við hitastig lækkaði verulega. Styrkur kísils er hins vegar sá sami nú og í sýni frá 1997. Hlutfall stöðugu samsætnanna  $\delta D$  og  $\delta^{18}O$  hefur einnig breyst á þann hátt að vatnið hefur þyngst, en það bendir til að staðbundið grunnvatn hafi í auknum mæli runnið inn í jarðhitakerfið. Súrefnissamsætuhlutfall í sýni frá 1998 er nokkru hærra en 1997, sem þýðir áframhaldandi þyngingu vatnsins. Við mat á efnafræðigögnunum ber þess að gæta að fyrri mælingar sýna að hitastig vatnsins sveiflast í takt við dælt magn úr holunni, sem hefur væntanlega áhrif á efnainnihald og einungis eitt sýni var tekið árin 1997 og 1998, og mjög fá sýni eru einnig til samanburðar frá fyrri tíð.

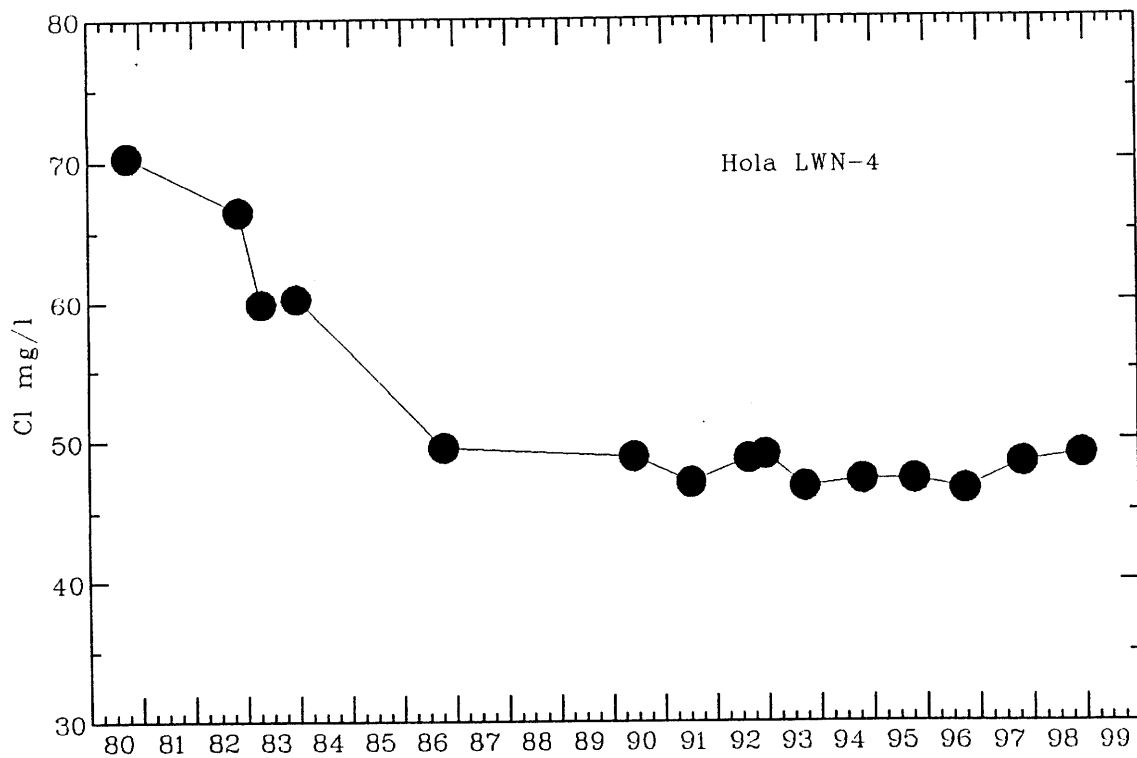
**Tafla 1. Efnasamsetning vatns úr holu LWN-4.**

Sýnanúmer	1993-0158	1994-0240	1995-0168	1996-0283	1997-0649	1998-0625
Dagsetning	93-09-13	94-10-18	95-10-12	96-09-25	97-10-21	98-12-01
Hitastig °C	98,6	99,2	100,6	98,4	98,2	99,2
pH/°C	9,8/24	9,7/24	9,8/22	9,9/22	9,8/22	9,8/22
Heildar karbónat(CO <sub>2</sub> )	23,7	20,3	22,7	21,0	22,1	22,5
Brennist. vetni (H <sub>2</sub> S)	0,07	<0,03	0,2	0,13	0,12	0,11
Bór (B) mg/l	0,26	-	0,25	0,33	0,19	0,25
Leiðni μS/cm	464	467	464	462		472
Kísill (SiO <sub>2</sub> ) mg/l	98,8	97,6	95,0	97,2	95,3	95,4
Heildar uppl. mg/l	343	353	361	307	309	
Súrefni O <sub>2</sub> mg/l	0	0	0	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	89,9	93,1	89,8	92,8	93,5	
Kalíum (K) mg/l	1,8	1,8	1,7	1,7	1,8	1,8
Magnesium (Mg) mg/l	0,006	0,004	0,005	0,003	0,001	
Kalsíum (Ca) mg/l	3,1	2,9	3,1	3,0	3,0	3,2
Fluoríð (F) mg/l	0,89	0,86	0,80	0,86	0,86	
Klóríð (Cl) mg/l	46,7	47,2	47,2	46,5	49,4	49,0
Súlfat (SO <sub>4</sub> ) mg/l	67,8	66,9	67,0	65,9	66,5	69,8
Al (Al) mg/l	0,217	-	0,202	0,191	0,212	
Járn (Fe) mg/l	0,0013	-	0,0052	0,008	0,0017	
Mangan (Mn) mg/l	0,0005	-	0,0003	0,0001	0	
δD ‰	-	-	-	-	-	
δ18O ‰	-10,55	-10,58	-10,58	-10,57	-10,53	

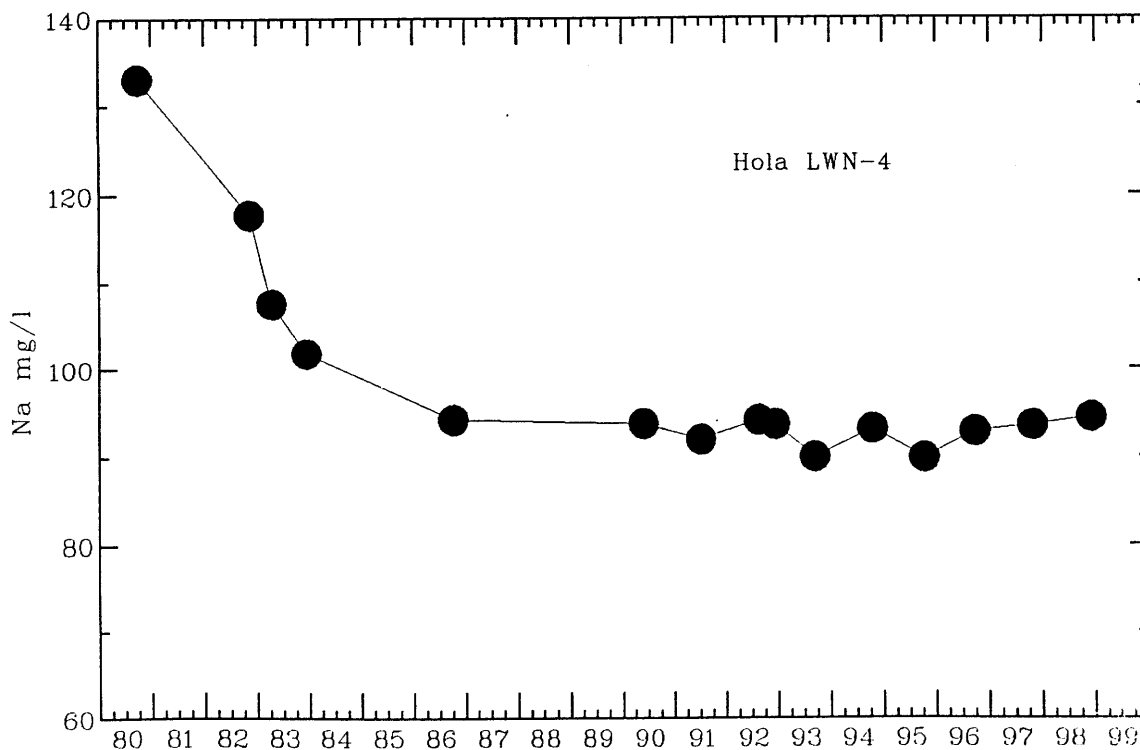
**Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu GN-1.**

Sýnanúmer	1985-0261	1990-0098	1992-0141	1997-0001	1998-0053
Dagsetning	85-10-07	90-05-31	92-06-30	97-01-03	98-02-26
Hitastig °C	85,0	73,0	76,0	74,9	72
pH/°C	10,0/21	9,9/25	9,8/26	9,9/18	9,8/22
Heildar karbónat(CO <sub>2</sub> )	31,7	35,8	32,8	31,9	36,9
Brennist. vetni (H <sub>2</sub> S)	0,07	<0,03	<0,05	0,04	0,04
Bór (B) mg/l	-	0,18	0,18	0,13	0,19
Leiðni μS/cm	297	262	267	276	267
Kísill (SiO <sub>2</sub> ) mg/l	88,3	76,9	76,6	70,1	70,1
Heildar uppl. mg/l	247	226	236	205	214
Súrefni O <sub>2</sub> mg/l	0	0,002	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	61,0	57,6	60,3	57,5	58,3
Kalíum (K) mg/l	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8
Magnesium (Mg) mg/l	0,0	0,048	0,004	0,001	0,007
Kalsíum (Ca) mg/l	1,6	1,0	1,5	1,3	1,4
Flúoríð (F) mg/l	0,73	0,58	0,56	0,51	0,488
Klóríð (Cl) mg/l	23,4	18,2	20,5	21,3	18,5
Brómíð (Br) mg/l	-	0,05	0,06	-	-
Súlfat (SO <sub>4</sub> ) mg/l	23,5	16,2	20,9	17,3	16,5
Al (Al) mg/l	-	0,18	0,18	0,156	0,168
Járn (Fe) mg/l	-	-	0,009	0,005	0,006
Mangan (Mn) mg/l	-	-	-	0,0002	0,001
δD ‰	-	-65,8	-64,8	-61,7	-
δ18O ‰	-9,23	-9,13	-9,22	-9,11	-9,03

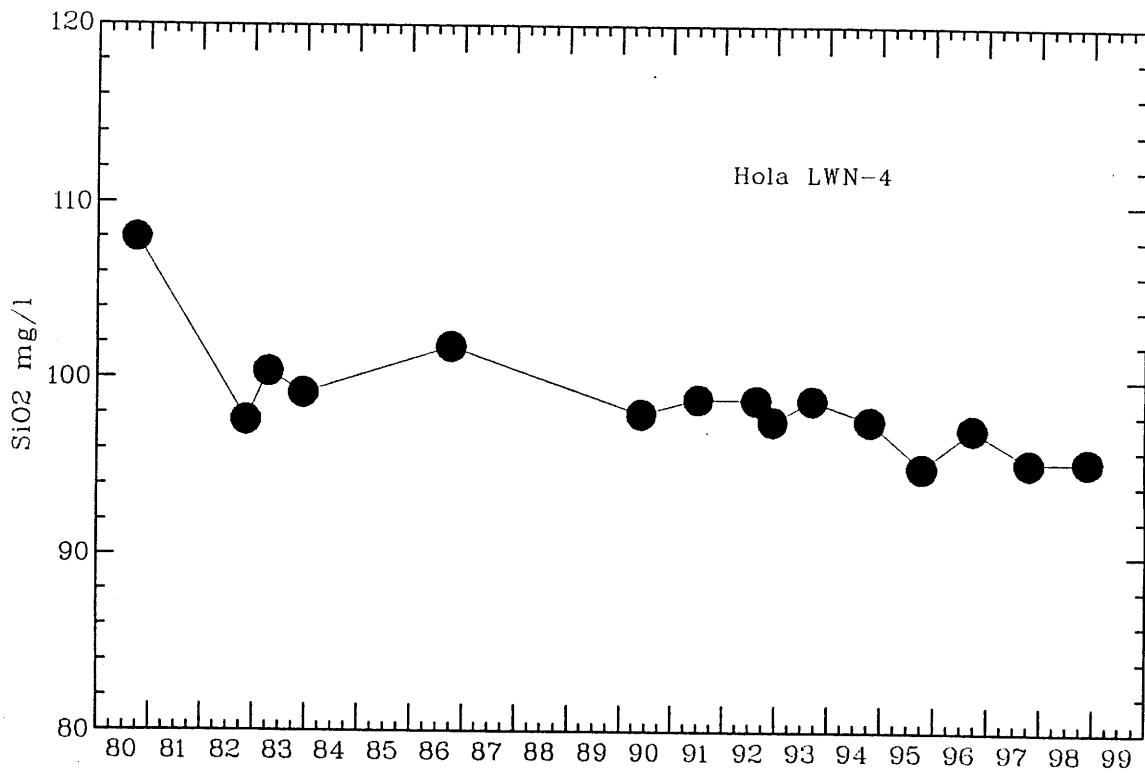




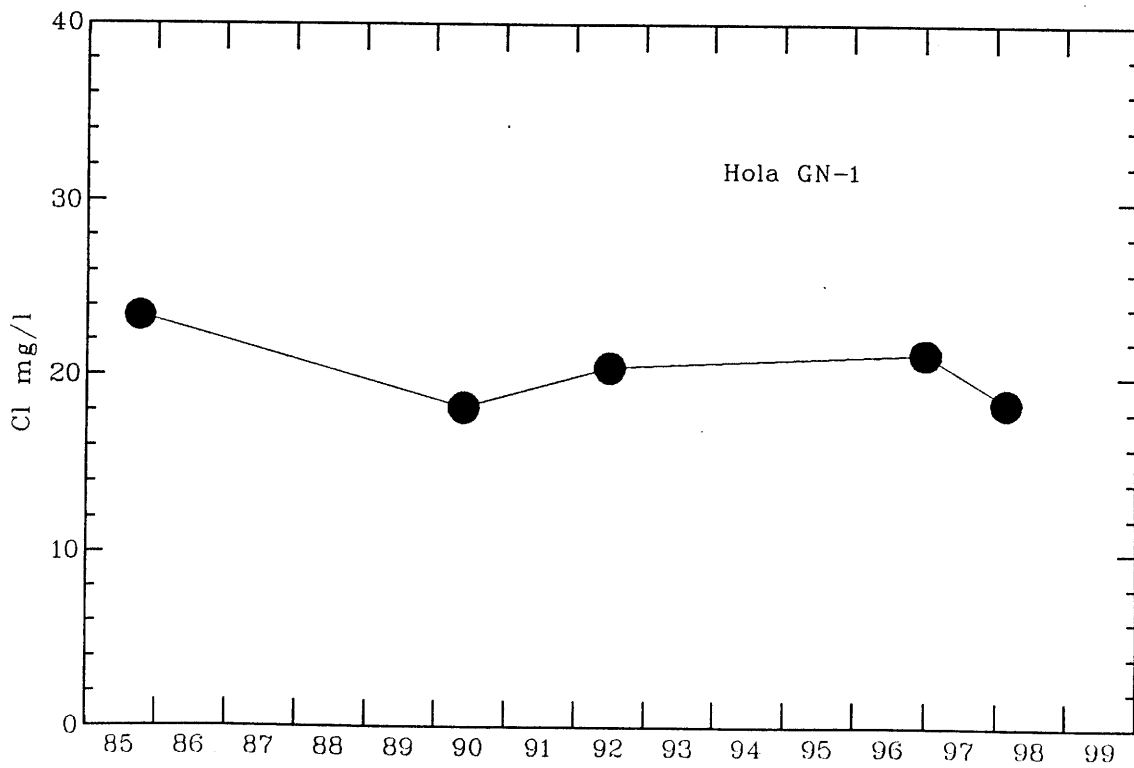
Mynd 1. Klóríðinnihald í vatni úr holu LWN-4.



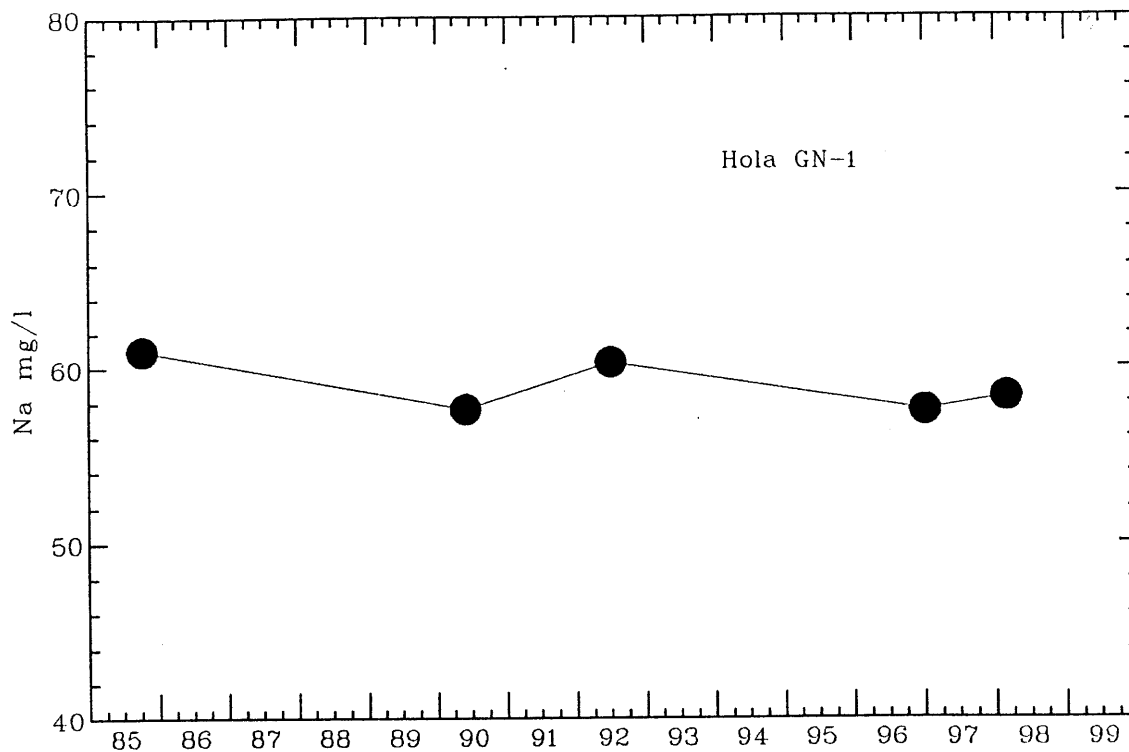
Mynd 2. Natríuminnihald í vatni úr holu LWN-4.



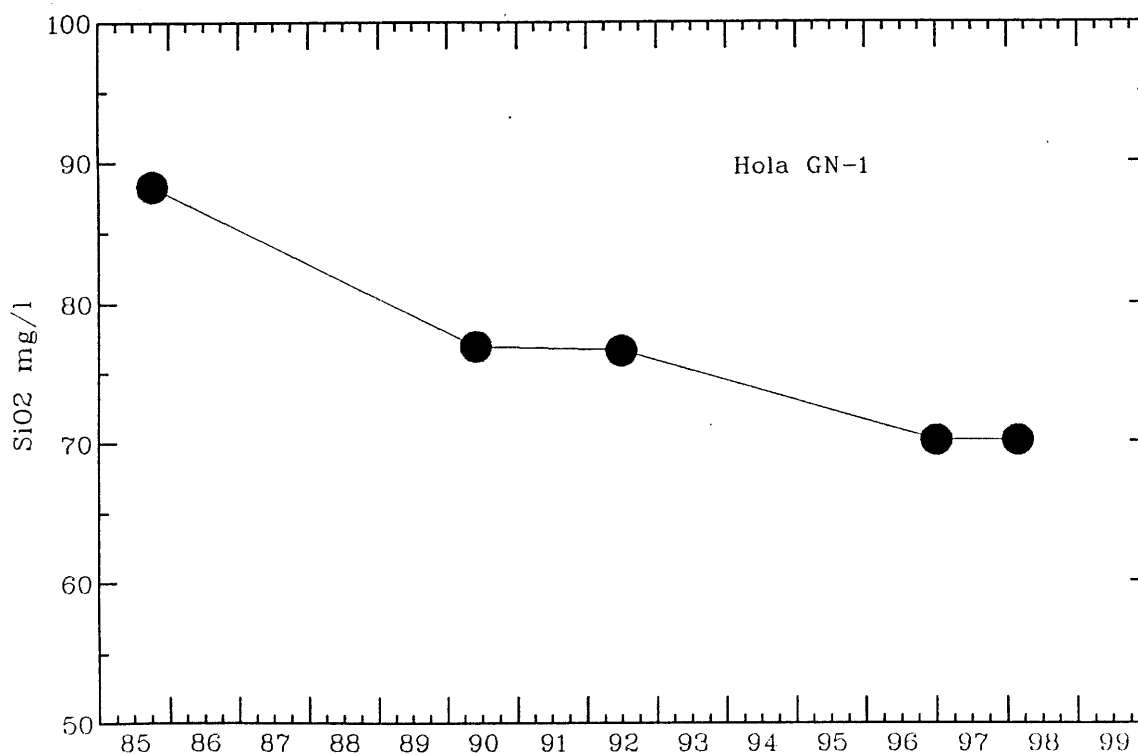
Mynd 3. Kísilinnihald í vatni úr holu LWN-4.



Mynd 4. Breytingar á styrk klóríðs í holu GN-1.



Mynd 5. Breytingar á styrk natríums í holu GN-1.



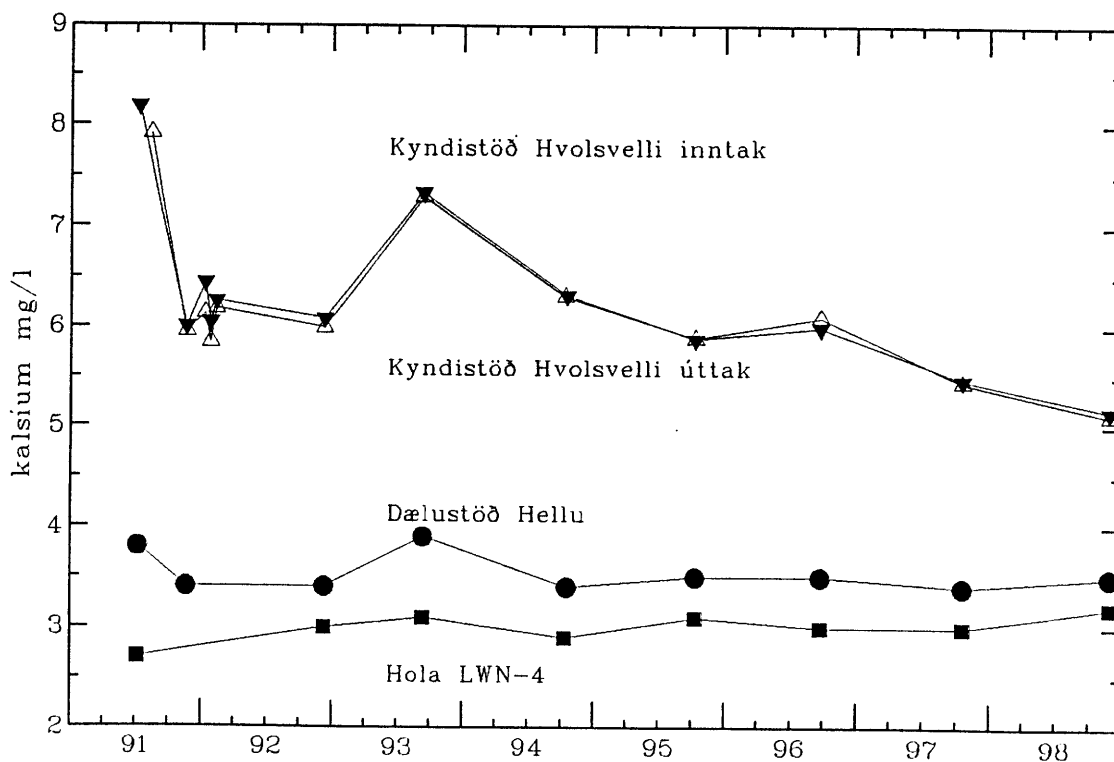
Mynd 6. Breytingar á styrk kísils í holu GN-1.

### 3. Efnasamsetning vatns í dreifikerfi

Til að fylgjast með tæringarhraða asbestlagnarinnar í aðveitunni og meta hættu á kalkútfellingu er mældur styrkur kalsíums í vatni á nokkrum stöðum úr lögninni. Við tæringu á asbestinu hækkar styrkur kalsíums og jafnframt sýrustig (pH) vatnsins og við það verður vatnið yfirmettað af kalki. Við aukna yfirmettun vatnsins eykst hættu á útfellingu. Í töflu 3 eru sýni úr dreifikerfinu, tekin í nóvember. Tekin voru sýni á Hellu og Hvolsvelli, bæði úr inntaki tanks og úr úttaki til að meta útfellingu í forhitara. Í töflunni er einnig sýnt til viðmiðunar mæld gildi í sýninu úr holunni. Eins og fram kemur í töflunni eykst styrkur kalsíums verulega við að fara um asbestlögnina. Aukning í kalsíum er þó heldur minni eftir lögninni en í fyrra og oft áður og þar með tæring á leiðslunni. Veruleg tæring og útleysing á sementsmillimassa röranna er þó greinilega stöðugt í gangi og mest á leiðinni milli Hellu og Hvolsvallar ( mynd 7).

Tafla 3. Styrkur kalsíums og súrefnis í mg/l.

Staður	LWN-4 Holutoppur	Hella framr. v. dælustöð	Hvolsvöllur inntak í kyndist.	Hvolsvöllur úttak úr kyndist.	Hvolsvöllur bakrás
Dagsetning	98-12-01	98-12-01	98-12-01	98-12-01	98-12-01
Númer	1998-0625	1998-0626	1998-0627	1998-0628	1998-0629
Kalsíum (Ca)	3,23	3,45	5,16	5,11	5,12
Uppleyst súrefni (O <sub>2</sub> )	0	0	0	0	0



Mynd 7. Aukning kalsíums í vatni á leið um veitulögn.

#### 4. Vinnsla, vatnsborð og vatnshiti

Eftirlit með vinnslu, vatnsborði og vatnshita á jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum hefur verið með óbreyttu sniði undanfarin ár. Eftirlitið byggir jafnt á vikulegum mælingum Hitaveitu Rangæinga sem mælingum sjálfvirks gagnasöfnunarbúnaður. Vikulega er lesið af rennslismælum við holur LWN-4 og GN-1 og vatnsborð og vatnshiti mæld samtímis. Gagnasöfnunarbúnaðurinn safnar síðan stöðugt upplýsingum um augnabliksvinnslu, meðalvinnslu, vatnshita og útihita og skráir í minni á 6 klst fresti. Samræmi milli vikulegu mælinganna og mælinga gagnasöfnunarbúnaðarins hefur verið nokkuð gott. Þó gefa rennslismælingar gagnasöfnunarbúnaðarins að jafnaði 1 l/s lægra gildi en aflestrar Hitaveitunnar. Tölur um vinnslu hér á eftir eru miðaðar við aflestrana. Einnig er um 1°C ósamræmi milli mælinga Hitaveitunnar og gagnasöfnunarbúnaðarins á vatnshita. Gagnasöfnunarbúnaðurinn gefur þó samfelldar, og miklu ítarlegri upplýsingar en vikulegu aflestrarnir.

Í töflu 4 eru birtar tölur um ársmeðalvinnslu úr svæðinu árin 1982 - 1998. Meðalvinnslan fyrir árið 1998 er byggð á mældri vinnslu fyrstu 11 mánuði ársins og áætlaðri vinnslu í desember, en áætlað er að vinnslan þann mánuð verði jöfn vinnslunni í desember 1997. Vinnslan árið 1997 mældist 16,8 l/s, sem er nokkurn veginn jafnt meðalvinnslu árána 1993 - 1996, en áætlað er að meðalvinnslan árið 1998 verði 17,4 l/s, eða tæplega 4% meiri en árið áður.

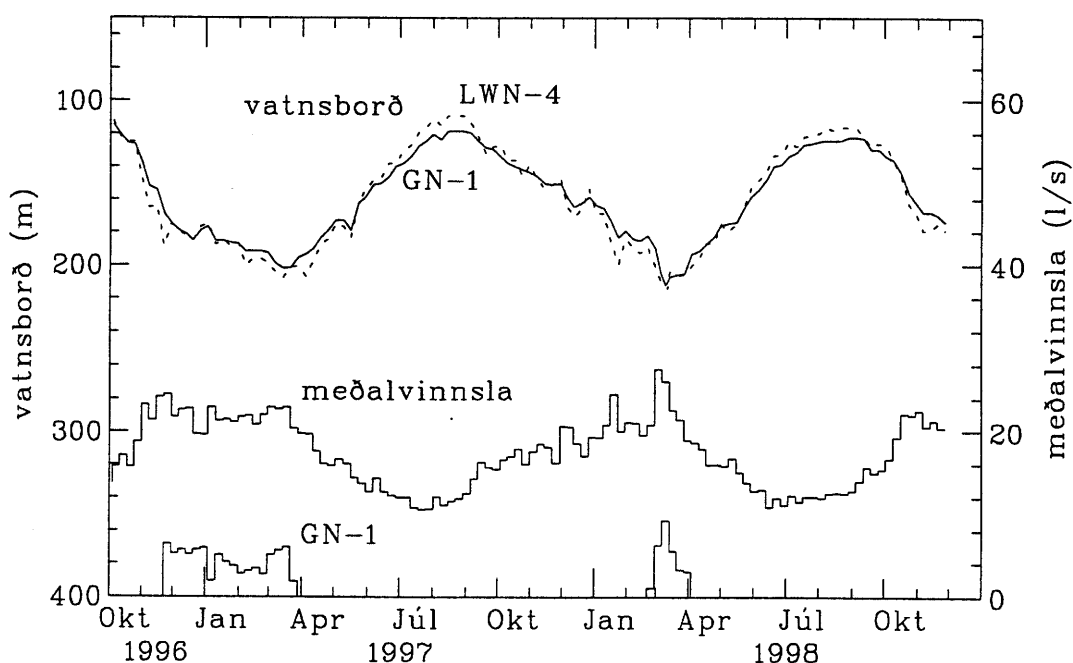
**Tafla 4.** Vinnsla úr jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum 1982-1998.

Ár	Ársmeðalvinnsla (l/s)	Heildarorkuvinnsla <sup>1)</sup> (GWh)
1982	7,4	17,8
1983	19,4	46,6
1984	19,1	46,0
1985	21,8	52,4
1986	21,1	50,7
1987	19,4	46,6
1988	18,5	44,6
1989	17,6	42,3
1990	16,6	39,9
1991	16,7	40,1
1992	18,0	43,4
1993	16,6	39,9
1994	16,9	40,6
1995	16,6	39,9
1996	16,6	39,6
1997	16,8	39,6
1998 <sup>2)</sup>	17,4	41,4

<sup>1)</sup> Miðað við nýtingu í 30°C.    <sup>2)</sup> Vinnsla í des. áætluð

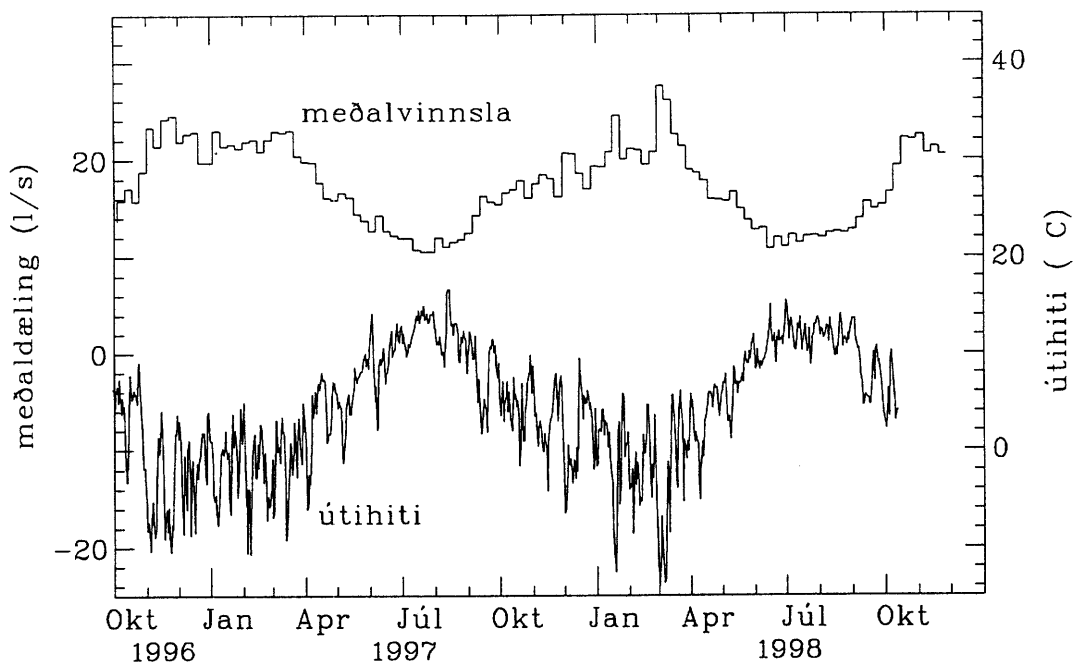
Árin 1993 - 1997 var orkuvinnslan á Laugalandi um 40 GWh á ári að jafnaði (tafla 4), en nú árið 1998 stefnir hún í rúmlega 41 GWh. Eins og áður hefur verið fjallað um þá tapast u.þ.b. fjórðungur þessarar orku í aðveituæðinni milli Laugalands og Hellu. Einnig tapast mikil orka milli Hellu og Hvolsvallar, sem kyndistöðin á Hvolsvelli bætir þó upp að miklu leyti. Jafnframt er töluvert af bakrásarvatni hitað í kyndistöðinni. Áætlað hefur verið að kyndingin svari til a.m.k. 10 GWh viðbótarframleiðslu (Grímur Björnsson o.fl., 1993).

Gögn um vikumeðaldælingu síðustu tveggja ára, ásamt vatnsborði í holum LWN-4 og GN-1, eru birt á mynd 8. Eins og áður var hola LWN-4 aðal vinnsluholan síðasta árið. Þó var hola GN-1 notuð samhliða LWN-4 í um sex vikur frá seinustu viku febrúar 1998. Þetta var gert til þess að léttu á, og draga úr iðustreymistapi í, holu LWN-4. Óvenjumikil vinnsla var þetta tímabil vegna einstaklega óhagstæðs veðurs, mikils frosts og vinds. Fjallað verður nánar um áhrif þess hér á eftir. Á þessu tímabili var meðalvinnslan úr holu GN-1 um 4,7 l/s, en mest varð vikumeðalvinnslan úr holunni rúmlega 9 l/s. Notkun holu GN-1 síðustu tvö árin er sýnd sérstaklega á mynd 8.



**Mynd 8.** Vatnsborð í holum LWN-4 og GN-1 ásamt vinnslu, okt. 1996 til nóv. 1998.

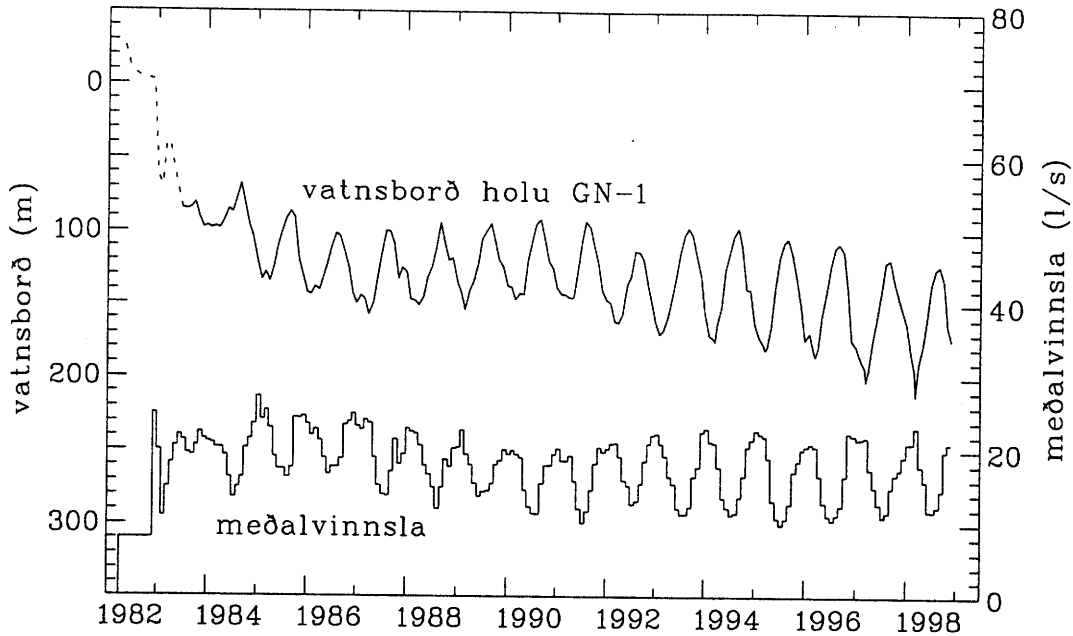
Síðustu tólf mánuðina var vikumeðalvinnslan á jarðhitasvæðinu (báðar holur) mest 27,5 l/s fyrstu vikuna í mars 1998. Hún var einnig mjög mikil aðra vikuna í sama mánuði, eða 26,1 l/s. Þetta er mesta vinnsla sem verið hefur á Laugalandi síðasta áratuginn. Ástæðan sést vel á mynd 9 sem sýnir dagleg meðalgildi útihita skv. gagnasöfnunarbúnaðinum og vikumeðaldælingu. Þó sýnir myndin ekki vindinn, sem jók enn á áhrif kuldakastsins fyrri hluta mars 1998. Síðasta áratuginn hafði vikumeðalvinnslan áður mælst mest 25,8 l/s í janúar 1994. Síðasta árið var vikumeðalvinnslan minnst 10,8 l/s þriðju vikuna í júní 1998, sem er svipað og hún var minnst sumarið 1997.



**Mynd 9.** Vikumeðaldæling úr LWN-4 og úthiti, október 1996 til nóvember 1998.

Myndir 8 og 10 sýna vatnsborðsbreytingar á jarðhitasvæðinu. Síðasta árið fór vatnsborð dýpst í kringum 10. mars, eða í 214 m dýpi í holu LWN-4 og í 212 m dýpi í holu GN-1. Þetta er u.þ.b. 10 m dýpra en vatnsborð fór dýpst árið 1997. Þarna fór vatnsborð neðar en búist hafði verið við. Því var skoðað sérstaklega hvað ylli og fjallað um niðurstöðurnar í sérstakri greinargerð (Guðni Axelsson, 1998a). M.a. var líkan af jarðhitasvæðinu, sem notað hefur verið til þess að reikna vatnsborðsspár, endurskoðað. Athugunin leiddi í ljós að sennilega legðust þrjár ástæður á eitt og yllu því að vatnsborðið fór neðar en búist hafði verið við:

- A. Vinnslutoppurinn í kuldakastinu varð mun hærri en sambærilegir toppar undanfarin ár auk þess sem árssveiflan í vinnslu hefur farið vaxandi (sjá mynd 10). Ekki var gert ráð fyrir því í eldri vatnsborðsspám. Meðalvinnslan hefur staðið í stað, en toppvinnslan aukist undanfarin ár. Jarðhitakerfið þolir illa slíka toppa í vinnslu, og í raun því verr sem vatnsborð stendur lægra.
- B. Það sem einkennir jarðhitakerfið á Laugalandi er lítið rúmmál, lág lekt bergs og takmarkað aðstreymi, sem veldur því að vatnsborð í kerfinu lækkar hægt og sígandi með tímanum þrátt fyrir það að vinnsla haldist stöðug. Þess vegna hafa bjart-sýnni vatnsborðsspár ekki gengið eftir.
- C. Mögulegt er talið að lektin næst vinnsluholunum minnki þegar vatnsborð í jarðhitakerfinu er komið jafn neðarlega og það hefur farið síðustu vetur, vegna þess að sprungur þær sem vinnsluholurnar fá vatn úr þrengist, þegar vatnsþrýstingurinn hefur lækkað svo mikið. Þetta valdi því að vatnsborð lækkaði enn meira að vetri til en líkön bentu til og að árssveiflan í vatnsborði verði því meiri nú en áður fyrr.



Mynd 10. Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982.

Síðustu tólf mánuðina fór vatnsborð hæst í lok ágúst, á 116 m dýpi í holu LWN-4 og á 118 m dýpi í holu GN-1. Þetta er u.þ.b. 5 m neðar en árið áður. Frá árinu 1993 hefur hæsta vatnsborð lækkað að jafnaði um 5 m á ári. Er það bæði vegna hægfara lækkunar vatnsborðs í jarðhitakerfinu, sem nefnt var hér að framan, og vegna þess að sumarvinnslan hefur farið vaxandi frá árinu 1995.

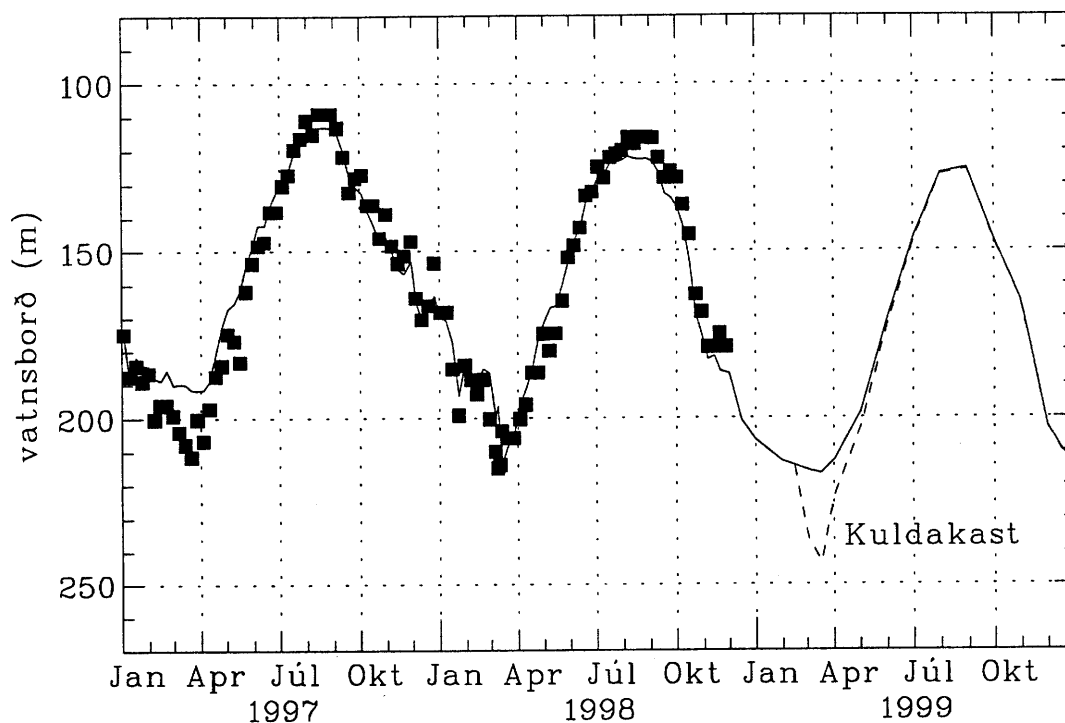
Mynd 10 sýnir gögn um vatnsborð, mælt í holu GN-1, og vinnslu á jarðhitasvæðinu allt frá árinu 1982. Þar sjást vel langtímabreytingarnar, sem orðið hafa á jarðhitasvæðinu. Frá árinu 1991 hefur vatnsborð farið stöðugt lækkandi, þó ársmeðalvinnslan hafi staðið nokkurn veginn í stað. Lægsta vatnsborð hefur að jafnaði lækkað um 8 m á ári þetta tímabil. Árssveiflan í vatnsborði hefur vaxið mikið, úr u.þ.b. 50 m í allt að 90 m. Um ástæður þessa er fjallað hér að framan.

Í mars s.l. var líkanið af jarðhitakerfinu endurbætt og notað til þess að meta hvort hætta verði á vatnsskorti næstu árin. Gengið var út frá nokkru meiri vetrarvinnslu en verið hefur undanfarið auk tveggja vinnslutoppa svarandi til kuldakasta líkt og í mars síðastliðnum. Niðurstöðurnar sýndu að hætta væri á því að vatnsborð í LWN-4 færi niður í allt að 240 m dýpi í mars 1999, jafnvel þótt báðar holurnar væru notaðar þegar vatnsborð stendur lægst (Guðni Axelsson, 1998a). Dælan í LWN-4 er á 243 m dýpi og má vatnsborð því ekki fara mikið niður fyrir 230 m.

Því var reynt að endurmeta stöðuna á tvennan hátt. Í fyrsta lagi með því að miða við lægsta vatnsborð síðustu árin, en það hefur lækkað um 10 m á ári síðustu þrjú árin. Þannig má áætla að vatnsborð í holu LWN-4 muni fara niður á u.þ.b. 230 m dýpi seinna í vetur. Dýpra má vatnsborðið ekki fara. Í öðru lagi voru líkanreikningarnir endurteknir. Reiknuð voru tvö tilfelli þar sem gert var ráð fyrir mikilli vetrarvinnslu, 23 l/s, með og án mikils kuldakasts í febrúar/mars. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 11, þar sem kassarnir sýna mælt vatnsborð í LWN-4 og línurnar reiknað vatnsborð byggt á gögnum fram í mars s.l. Þær sýna að án kuldakasts muni vatnsborð ekki fara niður fyrir 220 m dýpi, en að með eins miklu kuldakasti og hér er reiknað með fari vatnsborð niður í 240 m, sem er



of djúpt. Í spánum er reiknað með að vinnslunni sé dreift á báðar holurnar er vatnsborð stendur lægst.

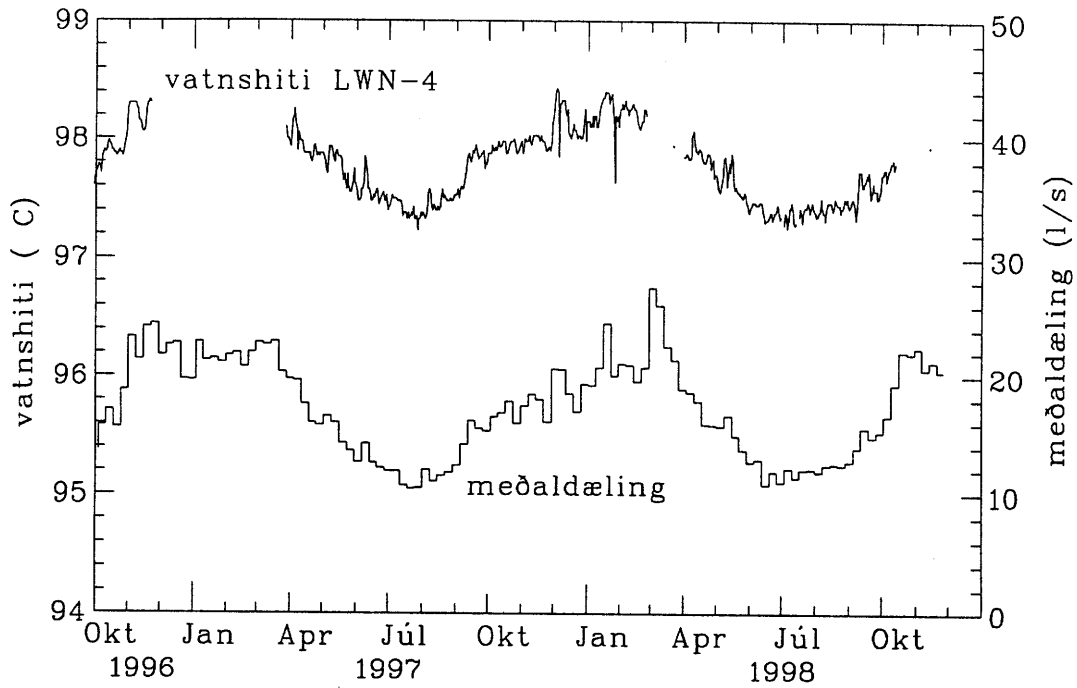


**Mynd 11.** Spá um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 næsta árið, með og án kuldakasts. Mælt vatnsborð árin 1997 og 1998 er sýnt sem svartir kassar. Gert er ráð fyrir vinnslu úr báðum vinnsluholum er vatnsborð stendur lægst.

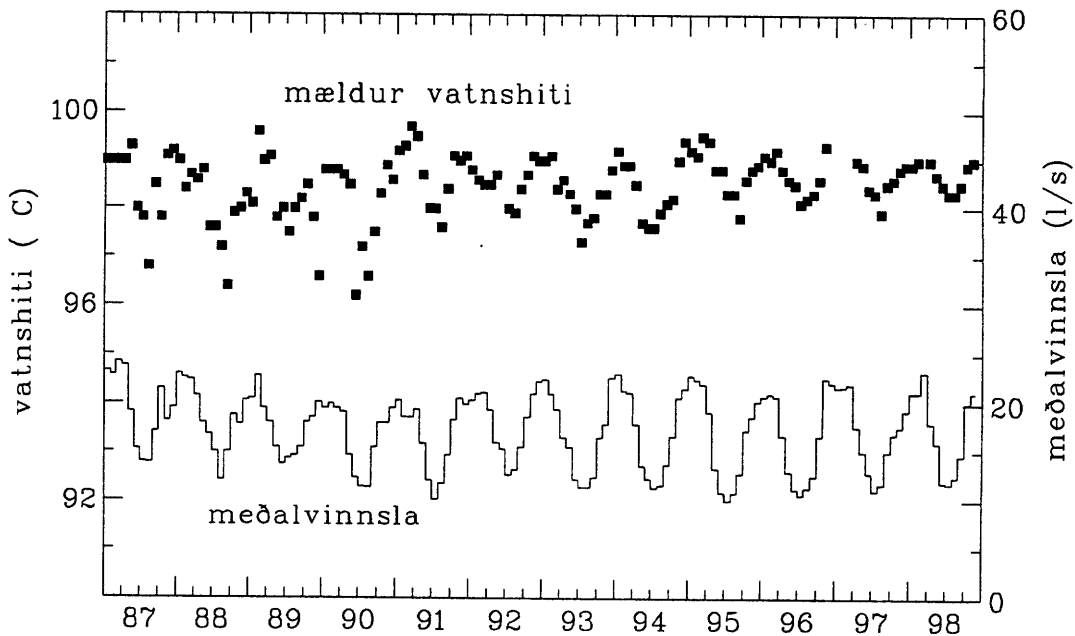
Allt bendir þetta til þess að nokkur hættu sé á vatnsskortum í lok vetrar ef kalt verður í veðri og viðlíka vinnslutoppur verða og í mars sl. Þó verður að telja slíkt ólíklegt ef miðað er við veðurfar síðustu árin. Ef veður helst skikkanlegt ætti vatnsborð að haldast ofan 220 m. Hvort vatnsskortur verður er því algjörlega háð veðurfari, sérstaklega kuldaköstum. Nú hefur Hitaveita Rangæinga fundið heitt vatn í Kaldárholti, sem væntanlega verður farið að nýta haustið 1999. Seinna í þessari skýrslu verður fjallað um áhrif nýtingar þess, þ.á.m. um áhrif minni vinnslu á Laugalandi og möguleika á niðurdælingu þar.

Mynd 12 sýnir mælingar gagnasöfnunarbúnaðarins á hita vatns úr LWN-4 ásamt vikumeðaldælingunni síðustu tvö árin. Þar sést sambandið sem greinilega er á milli vatnshita og dælingar, sem er aðallega vegna þess að við meira rennsli kólnar vatnið minna á leið upp holuna, og öfugt. Ekki eru til gögn um hita vatns úr holunni þann tíma sem hola GN-1 var líka í gangi sl. vetur, en þá var hiti blöndunnar úr báðum holum mældur í staðinn. Stakar mælingar Hitaveitunnar á hita vatns úr holu GN-1 í mars sl. sýna að hann var þá á bilinu 73 - 74°C.

Mynd 13 sýnir hita vatns úr holu LWN-4 frá því um áramótin 1986/1987, samkvæmt mælingum Hitaveitunnar, en síðan þá er talið að um innbyrðis sambærilegar mælingar sé að ræða. Myndin sýnir mánaðarmeðaltöl vikulegra aflestra.



Mynd 12. Vikumeðaldæling og hiti vatns úr LWN-4, október 1996 til nóvember 1998.



Mynd 13. Hiti vatns úr LWN-4 skv. mælingum Hitaveitunnar og vinnsla á Laugalandi frá 1987.

Fyrir utan ársveifluna virðist ekki hafa orðið marktæk breyting á hita vatnsins úr LWN-4 á þessum tíma, skv. mælingum Hitaveitunnar. Síðustu tólf mánuðina var vatnshitinn að meðaltali 98,7°C, skv. mælingum veitunnar, sem er í góðu samræmi við meðalhita vatns úr holu LWN-4 síðasta áratuginn.

## 5. Staða vatnsöflunar og valkostir til frekari orkuöflunar

Hitaveita Rangæinga hefur í um fimmtán ár aðallega unnið vatn sitt úr einni borholu á Laugalandi í Holtum, LWN-4, en haft aðra holu, GN-1, til vara. Vinnslan hefur reynt mjög á svæðið og vatnsborð í vinnsluholum nálgast óðfluga dæluþýpi (í 243 m dýpi) í kuldaköstum á vetrum. Aukinni notkun hefur verið mætt með ýmsum orkusparandi aðgerðum m.a. hefur lögnin verið einangruð betur, hluti dreifikerfis tvöfaldaður og farið er að selja vatn eftir magnmælum. Einnig var settur upp rafskautsketill á Hvolsvelli þar sem vatnið er hitað upp ásamt bakrásarvatni.

Árið 1992-1993 var gerð ítarleg úttekt á framtíðarvatnsöflun Hitaveitu Rangæinga (Grímur Björnsson o.fl., 1993). Mikill kostnaður fylgir flestum valkostum og líkur á árangri var bundinn talsverðri óvissu. Á undanförmum sex árum hefur Hitaveitan sinnt ýmsum verkefnum, sem miða að frekari orkuöflun veitunnar, en þau hafa ekki skilað tilætluðum árangri. Afkoma veitunnar, há gjaldskrá og kröfur um lækkingu hennar í náinni framtíð, hefur valdið því að hún hefur ekki séð sér fært að leggja í dýra og áhættusama jarðhitaleit, enda hefur Hitaveitan talið að hún hefði ráðrúm nokkur ár fram yfir aldamót.

Þrátt fyrir að vinnslan hafi staðið í stað hefur vatnsborð lækkað hægt og sígandi. Í miklu kuldakasti í febrúar/mars s.l. fór vatnsborð neðar en búist hafi verið við og er gerð grein fyrir ástæðum þess hér að framan. Með breyttum forsendum sýna hermireikningar að vatnsborð ætti að haldast ofan 230 m á þessu ári, en gæti farið allt niður í 240 m árið 1999, ef veðurfar verður mjög óhagstætt. Óhugsandi er að reka holurnar við lægra vatnsborð en 230 m svo ljóst er að til einhverra aðgerða verður að grípa fyrir næsta vetur.

Því var gerð ný úttekt á orkuöflunarkostum veitunnar (Hrefna Kristmannsdóttir, 1997, viðauki), farið yfir líkur á árangri og metin áhætta og kostnaður. Jafnframt var hafið umfangsmikið átak í leit að jarðhita. Jarðhitaleit í nágrenni Laugalands, einkum í Kaldárholti, er lýst í kafla 6 í þessari skýrslu og í kafla 7 er fjallað um niðurstöður efnamælinga vatns úr holum í Kaldárholti. Í kafla 8 er fjallað um áhrif mismunandi nýtingar vatns frá Kaldárholti á vinnslusvæðið á Laugalandi.

Þó það sé ólíklegt er ekki hægt að útiloka að vatnsskortur verði seinna í vetur ef veður verður óhagstætt. Hitaveita Rangæinga á nokkra kosti til þess að mæta því:

1. Dreifa vinnslunni á báðar holurnar, eins og gert hefur verið undanfarna vetur. Þetta eitt mun þó ekki nægja ef verri spáin á mynd 11 gengur eftir.
2. Síkkun dælna í holum LWN-4 og GN-1, um allt að 20 m. Tæknilega á þetta að vera framkvæmanlegt, en verður þó að teljast slæmur kostur vegna töluverðrar áhættu. Sambærilegar dælnur, sem notaðar eru í flestum lághitaholum á Íslandi, hafa ekki verið reknar á svo miklu dýpi hingað til.
3. Með hækkun framrásarhita í kyndistöðinni á Hvolsvelli í kuldaköstum má að nokkru leyti mæta aukinni orkuþörf án þess að auka vinnslu að sama skapi. Ásamt lið 1 mun það að öllum líkindum koma í veg fyrir vatnsskort seinna í vetur. Þessum kosti fylgir engin áhætta, en nokkur kostnaður auk þess sem hitaveitan fær eitt-hvað minni tekjur en ella. T.d. mætti reyna að mæta daglegri meðalvinnslu umfram 23 l/s með kyndingu. Vinnslan umfram 23 l/s verstu þrjár vikurnar í mars síðastliðnum jafngilti um 280.000 kWh, miðað við kyndingu í 74°C og nýtingu niður í 30°C. Ef gengið er útfrá því að aðeins 23 l/s hafði verið dælt þessar þrjár vikur, hefði þurft að kynda tiltækt vatn á Hvolsvelli (um 13,5 l/s) upp í u.þ.b. 84°C til þess að senda sama magn orku út á dreifikerfið. Miðað við að kynding með olíu (hag-

stæðara en rafmagn um þessar mundir) kosti um 1,4 kr/kWh þá hefði aukin kynding í mars s.l. kostað hitaveituna um 200.000 kr, er þá ekki tekið tillit til tekjutapsins.

4. Oft hefur verið rætt um það hvort ekki mætti nýta holu LN-3 á Laugalandi til þess að mæta vatnsskortir hjá hitaveitunni. Um þennan kost er fjallað í greinargerð Gríms Björnssonar (1998), sem fylgir með í viðaukanum í þessari skýrslu. Þar kemur fram að það sem geri holuna óvinnsluhæfa sé köld og súrefnisrík æð á um 20 m dýpi. Þá virðast dýpri æðar holunnar það gjöfular að hún hæfi ekki fyrir rekstur skottdælu. Með endurfóðrun í 50 - 100 m gæti holan hins vegar orðið nýtanleg, a.m.k. sem toppafl í kuldaköstum. Vegna langvarandi niðurrennslis er óvíst hver hiti vatns úr holunni yrði eftir endurfóðrun. Því er lagt til að holan verði blástursprófuð og hitamæld samtímis, svo nákvæmari forsendur fáist fyrir endurfóðrun. Þá er einnig mögulegt að nýta vatn úr holu LN-3 beint til blöndunar, e.t.v. um 5 l/s, ef slæm kuldaköst verða seinna í vetur.

## 6. Jarðhitaleit

Jarðhitaleit á vegum Hitaveitu Rangæinga beindist fyrst í stað að nágrenni Laugalands í Holtum og svæðinu suður þaðan (Kristján Sæmundsson 1998a, Guðmundur Ómar Friðleifsson 1998, viðauki).

1) Kannað var víðáttumikið svæði frá Þjóðvegi upp undir Laugaland en þar er hvergi jarðhiti á yfirborði. Vísbending kom fram um jarðhita í hitastigli á bilinu 100-125°C/km, en leit var hætt þegar ekkert fannst heitara. Svæðisstigullinn þarna er kringum 80°C/km. Hitafrávikið er hins vegar stórt um sig og þyrfti að ná a.m.k. tvöföldum svæðisstigli til að réttlæta dýpri rannsóknarholu.

2) Boruð var 150 m djúp rannsóknarhola í Köldukinn. Þar eru 14-15°C heitar volgrur. Borholan var í vatnskerfi. Það reyndist rúmlega 20°C heitt neðan 100 m. Efnagreining á vatninu gaf ekki vonir um heitt vatn. Ekki þótti að svo komnu ástæða til að sinna Köldukinn frekar í bráð, enda ljóst að jarðhitavatn þaðan yrði ekki nýtt öðruvísi en til niðurdælingar á Laugalandi eða með djúpborun niður fyrir lekasta hluta kerfisins, en þá með óvissum árangri.

3) Loks voru nokkrar holur boraðar kringum Laugaland í Holtum. Sumar þeirra sýndu áhrif frá jarðhitakerfinu sem þar er, en þau voru lekar og tiltölulega kaldar holur norðan við vinnslusvæðið. Vatnskerfi sem ekki virtist tengt Laugalandi reyndist vera í Hallstúni og var boruð þar rannsóknarhola nægilega vítt fóðruð til vinnslu, enda von til að vinnsla þar hefði lítil áhrif á Laugalandsholurnar. Hætt var við holuna í 240 m dýpi. Vatnsæðar komu fram í henni, en hiti annars svo lágur (um 25°C á 240 m) að ekki var ráðlegt að halda boruninni áfram.

Hér varð kúvending í jarðhitaleitinni, enda mat hinna raunsærri að niðurstaða jarðhitaleitarinnar á grannsvæðum Hellu og Laugalands gæfi ekki tilefni til að henni yrði haldið áfram. Var leitinni nú snúið að Kaldárholti, en í skýrslu Orkustofnunar frá 1993 hafði athygli verið vakin á þeim stað sem þeim heitasta austan Þjórsár öðrum en Laugalandi sjálfu.

Milli Laugalands og Kaldárhólts eru 8 km. Fyrri rannsóknir bentu til að við Kaldárhóltslæk mætti finna 70-80°C heitt vatnskerfi. Við lækinn eru 30-40°C heitar laugar sem boranir fyrir 8 árum sýndu að eru afrennsli frá jarðhitauppstreymi töluvert austar. Þarna er djúpt á fast berg, og þegar jarðhitaleitin var tekin upp aftur vorið 1998 var beitt leitarborunum sem í fyrstu miðuðust við 120 m dýpi. Með þeim var kortlögð útbreiðsla og dýpt þess hluta jarðhitakerfisins sem einkennist af hitatungu sem leitar upp og vestur. Í ljós kom að þessi hitatunga er ekki einskorðuð við lausu jarðlögin heldur nær hundruð metra niður í berggrunninn austan til þar sem nálgast uppstreymi a.m.k. 67°C heits vatns. Út frá hitamyndinni var að síðustu staðsett djúp rannsóknarhola þar nærri sem ætla mátti að uppstreymið væri. Holan er nr 34, sú 26. í þessu leitarátaki. Hún varð 456 m djúp og er í 67-68°C heitu vatnskerfi frá 300 m til botns og gefur um 8 l/s í sjálfrennsli. Í botni hennar er mjög gjöful æð, tengd sprungu og fylgdi henni hrun. Stutt dæluprófun sýndi að vinnsluhola á þessum stað gæti gefið tugi l/s við lítinn niðurdrátt vatnsborðs. Mestar líkur eru á að uppstreymið í jarðhitakerfinu sé norð-suðlæg jarðskjálftasprungu sem þó er hulín, og nái yfir a.m.k. 400 m langan kafla af henni. Austurjaðarinn á jarðhitakerfinu er ekki þekktur, og þyrfti fleiri og jafnvel dýpri holur en 400-500 m til að finna hvar hann er. Með borun holu 35 sem nú stendur yfir 75 m austur frá holu 34 kemur væntanlega í ljós hvort jarðhitakerfið er enn hitnandi austur og niður, en til þess þarf holan að ná a.m.k. 500 m dýpi. Jafn hiti á 300 m dýptarbili á 200 m kafla upp eftir hitatungunni bendir þó ekki til heitara vatns en 67-68°C ofan 500 m í jarðhitakerfinu (Kristján Sæmundsson 1998b, viðauki).

Samgangur er á milli holna 34 og 35 og nauðsynlegt að endurmeta stöðuna í Kaldárholti þegar borun þeirrar síðarnefndu lýkur. Útlit er fyrir að frekari djúprannsókn til að finna austurmörk jarðhitakerfisins útheimti dýpri holur en sá bor ræður við sem fram að þessu hefur verið notaður. Hins vegar er unnt að velja vinnsluholu stað miðað við að ná 67-68°C heitu vatni ofan 500 m. Með nýrri dæluprófun fæst betri grundvöllur að byggja á varðandi vatnsgæfni þessa jarðhitakerfis. Vinnsla úr jarðhitakerfinu með dælingu gerir nauðsynlegt að ganga frá holum 34 og 35 sem mæliholum og að komið verði í veg fyrir niðurrennsli í þær sem og aðrar holur með grynnri æðum ef þess skyldi verða vart í þeim. Djúpbörun í jarðhitakerfið í Kaldárholti (1000-2000 m hola) er áhugavert rannsóknarverkefni sem hefur gildi langt út fyrir það sem snertir hag Hitaveitu Rangæinga þar sem lítil reynsla er fengin af borunum langt niður fyrir lekasta hluta hinna sprungutengdu jarðhitakerfa á Suðurlandi.

## 7. Efnasamsetning vatns í Kaldárholti

Samfara borun leitarholna í Kaldárholti hafa verið 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, en í öðrum aðeins örfá valin efni. Niðurstöðum hefur sumum verið skilað í greinargerðum en öðrum í bréfum eða jafnvel munnlega hafi þær ekki skipt verulegu máli. Til að þessar niðurstöður séu aðgengilegar og til á einum stað eru þær nú birtar allar í töflum 5 og 6. Þær greinargerðir sem birst hafa um gerð og eiginleika vatnsins og vinnslueiginleika þess eru í viðauka við skýrsluna.

Efnasamsetning nokkurra sýna sem tekin hafa verið úr holum KH-33 og KH-34 og greind hafa verið í öll aðalefni (heildarsýni) er skráð í töflu 5. Til samanburðar er sýnd í töflunni efnasamsetning sýna úr laug við Kaldárholtslæk, og holum KH-02, KH-10.

**Tafla 5.** Efnasamsetning heildarsýna jarðhitavatns frá Kaldárholti.

Staður	Kaldárholtslækur	KH-02	KH-10 (55 m dýpi)	KH-33 (67m dýpi, dælt)	KH-33 (120m dýpi, sýnataki)	KH-34
Dags.	1968.05.15	1992.11.26	1992.11.26	1998.07.02	1998.07.02	1998.07.22
Númer	1968.3256	1992.0307	1992.0306	1998.0381	1998.0382	1998.0416
pH/°C	10/49	9.65/23	10.38/23	10.40/22.0	10.35/22.5	10.40/21.4
CO <sub>2</sub> (heild)	8.1	7.9	18.9	13.9	13.8	15.2
H <sub>2</sub> S	0.2	0	0.12	0.15	0.13	0.04
Leiðni μS/sm		904	349	342	344	338
B mg/l	1.37	0.10	0.16			0.15
SiO <sub>2</sub> mg/l	76	53.9	89.5	89.6	89.0	87.9
Uppleyst efni mg/l	293	531	236			256
O <sub>2</sub> mg/l		0				
Na mg/l	72.4	167	73.2	67.6	68.0	65.8
K mg/l	1.7	1.75	0.76	0.74	0.77	0.73
Mg mg/l	0.01	0.006	0.003	0.007	0.012	0.003
Ca mg/l	2.7	16.3	1.38	2.37	2.27	2.42
F mg/l	2.0	1.82	2.34	2.23	2.24	2.14
Cl mg/l	31.6	217	21.7	18.2	18.0	21.7
Br mg/l		0.78	0.08			
SO <sub>4</sub> mg/l	36.3	56.3	27.2	26.1	26.7	25.6
δD ‰		-78.1	-69.2			
δ <sup>18</sup> O ‰		-10.98	-10.01	-9.91	-9.86	

Í töflu 6 eru niðurstöður efnagreininga á sýnum þar sem mæld voru einungis fáein vali efni. Í töflunni eru sýni sem safnað var úr KH-17 í apríl og mælt SiO<sub>2</sub> og Cl, úr sjálfrennsli eftir loftdælingu við borun KH-34 í byrjun júlí, og við dæluþrófun 24.-27. ágúst 1998 og þá eingöngu mælt SiO<sub>2</sub>.

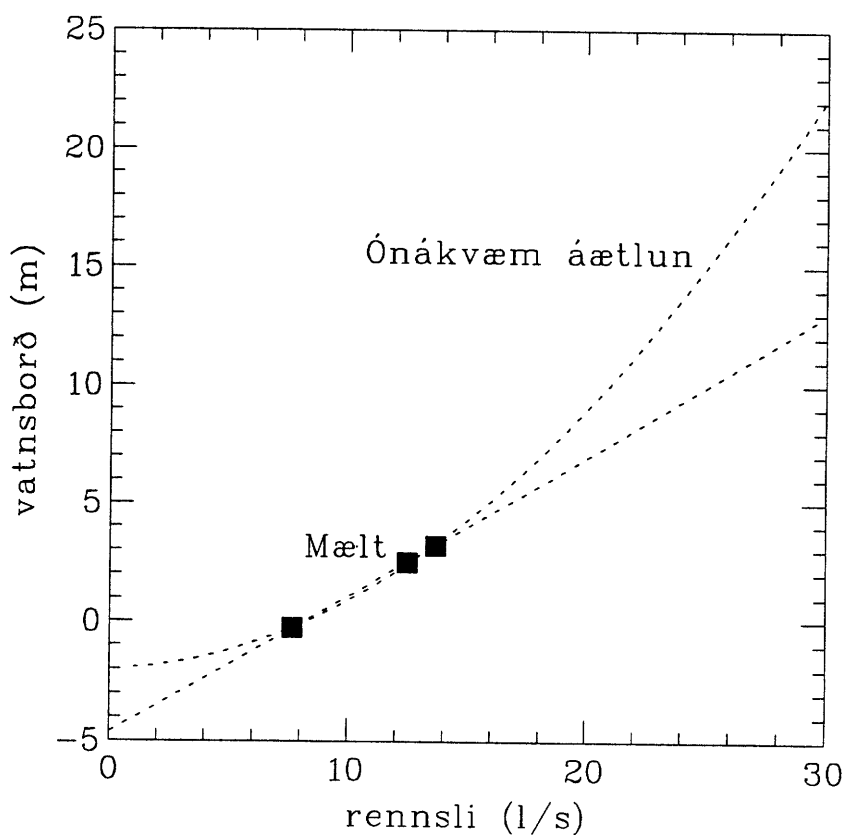
**Tafla 6.** SiO<sub>2</sub> og Cl styrkur í hlutsýnum frá holum KH-17 og KH-34.

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	98.08.27
Sýni nr.	98.0264	98.0265	98.0380	98.0517	98.0518	98.0519	98.0520
t°C/Q kg/s				66.9/11.7	64.3/13.9	67.1/13.5	67.5/13.5
SiO <sub>2</sub>	83.8	84.7	85.4	87.5	86.8	87.0	87.0
Cl	23.1	22.7	17.1				

Hrefna Kristmannsdóttir (1998, viðauki) hefur gert grein fyrir efnasamsetningu vatns úr holum KH-02 og KH-10. Ekki verður annað sagt en að vatnið úr holum KH-33 og KH-34 sé nauðalíkt vatninu úr KH-10 og þess vegna ekki miklu við þá túlkun að bæta. Helsta einkenni vatnsins er hátt pH og gerir það nokkuð erfitt um vik varðandi jafnavægisreikninga. Allar líkur eru á að vatnið í jarðhitakerfinu sé a.m.k. 80°C heitt. Sjálfrennsli úr holunni er 7,7 - 8,5 l/s og hiti 67°C (Guðni Axelsson 1998, viðauki). Því benda þær litlu upplýsingar sem liggja fyrir um kísilstyrk við mismunandi rennsli til þess að um töluvert magn sé að ræða með þessa samsetningu. Gerðir hafa verið reikningar um blöndun slíks vatns við vatn frá Laugalandi, Holtum, og bentu niðurstöður til þess að sú blöndun ætti ekki að valda vandræðum við vinnslu (Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir (1998a, b, viðauki).

## 8. Um áhrif nýtingar vatns frá Kaldárholti

Hola KH-34 í Kaldárholti, sem boruð var í júlí 1998, er talin geta gefið töluvert af um 67°C vatni með hóflegum niðurdreitti (Guðni Axelsson, 1998b). Afkastaferill holunnar, sem byggður er á niðurstöðum þriggja daga prófunar holunnar í ágúst s.l., er sýndur á mynd 14. Eftir þeim niðurstöðum er áætlað að holan geti við langtímanýtingu gefið a.m.k. 30 l/s með innan við 40 m niðurdreitti. Lekt jarðhitakerfisins í Kaldárholti er mjög góð auk þess sem langtímaniðurdráttur virðist mjög hægur. Ljóst er að því að jarðhitakerfið í Kaldárholti mun geta staðið undir töluverðri orkuvinnslu, þó hiti þess vatns sem enn hefur fundist sé frekar lágur. Sem dæmi má nefna að 30 l/s jafnaðarvinnsla jafngildir 40 GWh/ári, sem er nokkurn veginn jafnt orkuvinnslu Hitaveitu Rangæinga á Laugalandi í Holtum undanfarin ár.



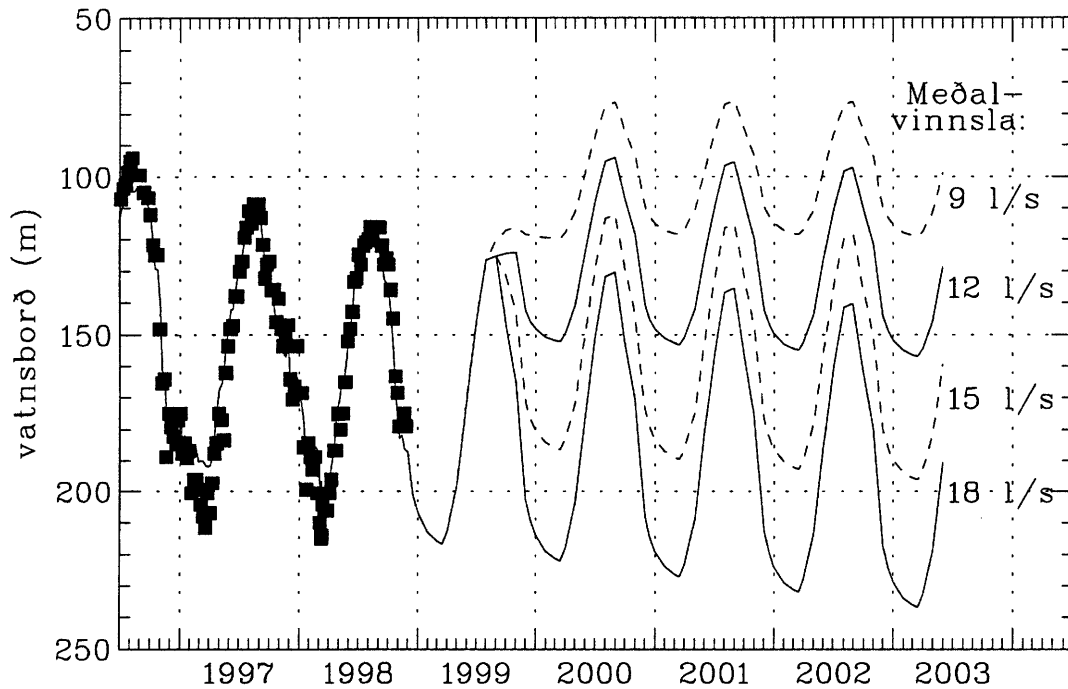
**Mynd 14.** Mælt og áætlað samband rennslis og vatnsborðs í holu KH-34 í Kaldárholti.

Ekkert í efnainnihaldi á að vera því til fyrirstöðu að hægt verði að blanda vatni frá Kaldárholti saman við vatn frá Laugalandi og þannig megi draga úr vinnslunni á síðarnefnda svæðinu. Því var líkanið af jarðhitakerfinu á Laugalandi notað til þess að spá fyrir um áhrif þess að dregið væri úr vinnslunni frá og með haustinu 1999. Reiknað var fyrir fjögur tilfelli. Í fyrsta lagi tilfelli nokkurn veginn óbreyttar vinnslu. Þó er gert ráð fyrir ívið meiri vinnslu en undanfarin ár þannig að ársmeðalvinnslan er í þessu tilfelli um 18 l/s. Gert er ráð fyrir 23 l/s vinnslu yfir vetrarmánuðina, en engum miklum kuldaköstum. Hin



þrjú tilfelli gera ráð fyrir jafnri og hlutfallslega minni vinnslu allt árið þannig að ársmeðalvinnslan verði 15, 12 og 9 l/s. Þessi tilfelli þýða 2, 5 og 8 l/s minni ársmeðalvinnslu en verið hefur. Niðurstöður reikninganna eru sýndar á mynd 15.

Á það skal bent að hér var notað svartstýnt líkan (lokað líkan), sem væntanlega gefur neðri mörk vatnsborðs næstu árin. Þess vegna lækkar það hægt aftur á mynd 15, eftir að hafa hækkað. Mögulegt er að það hækki eitthvað meira. Þó hefur vatnsborð undanfarin ár frekar fylgt svartstýnum en bjartstýnum spám (Guðni Axelsson, 1998a).



**Mynd 15.** Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 næstu fimm árin fyrir fjögur mismunandi vinnslutilfelli. Gert er ráð fyrir að íblöndun vatns frá Kaldárholti hefjist haustið 1999.

Mynd 15 sýnir að minnki meðalvinnslan í 15 l/s muni vatnsborð haldast ofan 200 m, en minnki meðalvinnslan í 12 l/s muni vatnsborð haldast ofan 150 - 160 m dýpis. Ef meðalvinnslan minnkar um c.a. helming (í 9 l/s) mun vatnsborð sveiflast á bilinu 80 - 120 m, skv. líkaninu.

Ef um 10 l/s af vatni frá Kaldárholti er að jafnaði blandað við 12 l/s af vatni úr holu LWN-4 fást um 22 l/s af 82°C vatni, sem hafa sama orkuinnihald og 17 l/s af vatni úr holu LWN-4 eingöngu, þ.e. 41 GWh/ári. Er þá reiknað með að vatnið frá Kaldárholti kólni að jafnaði um 5°C á leiðinni á Laugaland. Þá má líta á tvö tilfelli. Annars vegar að núverandi lögn milli Laugalands og Hvolsvallar verði notuð áfram og hins vegar að lögnin hafi verið endurnýjuð með hæfilega víðri og vel einangraðri stállögn. Niðurstöður einfaldra áætlana tengdum þessum tveimur tilfellum ásamt upplýsingum um núverandi stöðu eru birtar í töflu 7. Bent skal á að þetta eru eingöngu ónákvæmar áætlanir, birtar hér til fróðleiks, sem ráðgjafaverkfræðingar Hitaveitu Rangæinga munu reikna af meiri nákvæmni.

**Tafla 7. Áætlanir um rennsli, hita og orkuflutning fyrir mismunandi tilfelli samnýtingar Kaldárholtis og holu LWN-4.**

	Núverandi staða	Laugaland + Kaldárholt gamla aðveituæðin	Laugaland + Kaldárholt ný aðveituæð
Kaldárholt, meðalvinnsla (l/s)	0	10	10
Laugaland, meðalvinnsla (l/s)	17	12	12
Samtals til Hellu (l/s)	17	22	22
Hiti frá Laugalandi (°C)	98	82	82
Orka frá Laugalandi (GWh)	41	41	41
Hiti á Hellu (°C)	80	70	76
Orka til Hellu (GWh)	30	32	36
Rennsli til Hvolsvallar (l/s)	9	11,5	11,5
Hiti á Hvolsvelli (°C)	55	52	64
Orka til Hvolsvallar (GWh)	8	9	14

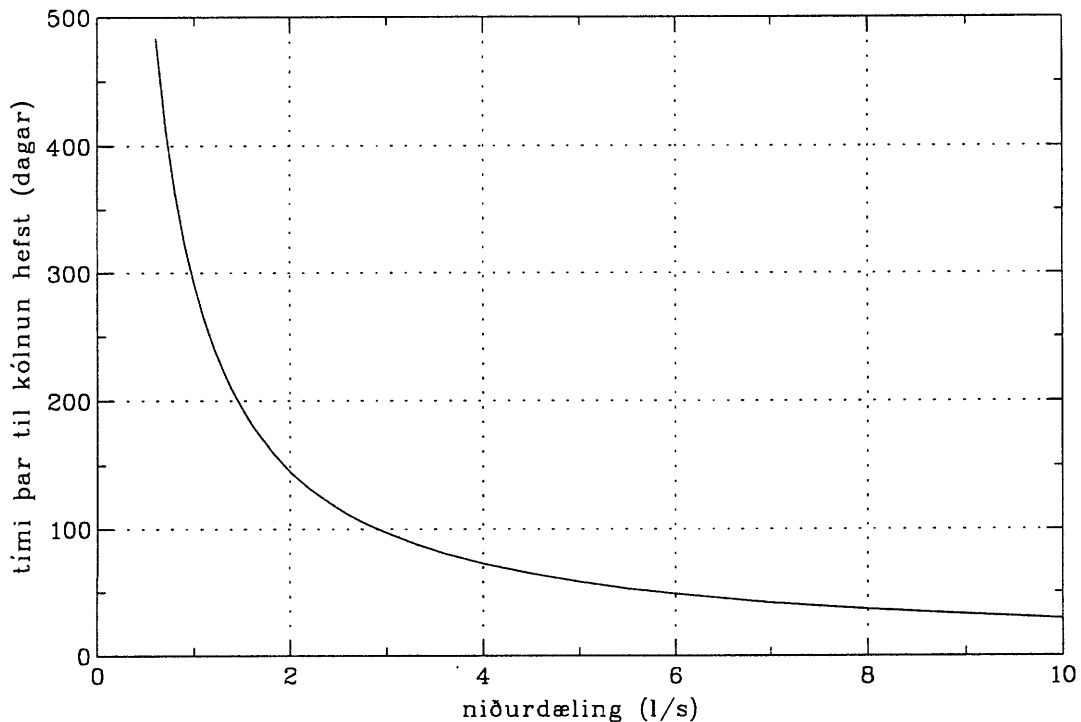
Taflan sýnir að þótt vatnshitinn lækki töluvert við íblöndun Kaldárholtisvatnsins þá fæst í raun ívið meiri orka en áður til Hellu og Hvolsvallar verði gamla asbestlögnin notuð áfram. Ef lögnin verður endurnýjuð ætti að fást um 20% meiri orka til Hellu, skv. töflunni, og um 70% meiri orka til Hvolsvallar.

Sá möguleiki að dæla vatni frá Kaldárholti niður í holu GN-1, í þeim tilgangi að auka orkuvinnsluna úr jarðhitakerfinu, hefur verið til athugunar (Guðni Axelsson, 1998c). Helstu niðurstöðurnar voru þær að lítið rúmmál þess hluta sprungubeltisins, sem tengir holur GN-1 og LWN-4 og niðurdælingarvatn rennur eftir, veldur því að vatn úr þeirri síðari kólnar hratt við niðurdælingu í þá fyrri. Niðurdæling í styttri tíma ætti að geta verið hagkvæm, en ekki niðurdæling til lengri tíma. Skv. athugininni ættu auk þess að vera tók á að nota niðurdælingu vatns frá Kaldárholti til aflaukningar, t.d. í kuldaköstum. Mynd 16 sýnir mikilvægustu niðurstöðu athugunarinnar, þ.e. áætlun um hversu langt líði frá því að niðurdæling hefist í holu GN-1 þar til kólnunar fer að gæta í holu LWN-4. Myndin sýnir niðurstöðuna fyrir mismikla niðurdælingu.

Til þess að kanna tímabundna niðurdælingu frekar var líkanið, sem notað hefur verið hér að framan, notað til þess að spá fyrir um áhrif þess á vatnsborð í holu LWN-4, að dælt verði niður í holu GN-1. Annars vegar voru reiknaðar spár fyrir 4 l/s niðurdælingu í 3 mánuði á sumrin, en hins vegar fyrir 2 l/s niðurdælingu í 6 mánuði á veturnum. Niðurstöðurnar, sem reiknaðar eru fyrir 12 l/s ársmeðalvinnslu, eru sýndar á myndum 17 og 18. Þar sést að niðurdæling veldur fyrst og fremst hækkun þann tíma sem dælt er niður, auk

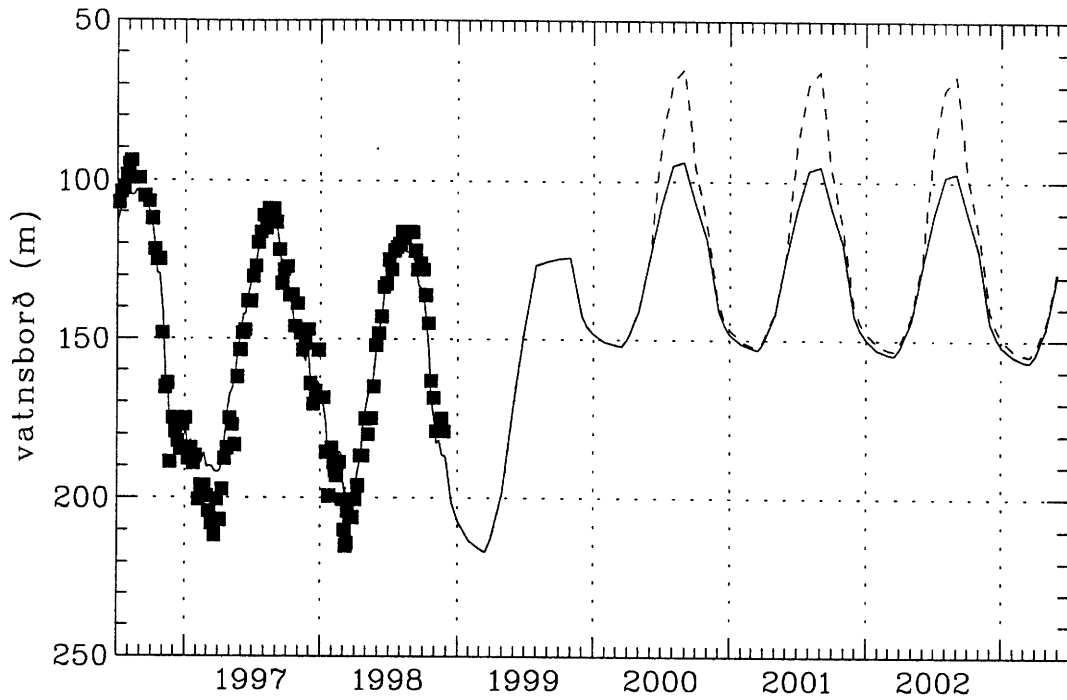
hækkunar meðalvatnsborðs.

Segja má að komið hafi á óvart hversu lítil áhrif niðurdæling á sumrin hefur á vatnsborð á vetrum, skv. líkaninu (mynd 16). Ástæðan er væntanlega sú að lekt jarðhitakerfisins er lítil og því yfirgnæfa áhrif mikillar vetrarvinnslu langtímaáhrif niðurdælingarinnar. Jafnframt þarf að hafa í huga að líkanið sem notað er til reikninganna er nokkuð einfalt. Nokkrar líkur eru á því að vatnsborð hækki ekki alveg eins mikið meðan á niðurdælingunni stendur yfir sumarið og að niðurdæling muni í raun hafa eitthvað meiri áhrif yfir vetrartímann.

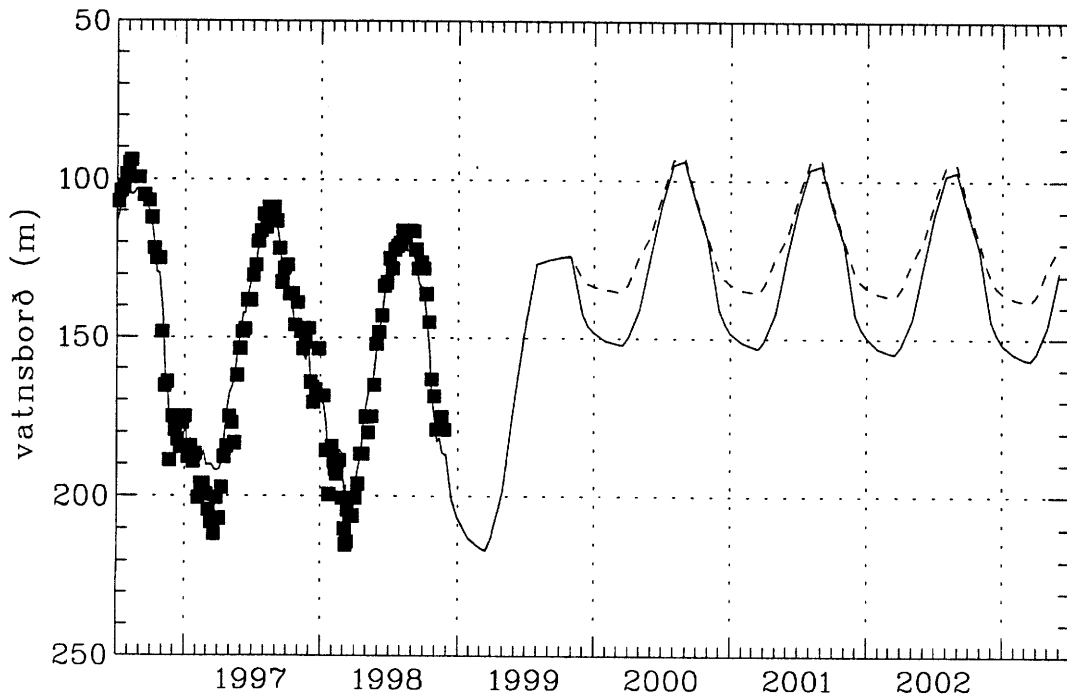


**Mynd 16.** Áætlaður tími frá því að niðurdæling hefst í holu GN-1 þar til kólnunar fer að gæta í holu LWN-4 ("thermal breakthrough time").

Niðurdæling yfir vetrartímann virðist muni hafa miklu hagkvæmari áhrif, en skv. mynd 17 mun 2 l/s niðurdæling yfir veturinn hækka vatnsborð í holu LWN-4 um 20 m, eða svo. Jafnframt er rétt að ítreka það að meiri niðurdæling í stuttan tíma, t.d. í kulda-köstum, mun nýtast til aflaukningar (Guðni Axelsson, 1998c). Niðurstaðan er því sú að verði ákveðið verður að nýta vatn frá Kaldárholti til niðurdælingar, þá verður það fyrst og fremst hagkvæmt á vetrum, annað hvort lítið magn í nokkra mánuði eða meira magn í skemri tíma.



**Mynd 17.** Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 við 12 l/s ársmeðalvinnslu, annars vegar án niðurdælingar (heil lína) og hins vegar með 4 l/s niðurdælingu í GN-1 í 3 mánuði á sumrin (slitin lína).



**Mynd 18.** Spár um vatnsborðsbreytingar í holu LWN-4 við 12 l/s ársmeðalvinnslu, annars vegar án niðurdælingar (heil lína) og hins vegar með 2 l/s niðurdælingu í GN-1 í 6 mánuði á veturna (slitin lína).

## 9. Samandregnar niðurstöður

### Vinnslueftirlit:

Helstu niðurstöður vinnslueftirlits síðustu tólf mánaða hjá Hitaveitu Rangæinga eru eftirfarandi:

- Vatn úr holum LWN-4 og GN-1 sýnir litlar breytingar í efnastyrk milli ára.
- Stöðug tæring er á asbesti í aðveitulögnum og mest milli Hellu og Hvolsvallar, en minni en oft áður.
- Meðalvinnsla ársins 1998 á Laugalandi í Holtum stefnir í 17,4 l/s, sem er um 4% aukning frá meðalvinnslu árána 1993 - 1997, er vinnslan hólst nokkuð óbreytt. Orkuvinnslan ársins 1998 stefnir í 41 GWh.
- Fyrri helming mars 1998 var vinnsla óvenju mikil, eða um 27 l/s, sem er mesta vinnsla sem verið hefur á Laugalandi síðasta áratuginn. Þetta stafaði af einstaklega óhagstæðu veðri, bæði miklu frosti og hvassviðri. Á þessum tíma var hola GN-1 notuð samhliða holu LWN-4, til þess að létta á þeirri síðarnefndu. Mest varð vikumeðalvinnslan úr holu GN-1 rúmlega 9 l/s.
- Vatnsborð fór neðar en nokkru sinni í kuldakastinu í mars s.l., eða niður í 214 m dýpi í holu LWN-4. Þarna fór það neðar en búist hafði verið við. Það var í fyrsta lagi vegna þess að vinnslutoppurinn í kuldakastinu varð mun meiri en sambærilegir toppar undanfarin ár, í öðru lagi vegna lítills rúmmáls jarðhitakerfisins, lágrar lektar þess og takmarkaðs aðstreymis og í þriðja lagi vegna þess að lektin næst vinnsluholunum minnkar hugsanlega þegar vatnsborð er komið jafn neðarlega og það hefur farið síðustu vetur.
- Ef kalt verður í veðri nú í vetur og viðlíka vinnslutoppar verða og í mars s.l. er nokkur hætta á vatnsskorti í lok vetrar. Miðað við veðurfar síðustu ára er það þó ólíklegt, en rétt er að Hitaveitan verði viðbúin slíku. Til dæmis má dreifa vinnslunni á báðar vinnsluholurnar, líkt og undanfarna vetur, og auka kyndingu í kyndistöðinni á Hvolsvelli (hækka framrásarhita) í kuldaköstum. Einnig er hugsanlegt að nýta holu LN-3 tímabundið
- Hiti vatns úr holu LWN-4 hefur ekki breyst undanfarinn áratug, að undanskilinni ársveiflu. Hann hefur haldist um 98,5°C að jafnaði.

### Jarðhitaleit:

- Fengist hefur 67°C heitt vatn í Kaldárholti og er hola KH-34 talin geta gefið a.m.k. 30 l/s við langtímanýtingu með innan við 40 m niðurdrætti.
- Talið er líklegt út frá efnamælingum á vatninu að jarðhitakerfið í Kaldárholti sé a.m.k. 80°C heitt.
- Árangur af borun a.m.k. 1000 m djúprar holu til að freista þess að finna heitara vatn er óviss.
- Ekkert í efnafræði vatnsins virðist vera því til fyrirstöðu að blanda 67°C heitu vatni frá Kaldárholti saman við vatn frá Laugalandssvæðinu.

### Orkuöflun:

Helstu kostir, sem nú koma til greina til frekari orkuöflunar fyrir Hitaveitu Rangæinga, og helstu niðurstöður athugana á nýtingu vatns, sem nú hefur fundist í Kaldárholti, eru eftirfarandi:

- Hóla KH-34 er talin geta gefið a.m.k. 30 l/s af 67°C vatni, sem jafngildir um 40 GWh orkuvinnslu.
- Álitlegasti kosturinn fyrir veituna er talinn sá að virkja 67°C heita vatnið frá Kaldárholti, og nýta það til beinnar blöndunar. Þá má nýta það til niðurdælingar á Laugalandi. Jafnframt er lagt til að aðveituæð veitunnar verði endurnýjuð, etv. í áföngum.
- Ef ársmeðalvinnslan á Laugalandi minnkar í 12 l/s, vegna íblöndunar vatns frá Kaldárholti, mun vatnsborð í vinnsluholunum þar haldast ofan 150 - 160 m dýpis næstu árin, skv. líkanreikningum.
- Ef 10 l/s vatns frá Kaldárholti og 12 l/s vatns úr holu LWN-4 er að jafnaði blandað saman fást 22 l/s af 82°C vatni, sem hafa sama orkuinnihald og 17 l/s af vatni úr holu LWN-4 eingöngu. Þannig fæst ívið meiri orka til Hellu og Hvolsvallar, þó vatnshitinn lækki nokkuð á báðum stöðum, eða í u.þ.b. 69°C á Hellu að jafnaði og í u.þ.b. 50°C á Hvolsvelli.
- Ef gamla asbestlögnin er endurnýjuð næst mun meiri orka til Hellu og Hvolsvallar og má áætla að aukningin verði um 30% á Hellu og 70% á Hvolsvelli, miðað við sömu blöndun (10 l/s úr KH-34 og 12 l/s úr LWN-4).
- Niðurdæling vatns frá Kaldárholti í holu GN-1 verður fyrst og fremst hagkvæm á vetrum, annað hvort lítið magn í nokkra mánuði eða meira magn í skemmri tíma (aflaukning í kuldakasti).
- Djúpbörun er möguleg í Kaldárholti til að freista þess að afla heitara vatns, en henni fylgir veruleg óvissa.
- Hugsanlegt er að dæling úr endurfóðraðri holu LN-3 á Laugalandi geti nýst, a.m.k. sem toppafl í kuldaköstum. Það mun þó ekki koma í stað virkjunar í Kaldárholti. Áður þarf að prófa og mæla holuna.

## 10. Heimildir

- Grímur Björnsson, 1998: Vinnsla heits vatns úr holu 3 á Laugalandi í Holtum. Orkustofnun, greinargerð GrB-98/07.
- Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993: Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03 B, unnin fyrir Hitaveitu Rangæinga.
- Guðmundur Ómar Friðleifsson, 1998: Hitaveita Rangæinga. Greining berglaga í rannsóknarholum. Orkustofnun, greinargerð GÓF-98/04.
- Guðni Axelsson, 1998a: Jarðhitavinnsla á Laugalandi í Holtum. Staða að loknu kuldakasti í mars 1998. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/01.
- Guðni Axelsson, 1998b: Stutt dæluþrófun holu KH-34 í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/03.
- Guðni Axelsson, 1998c: Nýting vatns úr holu KH-34 í Kaldárholti. Um áhrif niðurdælingar í holu GN-1 í Götu. Orkustofnun, greinargerð GRG GAx-98/06.
- Guðrún Sverrisdóttir, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1997: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1996-1997. Orkustofnun, OS-97070, 21 s., unnin fyrir Hitaveitu Rangæinga.
- Guðrún Sverrisdóttir, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1997. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992. Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, OS-97070.
- Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998a: Blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum v/Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, greinargerð HÁ-HK 1998/02.
- Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998b: Um vatn frá Kaldárholti og Laugalandi, Holtum. Orkustofnun, greinargerð HÁ-HK 1998/03.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Grímur Björnsson og Ólafur G. Flóvenz, 1997: Greinargerð um vatnsöflun Hitaveitu Rangæinga á komandi árum. Orkustofnun, greinargerð HK-97/03.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1998: Jarðhitavatn úr borholum í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð HK-98/03.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Guðrún Sverrisdóttir, Magnús Ólafsson og Sverrir Þórhallsson, 1991. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1990-1991. Orkustofnun, OS-91050/JHD-29 B.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992. Orkustofnun, OS-92060/JHD-33 B.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1993. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1992-1993. Orkustofnun OS-93076/JHD-38 B.

- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1994. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1993-1994. Orkustofnun, OS-92058/JHD-34 B.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1995. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1994-1995. Orkustofnun, OS-92063/JHD-42 B.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson, 1996. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1995-1996. Orkustofnun, OS-92072/JHD-41 B.
- Kristján Sæmundsson, 1998a: Jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun, greinargerð KS-98/01.
- Kristján Sæmundsson, 1998b: Jarðhitaleit í Kaldárholti. Orkustofnun, minnisblað 20.07.98.
- Magnús Ólafsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1990. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1989-1990. Orkustofnun OS-90047/JHD-27 B.



## **Viðauki**

**Greinargerðir um málefni Hitaveitu Rangæinga 1998**



## **GREINARGERÐ UM VATNSÖFLUN HITAVEITU RANGÆINGA Á KOMANDI ÁRUM**

### **Staða vatnsöflunar hjá Hitaveitu Rangæinga**

Hitaveita Rangæinga hefur unnið vatn sitt úr aðallega einni borholu á Laugalandi í Holtum í um fimmtán ár. Varavinnsluhola veitunnar tekur vatn úr sömu vatnsæðum og aðalvinnsluholan. Ársmeðalvinnsla úr svæðinu hefur numið 16,5-22 l/s. Vinnslan hefur reynt mjög á svæðið og vatnsborð lækkaði ört fyrstu ár vinnslunnar. Var þá gripið til ýmissa ráða til að minnka vinnsluna, settur upp rafskautsketill á Hvolsvelli, lögnin einangruð betur og farið að selja vatn samkvæmt magnmælum og stóð þá vatnsborð í stað um nokkurn tíma. Vegna aukinna umsvifa á Hvolsvelli fyrir nokkrum árum jókst vinnsla nokkuð og einnig hefur þurft að auka vinnslu tímabundið vegna kalds veðurfars. Við slíkar aðstæður fellur vatnsborð mjög ört og er ljóst að á næstu árum mun vatnsborð í vinnsluholum nálgast dæluþýpi í kuldaköstum á vetrum. Lækkun vatnsborðs var mætt með síkkun dælu úr 225 m í 243 m árið 1992, en ekki þykir fýsilegt að síkka hana meira af tæknilegum ástæðum og einnig eykst kostnaður af dælingu verulega með því. Hitaveitan stendur nú frammi fyrir því að fljótlega eftir aldamót mun svæðið ekki lengur standa undir núverandi vinnslu hvað þá aukningu.

### **Valkostir til frekari orkuöflunar**

Hitaveitan fól Orkustofnun árið 1992 að gera úttekt á þeim vatnsöflunarkostum, sem hitaveitunni standa til boða í framtíðinni og voru niðurstöður þeirrar vinnu birtar í skýrslu árið 1993 (Grímur Björnsson o.fl., 1993). Í skýrslunni var tekið á öllum þeim möguleikum, sem taldir voru geta gefið árangur, smáan sem stóran. Gerð var gróf kostnaðaráætlun um helstu aðgerðir og lagt mat á áhættu og líkur á árangri. Niðurstaða skýrslunnar var sú að enginn kostur væri augljóslega bestur eða hagkvæmastur, þótt sumir kæmu ekki til greina við núverandi aðstæður, eins og t.d. virkjun háhitasvæðisins í Reykjadalum. Mikill kostnaður fylgir þessum möguleikum flestum og einnig talsverð áhætta, þ.e. líkur á árangri eru talsvert óvissar. Þeir kostir, sem einna minnst áhætta var bundin eins og niðurdæling volgs vatns í Laugalandssvæðið eða bein vinnsla slíks vatns, voru jafnframt þeir sem líklegir voru til að skila hvað minnstum árangri eða vera einungis skammtímalausnir. Endurnýjun aðveitulagnar reyndist mjög dýr kostur og kallaði á endurhönnun alls kerfisins, auk þess sem það sparaði lítið vatnsvinnslu á Laugalandi. Helstu valkostum er lýst í nokkru meiri smáatriðum hér að neðan.

### **Frekari orkuöflun á Laugalandi**

Í ofan nefndri skýrslu var gerð úttekt á núverandi vinnslusvæði á Laugalandi í þeim tilgangi að auka skilning á á innri gerð og eðli jarðhitakerfisins og segja til um hvort afla mætti meiri orku þar með frekari borunum eða með niðurdælingu. Einnig var gerð ferilprófun á

svæðinu 1992 til að kanna hversu greið tengsl væru milli aðalvinnsluholna, þar sem niðurdæling er meðal þeirra kosta sem til greina koma til að halda uppi vatnsborði á svæðinu. Farið var yfir forsendur vinnsluspáa fyrir Laugalandssvæðið og áætlaðar vatnsborðsbreytingar á svæðinu miðað við breytilegar forsendur. Niðurstöður þessara rannsókna voru dregnar saman í nýtt líkan af jarðhitasvæðinu. Niðurdæling í núverandi varaholu var ekki talinn fýsilegur kostur, nema vatnið væri a.m.k. 50 °C heitt og auk þess talið draga um of úr rekstraröryggi veitunnar að nota hana sem niðurdælingarholu. Vænlegra var talið að bora nýja niðurdælingaholu í a.m.k. 200 m fjarlægð frá aðalvinnsluholunni. Talið var óhætt að dæla um 5 l/s af volgu vatni niður í slíka holu og álitnið að það mundi skila sér að verulegu leyti í aukinni orkuvinnslu úr holunni. Einnig var talið líklegt að unnt sé að vinna tímabundið 5-10 l/s af a.m.k. 40 °C heitu vatni úr efra kerfi jarðhitasvæðisins. Slíkt vatn var talið hagkvæmt að nota til niðurdælingar, en hluta þess mætti nýta beint á Laugalandssvæðinu sjálfu. Slíkar boranir og rannsóknir á Laugalandssvæðinu gætu kostað um 20 mkr og eru bundnar nokkurri óvissu um árangur. Þær mundu geta haldið vatnsborðinu á svæðinu ofan dæluþýpis í 10-20 ár miðað við óbreytta vinnslu, en gætu ekki staðið undir neinni varanlegri aukningu á orkuvinnslu.

Hugsanlegt er talið að á Laugalandssvæðinu sjálfu leynist dýpra vatnskerfi, sem sé lítið tengt því jarðhitakerfi, sem nú er unnið úr. Til að kanna þá tilgátu þarf að bora a.m.k. 1500 m djúpa borholu. Það er aðgerð sem kostar a.m.k. 20 mkr og er sú fjárfesting bundin talsverðri óvissu um árangur.

### **Rannsókn nýrra vinnslusvæða**

Jafnframt voru teknir saman valkostir um hugsanleg ný vinnslusvæði fyrir Hitaveitu Rangæinga. Ekki er vitað um neitt svæði, sem er kjörið til nýtingar fyrir hitaveituna. Nokkur svæði gætu komið til greina, en öll eiga það sameiginlegt að rannsóknir eru skammt á veg komnar.

Af svæðum í tengslum við sprungukerfin við Laugaland er talið áhugaverðast að rannsaka Sumarliðabæ, Kaldakinn og sprungukerfið NA af Laugalandi. Sumarliðabær er næsti þekkti jarðhitastaður, en þar er vatnið fremur kalt a.m.k. það sem vitað er um. Ekki hefur heldur tekist að hitta á aðaluppstreymisæð vatnsins. Jarðhitinn í Kaldakinn hefur ekkert verið rannsakaður. Í sprungukerfinu NA við Laugaland er ekki vitað um jarðhita á yfirborði, en lagt var til að byrja á að gera þar viðnámsmælingar.

Í næsta sprungusveim norðan og austan við Laugaland er þekktur jarðhiti við Hjallanes/Skammbeinsstaði og við Læk. Hjallanes og Skammbeinsstaðir eru ekki fjarri Laugalandi og þar er aflmikil hola. Vatnið úr henni er þó einungis 53 °C, sem er of kalt til að leiða það um langan veg og hætta er á útfellingum við blöndun við Laugalandsvatnið.

Talið er mjög áhugavert að bora djúpa rannsóknarholu í eitthvert sprungukerfanna á Suðurlandi til að fá úr því skorið hvort ekki sé unnt að vinna mun heitara vatn úr þeim en hingað til hefur verið gert. Í sprungukerfinu við Þorleifskot í Flóa eru reyndar mjög ákveðnar vísbendingar um að á 1000-2000 m dýpi sé mun heitara vatnskerfi, en unnið hefur verið til þessa, en ekki hefur hist á það með borunum. Slík rannsóknarborun djúpt í eitthvert þessara sprungukerfa hefur mikið hagnýtt gildi og ef hún reyndist jákvæð mundu niðurstöðurnar hafa almennt gildi fyrir jarðhitaöflun í heilum landshluta. Virðist því sanngjarnt að áhætta af slíkri rannsókn, sem er bæði dýr og óvíst hvort hún skilaði jákvæðum árangri, væri tekin af almannafé en ekki Hitaveitu Rangæinga einni saman.

Kostnaður við virkjun á háhitasvæðinu í Reykjadölum var metinn í skýrslunni frá 1993. Eins og reyndar hafði verið búist við er það ekki talinn raunhæfur kostur við núverandi aðstæður vegna hás orkuverðs.

## **Orkusparnaður, rafhitun og nýting affallsvatns**

Auk þess að skoða möguleika á aukinni orkuöflun með jarðhita var litið á aðra kosti eins og endurnýjun aðveitulagnar. Núverandi lögn er úr asbesti og mikið orkutap í henni, auk þess sem hún tærist stöðugt jafnframt því sem vatnsgæði spillast og hætta er á vandræðum vegna útfellinga. Þótt þessi leið spari orku þá kallar hún á aukið magn bakrásarvatns á Rauðalæk og Hellu vegna aukins framrásarhitastigs. Auk þess er ekki líklegt að um verulega mikinn sparnað gæti orðið að ræða á dældu vatnsmagni frá Laugalandi (1-1,5 l/s) þar sem við núverandi fyrirkomulag er notaður rafskautsketill til að skerpa á vatninu á Hvolsvelli og bakrásarvatnið þar endurupphitað. Það sem mest á ríður er að halda vatnsborði uppi á Laugalandi svo minnkuð vatnsvinnsla eða niðurdæling skiptir þar mestu máli.

Einnig voru skoðaðir möguleikar á aukinni nýtingu bakrásarvatns, aukinni rafhitun og síkkun dælna í vinnsluholum og metinn kostnaður og árangur slíkra aðgerða.

## **Aðgerðir Hitaveitu Rangæinga 1993-1997 til frekari orkuöflunar**

Á þeim tíma sem liðinn er frá þessari úttekt hefur Hitaveita Rangæinga sinnt ýmsum verkefnum, sem miða að frekari orkuöflun veitunnar. Hitaveitan rannsakaði á árunum 1991-1993 jarðhitalíkur við Núp í Fljótshlíð. Niðurstöður þeirrar rannsóknar reyndust neikvæðar og fannst enginn vottur jarðhita þar við borun. Hitaveitan hefur aukið talsvert nýtingu bakrásarvatns, einkum á Hvolsvelli og skipt út hlutum af asbestlögninni í aðveitunni. Tíðar bilanir á aðveitulögn hafa stýrt því hvar lögnin hefur verið endurnýjuð og valdið því að ekki hefur verið fjárhagslegt bolmagn til að endurnýja eins mikið af lögninni nálægt Laugalandi og áætlað hafði verið. Afkoma veitunnar, há gjaldskrá og kröfur um lækkingu hennar í náinni framtíð hafa valdið því að hún hefur ekki séð sér fært að leggja í dýr og áhættusöm jarðhitaleitarverkefni. Gerðar hafa verið dæluþrófanir á Laugalandi auk hefðbundins vinnslueftirlits, hermireikninga og reikninga á nýjum vinnsluspám og prófun á þeim. Einnig hefur verið fylgst grannt með þróuninni og hugsanlegum nýjum vatnsöflunarmöguleikum fyrir veituna.

## **Nýir möguleikar til vatnsöflunar**

Í maí 1996 voru boraðar rannsóknarborholur í Þykkvabæ, sem sýndu frávik í hitastigli, sem virtist fylgja jarðskjálftabelti með stefnu NNA-SSV um miðjan Djúpárhrepp. Strax á þessu stigi benti Orkustofnun Hitaveitu Rangæinga að möguleikar gætu falist í því fyrir veituna að taka þátt í þessum rannsóknum með borun nokkurra leitarholna í grennd við Rauðalæk, en þar virðist jarðskjálftabeltið ná inn á það svæði, sem er áhugavert til vatnsöflunar fyrir hitaveituna. Hitaveitan hafði á þeim tíma ekki möguleika á þáttöku. Nú er borun djúprar holu fyrir Djúpárhrepp lokið með þeim árangri að fengist hefur 85-90 °C heitt vatn, sem er nokkuð salt miðað við það sem gerist í hitaveitum. Enn er óvíst hvaða magn fæst með langtímadælingu, en vonast er til að það geti numið 3-4 l/s. Þessi árangur ýtir undir áhuga hitaveitunnar á að rannsaka svæðið í grennd við Rauðalæk. Ljóst er að fengist heitt vatn þar hentaði staðsetning vatnsvinnslu vel miðað við legu aðveitu að því gefnu að blanda mætti vatninu saman. Í öllu falli væri staðsetning heppileg miðað við þéttbýlisstaðina á Rauðalæk og Hellu og heppilegri fyrir veituna en önnur hugsanleg vinnslusvæði. Það er því margt, sem mælir með því Hitaveitu Rangæinga að hefji jarðhitarannsóknir á þessu svæði.

Réðist Hitaveita Rangæinga í jarðhitarannsókn við Rauðalæk þyrfti væntanlega að bora 5-10 leitarholur. Kæmi fram afbrigðilegur stigull þyrfti að fjölga leitarholunum til að afmarka hann og staðsetja djúpa borholu. Jákvæður árangur leitarholna kallaði svo á borun a.m.k. 1000 m djúprar holu, sem hugsanlega gæti nýst sem vinnsluhola fyrir veituna. Hér á eftir er tekin saman kostnaðaráætlun um nauðsynlegar rannsóknir á svæðinu, en heildarkostnaður er tæpar 20 mkr. Fyrri áfanginn, sem er borun grunnra leitarholna og endar á staðsetningu djúprar rannsóknarholu kostar um 4 mkr.

Um er að ræða verulega kostnaðarsama jarðhitaleit á nýju svæði og mjög erfitt er að meta líkur á árangri út frá núverandi þekkingu. Rannsóknin mundi væntanlega auka verulega almenna þekkingu á eðli jarðhita á þessu landssvæði og gæfi hún jákvæðan árangur mundi hún auka að mun líkur á hitaveituvæðingu á sumum "köldu" svæðanna á landinu.

## **Kostnaðaráætlun fyrir rannsóknarboranir við Rauðalæk**

### **1. Áfangi**

Undirbúningsrannsóknir	
50 t @ 3.218,- kr/t	160.900,-
Borun 10 leitarholna	
1000 m @ 3500 kr/m	3.500.000,-
Rannsóknir samfara borun og úrvinnsla gagna	
80 t @ 3.218,-kr/t	257.440,-
Samtals	<u>3.918.340,-</u>

### **2. Áfangi**

Borun 1000 m rannsóknarholu	
1 hola @ 15.000.000,-	15.000.000,-
Vinna við prófun og úrvinnslu	
100 t @ 3.218,-	321.800,-
Mælinga, efnagreiningar og ráðgjöf u.þ.b.	
	1.000.000,-
Samtals	<u>16.321.800,-</u>



18.02.1998

## Jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga.

Undanfarnar vikur hefur staðið yfir jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga. Leitin beinist að þremur stöðum eða svæðum. Þau eru: 1) Nágrenni Laugalands, 2) Svæði milli Laugalands og Suðurlandsvegar og 3) Kaldakinn austan við Laugaland.

Við leitina hefur verið beitt hitastigulsborunum. Nauðsynlegt hefur reynst að bora um 100 m djúpar holur. Nokkrar eru þó grynri og ein er 150 m (í Köldukinn). Jarðlög eru fremur óhagstæð fyrir svona leit þar sem bora þarf miður úr grágrýti og setlögum niður í tertiera 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 meginskjálftabeltið (mynd 1). Sunnan Laugalands sjást smáskjálftar í stöku þyrpingum, þannig að brotavirkni nær lengra suður.

Nokkrar hitastigulsholur höfðu verið boraðar á þessu svæði áður en kom til þeirrar jarðhitaleitar sem nú stendur yfir. Þær sýndu nokkuð jafnan hitastigul kringum  $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (Lyngás, Hella, Árbæjarfoss). Hóla í Litlutungu var þó heldur heitari með  $96^{\circ}\text{C}/\text{km}$ -stigul. Það var einkum sú hola og NA-SV skjálftaþyrping milli Þykkvabæjar og Rauðalækjar sem gaf tilefni til að kanna svæðið sunnan Laugalands. Jarðhitakerfið á Laugalandi er talið fremur lítið og væri því mestur ávinningur af því að finna jarðhita utan þess.

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 niður í þær neðri. Eftir að kemur í blágrýtið eru holurnar flestar þéttar og sýna þar réttan berghita og þar með stigulinn sem eftir er leitað. Nokkrar af holunum lentu í vatnsæðum niðri í blágrýtinu. Það á einkum við holu 10 Hallstúni, holu 12 í Breknalandi og holu 14 í Litlutungulandi. Svarf úr þessum holum er í greiningu til að sjá hvort æðarnar tengjast sprungum eða lagamótum.

Niðurstaða liggur ekki fyrir úr jarðhitaleitinni enda er henni ekki lokið. Hér á eftir er greint frá því helsta sem fram hefur komið. Borstaðir eru sýndir á mynd 2 (ekki nákvæmlega). Alls hafa verið boraðar 12 holur auk tveggja grunnra sem urðu ónýtar.

### *Nágrenni Laugalands*

Í nágrenni Laugalands voru boraðar 4 holur. Holur 6 og 7 eru norðan við jarðhitasvæðið nærri sprungum sem þar sjást. Hola 7 (í Nefsholti) sýnir svæðisstigulinn  $83^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , en hola 6 er óeðlilega köld. Þar gætir líklega góðrar lektar í virku sprungunum, þ.e. sama sprungukerfinu og Laugalandskerfið tengist. Hola 6 er um það bil 1 km NNA frá vinnslusvæðinu og ljóst að jarðhitauppstreymi nær ekki þangað þótt sprunga nái þangað og heitt vatn gæti tengst henni á miklu dýpi (neðan 1000 m). Hola 4 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 kom út með 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 mátti í útjaðri jarðhitakerfis. Hola 10 (í Hallstúni) er um 700 m ANA frá vinnslusvæðinu. Hún reyndist mjög lek og köld. Hin mikla lekt tengist líklega sprungu. Ekki verður á

Þessu stigi séð hvort stefna hennar myndi vera 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. Enn er ókannað hver víðátta þess er til suðurs, en það er fyrirhugað með holu suðvestan við heitavatnsholumar (norðaustan við Lýting).

### *Svæðið milli Laugalands og Suðurlandsvegur*

Fyrstu holurnar í þessu leitarátaki voru boraðar við Suðurlandsveginn, önnur (hola 1) á móts við afleggjarann að Brekkum, hin (hola 3) í landi Meiritungu, skammt austan við Vegamót. Brekknaholan sýndi sama hitastigul og gamla holan í Litlutungu (96°C/km). Vegamótaholan gaf aftur á móti svæðisstigullinn (85°C/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, hola 5 norðan við Hestaklett og hola 9 austan við Völlinn. Hola 5 var með um 100°C/km stigul og reyndist kaldari. Hins vegar má ráða af henni að Laugalandskerfið nái suður undir heiðina austan við Lýting og ýtir hún undir frekari könnun þar, eins og lagt hefur verið til með holu austan við Lýting. Hola 9 kom út með 117°C/km stigul. Framhaldið varð því frekari leit út frá henni með holum 12, 13 og 14. Hola 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°. Þar neðan við kemur holan út með um 160°C/km stigul á 15 m kafla í þéttu bergi, en hiti í botni (á 105 m dýpi) er einungis 9°C. Stigullinn er tæpast marktækur, því öflugt kaldavatnskerfi er þarna á ferðinni og gæti náð töluvert dýpra ef lektin tengist sprungu. Hola 13 er um 500 m SSV frá holu 12. Með henni var ætlunin hvort tveggja í senn að fá hitastigul í sprungustefnu SV frá holu 12 og til vesturs frá holu 9, en leit út frá henni miðast við að fá A-V-hitasnið með fleiri holum í röð og með hæfilegu millibili. Hola 13 gaf hitastigul uppá 89°C(km, og var þannig töluvert kaldari en hola 9. Hola 14 var þá boruð austan við holu 9 í Litlutungulandi. Hún reyndist mjög lek niðri í blágrýtinu, en þó heitari en hola 9. Hiti í botnæð er rúmar 16°C. Það svarar til um 125°C/km stiguls. Nokkurt rennsli er úr holunni af rúmlega 14°C heitu vatni. Framhaldið er borun holu 15 enn austar. Borun holu 15 lauk þ. 13.2., og hún var hitamæld þ. 17.2. Hitastigull í henni er 83°C/km. Svæðisstigullinn austar er töluvert lægri eða um 70°C/km, sem fram kemur í borholum í Ölvisholtshjáleigu og þar austur af. Með þessum 4 holum (9, 13, 14 og 15) er fengið hitasnið yfir 2 km breiða spildu þar sem unnt er að sjá út hvar hitahámark kæmi fram (sjá mynd 3).

Eins og mál standa nú lítur út fyrir að hitahámarkið sé um 280 m fyrir vestan holu 13 og sé nálægt 140-150°C/km. Vegna þess hvað hola 14 var lek er þessu þó ekki að treysta. Hún er í vatnskerfi þar sem hitinn gæti verið útjafnaður yfir langt dýptarbil. Hitatölur sem fengust í borun benda þó til stiguls ofan 100 m dýpis. Varðandi leit að nýju borsvæði sunnan Laugalands hef ég sett lágmarkskröfu við 160°C/km stigul, sem er um það bil tvöfaldur svæðisstigullinn. Þá er nokkuð víst um jarðhitakerfi, en óvíst um hita í því. Þar gætu efnagreiningar hjálpað, t.d á vatni eins og í holu 14.

### *Köldukinn*

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. Tertíera blágrýtið byrjar á 85 m dýpi. Mikið vatn var ofan til í holunni, en það var að mestu fõðrað 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 á þessum stað er vart miklu heitara en það í efstu 200-300 metrum berggrunnins. Neðar mætti vænta hækkandi hita. Gera þyrfti efnagreiningar á vatninu. 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 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 úr sprungunum sem grunna/volga kerfið tengist.

### *Framhald rannsókna*


Varðandi framhald jarðhitaleitarinnar er lagt til að hola 16 verði boruð að fenginni niðurstöðu úr holu 15 þar sem sú hola, ásamt hinum í holuröðinni (1, 9, 14), vísar til. Einnig verði boruð hola nokkuð austan við holu 5 þegar fyrir liggur hvar hitahámarkið er á hitasniðinu gegnum holur 9-15. Loks verði boruð hola norðaustan við Lýting, SA frá vinnslusvæðinu. Þess er ekki að vænta að jarðhitaleitinni ljúki með þessum þremur holum, a.m.k. ekki hvað “nágrenni Laugalands” (Heiðina) varðar. Þær vísbendingar sem fram eru komnar hvetja til að leitinni verði haldið áfram og lögð ráð á um framhaldið þegar niðurstaða úr þessum viðbótarholum liggur fyrir.

Enn hefur ekki verið unnið úr svarfi nema einnar af holunum (holu 8), en úrvinnsla úr þremur er í gangi (hola 10, 12 og 14). Hinar, sem búið er að bora, skipta minna máli um sinn þar sem þær voru í tiltölulega heilu blágrýti neðan við grágrýti og setlög. Staðsetja þarf holurnar sem búið er að bora með GPS mælingu. Loks þarf áður en lýkur að efnagreina vatn úr a.m.k. tveimur af holunum (holu 8 og 14).

Hitastigull í þeim holum sem komnar eru reiknast sem hér segir:

	<i>Dýpi m</i>	<i>Hitastigull °C/km</i>
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

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

  
Kristján Sæmundsson



### HITAVEITA RANGÆINGA. Greining berglaga í rannsóknarholum

Nokkrar rannsóknarholur hafa verið boraðar í vetur í þeim tilgangi að finna annað jarðhitasvæði í nágrenni Laugalandis í Holtum. Jarðlagagerð hefur áhrif hitastigul og útbreiðslu heits og kalds vatns nærri yfirborði. Þannig geta lek setlög truflað hitastigul næst yfirborði og gefið villandi vísbendingar um nálægð eða fjarlægð hugsanlegra uppstreymissvæða. Nauðsynlegt er því að þekkja jarðlagagerð í hitastigulsholum, og ekki síst ef hún er breytileg innan rannsóknarsvæðisins. Svo háttar til í Holtum. Þar hvíla grágrýti og setlög ofan á eldri, rofnum berggrunni. Svarf úr nokkrum hitastigulsholum hefur verið greint í þessum tilgangi. Hér er fjallað um holur H-7, H-10, H-12 og H-14.

Hola H-7 er staðsett um 0,5 km norður af Laugalandi og er 105 m djúp. Svarf var greind niður í 81 m dýpi. Hún er eingöngu boruð í hraunlög, sem eru 6 eða 7 að tölu og eru þau aðskilin af þunnum kargalögum. Hraunin eru flest úr meðalkorna ólivín þóleiiti. Eitt finkorna gulbrúnt og svo grátt siltlag er í svarfsýnum úr 21-24 m dýpi, og markar það líklega mislægi. Neðan þess eru hraunin heldur ummyndaðri, opalskán sést í holufyllingum á 30 m dýpi, og holufyllingaskán og sprungufyllingar úr kabasíti sjást á 60 m dýpi. Þessi eldri hraunlög eru þau sömu og finnast í holum 1, 2 og 3 á Laugalandi.

Hola H-10 er í Hallstúni austsuðaustur af holu H-7, lítið eitt hærra í landinu en Laugalandsholurnar. Holan er 96 m djúp. Hún er öll boruð í hraunlög eins og H-7, en efsta hraunlagið er mun þykkara eða yfir 30 m þykkt og er það úr fersklegu meðalkorna ólivín þóleiiti (grágrýti) eins og í H-7. Þar neðan við eru 2-3 svipuð hraunlög, ferskleg að sjá. Frá 57-66 m dýpi er kargalegt set og eitthvað af lagskiptu gráu silti. Neðan við 66 m dýpi var borað í eitt finkornóttara basaltlhraun og kargalag er í botni holunnar frá 90-96 m dýpi. Kabasít og thomsónít geislasteindir finnast þar.

Hola H-12 er um 4,5 km suðsuðvestur af H-10 rétt við heitavatnslögnina. Hún er 105 m djúp. Grágrýtið (grófkorna ólivín þóleiit hraunlag) nær niður í 21 m dýpi. Þar neðan við er lagskipt setlagasyrpa niður í 90 m dýpi a.m.k. Þunnt hraunlag kann að vera á því dýpi en neðan við 96 m dýpi var áfram borað í setlögum. Aðalefni setsins er gamalt ummyndað basalt sem innheldur kabasít- og thomsónít holufyllingar. Setið er að öðru leyti úr móbergsgleri, og hluti þess er úr ferskum súrum vikri, einkum í sýnum frá 36-39 m dýpi.

Hola H-14 er um 1 km austsuðaustur af H-12, og er hún í aðalatriðum eins og hola H-12. Grágrýtið nær niður á 24 m dýpi, og síðan tekur við setsyrpa. Setgerðirnar eru þó ólíkar, því meira er af vel rínnuðum sandi í finkornóttara seti allt niður á rúmlega 50 m dýpi í H-12. Þar tekur við heldur grófkornóttara set niður á 60 dýpi og undir því er grófkorna hraunlag niður á 69 m dýpi. Þetta hraunlag sést ekki í H-10. Neðan þess er talsvert mikið af súrum vikri í setinu. Ef hann á eitthvað skylt við súra vikurinn í H-10, þá munar um 30 m hæð á milli holna. Hraunið á 60 m dýpi í H-14 gæti því hafa runnið eftir lægð, og setið yfir er mun líkara straumvatnsseti en setið á sama dýpi í H-10. Neðan 69 m dýpis í H-14 tekur við lagskipt, misgrófkorna og sundurleitt set niður á 90 m dýpi. Þar virðist vera fremur finkornótt hraunlag sem nær niður á 99 m dýpi og undir því er basaltbrotaberg niður í 114 m dýpi. Basaltbrotabergið neðst í holu H-14 er einsleitt en dálítið veðrað að sjá, svo líklega er um laus jarðlög að ræða þar ofan mislægis við gamla ummyndaða berggrunninn.

Guðmundur Ómar Friðleifsson  
jarðfræðingur

Heppamyndun  
sýningar í  
24 m

öll í  
Heppamyndun

nas elki  
ofan í  
Heppamyndun

nas elki  
ofan í  
Heppamyndun

## JARÐHITAVINNSLA Á LAUGALANDI Í HOLTUM STAÐA AÐ LOKNU KULDAKASTI Í MARS 1998

### 1. INNGANGUR

Í lok febrúar síðastliðnum hófst mikið kuldakast, sem stóð í um 10 daga. Er það eitt mesta kuldakast sem komið hefur hér á landi síðustu áratugi, og fór saman mikið frost og hvassviðri. Við það sló vatnsnotkun met hjá flestum hitaveitum landsins. Á jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum nálgast vikumeðalvinnslan 28 l/s, sem er langt umfram það sem hún hefur mest orðið undanfarna vetur. Vegna þess fór vatnsborð í vinnsluholunum niður undir 220 m, þrátt fyrir það að vinnslunni væri dreift á báðar vinnsluholurnar til þess að draga úr iðustreymistapi. Fyrir kuldakastið var vatnsborðið á 180-190 m dýpi. Dælan í holu LWN-4 er á 243 m dýpi, og ekki talið æskilegt að vatnsborð í holunni fari niður fyrir 230 m.

Í kuldakastinu fór vatnsborð neðar en búist hafði verið við að það gerði í ár. Þótti því ástæða til að skoða hvað ylli, ásamt því að meta hvort hætta yrði á vatnsskortri seinna í vetur eða næstu vetur. Mynd 1 sýnir gögn úr gagnasöfnunarbúnaðinum við holurnar, 6 klst. meðalgildi dælingar ásamt útihita á Laugalandi. Þar sést kuldakastið vel og áhrif þess á dælinguna. Hér þarf að hafa í huga að mikill vindur jók vatnsnotkunina enn meira en ella. Mynd 2 sýnir vatnsborð og vikumeðalvinnslu síðasta hálfu árið, en þar sést lækkuun vatnsborðsins í byrjun mars vel. Mynd 3 sýnir að lokum vatnsborð og vinnslu síðasta áratuginn til samanburðar. Þar sést hvérnig vatnsborðið hefur lækkað hægt og sígandi allan þennan tíma.

### 2. ELDRI LÍKÖN OG SPÁR

Á undanförunum árum hefur líkan það af jarðhitakerfinu á Laugalandi, sem notað hefur verið til þess að herma vatnsborðsbreytingar í kerfinu tvisvar verið endurskoðað og spár um vatnsborðsbreytingar endurreiknaðar. Fyrst í byrjun árs 1993 (Grímur Björnsson o.fl., 1993) og aftur í lok árs 1996 (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1996). Jafnframt var í síðustu vinnslueftirlitsskýrslu spáð í líklega framvindu næstu ára á grundvelli lækkunar vatnsborðs síðustu árin, án sérstakra líkanreikninga (Guðrún Sverrisdóttir o.fl., 1997).

1. Skv. spá reiknaðri eftir endurskoðunina 1993 hefði vatnsborð ekki átt að fara niður fyrir 200 m nú í vetur miðað við 17 l/s ársmeðalvinnslu. Er það svipað og meðalvinnslan hefur verið undanfarin ár, en þó var ekki gert ráð fyrir eins mikilli ársveiflu í vinnslu og síðustu árin. Þarna voru reyndar reiknaðar bæði svokallaðar svartýnis- og bjartsýnisspár, og er hér miðað við svartýnisspá, sem gerir ráð fyrir því að jarðhitakerfið sé lítið og írennsli í það takmarkað. Í slíku kerfi lækkar vatnsborð stöðugt með tíma, þó meðalvinnsla aukist ekki.

2. Spáin frá 1996 gerði ráð fyrir mikilli vetrarvinnslu, eða 24 l/s að jafnaði. Skv. henni hefði vatnsborð í holu LWN-4 átt að fara niður í u.þ.b. 220 m nú í vetur. Meðalvinnslan frá nóvemberbyrjun til febrúarloka var í raun aðeins um 20 l/s, og hefði vatnsborð því átt að standa betur, en í þeirri spá var ekki gert ráð fyrir viðlíka vinnslutoppi og varð í raun.
3. Á grundvelli meðallækkunar vatnsborðs síðustu árin var í síðustu vinnslueftirlits-skýrslu áætlað að með sama hraða yrði vatnsborð farið að nálgast dæluna í LWN-4 á árunum 2005 - 2010. Þá var heldur ekki gert ráð fyrir jafnmiklum vinnslu- og vatnsborðssveiflum og nú hafa orðið.

Til þess að kanna nánar hvað olli því að vatnsborð fór neðar en búist hafði verið við voru viðbrögð líkananna frá 1993 og 1996, við vinnslu eins og hún hefur verið hingað til, reiknuð og borin saman við raunverulegar vatnsborðsbreytingar. Niðurstöðurnar eru birtar á fimm mismunandi myndum (myndum 4 - 8) til þess að hægt sé glöggva sig betur á niðurstöðunum. Ekki verður fjallað nákvæmlega um hverja mynd hér, en þær sýna annars vegar að líkönin herma vel hina almennu vatnsborðslækkun sem orðið hefur í jarðhitakerfinu. Hins vegar sýna myndirnar glögglega að líkönin ná alls ekki að herma mestu lækkun vatnsborðs síðustu tvo veturnar, sem þau hafa þó gert lengst af. Ef gengið er út frá því að engar skekkjur séu í gögnunum þá bendir þetta helst til þess að einhverjar breytingar hafi orðið í jarðhitakerfinu, sem valdi því að vatnsborð lækki nú orðið meira við sambærilegar sveiflur í vinnslu. Um þetta verður fjallað nánar hér á eftir.

### 3. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Svo virðist sem nokkrar mismunandi ástæður valdi því að vatnsborð fór neðar nú í kuldakastinu en búist hafði verið við:

- A. Vinnslutoppurinn í kuldakastinu varð mun meiri en sambærilegir toppar undanfarin ár, eða nálægt 28 l/s í stað 24 l/s. Jafnframt hefur árssveiflan í vinnslu, þ.e. munur mestu og minnstu vinnslu, farið vaxandi á undanförunum árum. Ekki var gert ráð fyrir þessu í spánni frá 1993. Að hluta til er þetta vegna þess að kyndistöðin á Hvolsvelli, sem mætt hefur allri aukningu í vatnsnotkun undanfarin ár, virkar frekar sem grunnafi. Meðalvinnslan hefur því staðið í stað, en toppvinnslan aukist. Eins virðist toppvinnslan hreinlega vaxa hraðar en meðalnotkunin. Aðalatriðið er þó að jarðhitakerfið þolir illa slíka toppa í vinnslu, og í raun því verr sem vatnsborð stendur lægra.
- B. Það sem virðist einkenna jarðhitakerfið á Laugalandi er að rúmmál þess er lítið, lekt bergs í því lág og aðstreymi einnig lítið. Þetta veldur því að vatnsborð í kerfinu lækkar hægt og sígandi með tímanum þrátt fyrir það að vinnsla haldist stöðug. Þetta eru í raun þær forsendur sem svartsýnni spár byggja á og hafa bjartsýnni spár því ekki gengið eftir.
- C. Mögulegt er að lektin næst vinnsluholunum minnki þegar vatnsborð í jarðhitakerfinu er komið jafn neðarlega og það hefur farið síðustu vetur. Ástæðan væri þá sú að sprungur þær sem vinnsluholurnar fá vatn úr þrengist hreinlega þegar vatnsþrýstingurinn hefur lækkað svo mikið. Slíks hefur ekki áður orðið vart í jarðhita-

kerfum á Íslandi, en getur þó ekki talist ólíklegt. Þetta ylli því að vatnsborð lækk-  
aði enn meira að vetri til en líkön bentu til (þau gera ráð fyrir fastri lekt) og að árs-  
sveiflan í vatnsborði verði nú meiri en áður fyrr. Á þennan möguleika var bent í  
greinargerð árið 1992 (Guðni Axelsson, 1992), en ekki hafa komið fram skýrar vís-  
bendingar þar að lútandi fyrr en síðustu tvo veturna.

Líklegast leggst þetta þrennt á eitt, þ.e. ofan á stöðugt lækkandi vatnsborð vegna B) bæt-  
ist meiri vetrarlækkun vegna A) og C). Í títtnefndum spám var gert ráð fyrir áhrifum B).  
Árið 1993 var þó talið ólíklegt að vatnsborð fylgdi svo svartsýnum spám, en þó "hyggi-  
legra að gera ráð fyrir því að vatnsborð á Laugalandi fylgi svartsýnissspám" (Grímur  
Björnsson o.fl., 1993). Þá má segja að með nægjanlegri svartsýni hefði mátt gera ráð fyr-  
ir áhrifum A), en það hefði þó verið úr takt við veðurfar og vinnslu undangengins ára-  
tugs. Áhrif C) var erfiðast að sjá fyrir, en þau verður þó að taka inn í myndina í framtíð-  
inni.

#### 4. ÚTLITÐ NÆSTU ÁRIN

Til þess að spá í útlitið næstu árin, þ.á.m. hvort hætta verði á vatnsskortri ef sambærileg  
kuldaköst yrðu á næsta ári, var líkanið endurbætt með því að láta það herma vatnsborðs-  
gögn úr holu LWN-4 til dagsins í dag. Síðan var það líkan notað til þess að spá vatns-  
borðsbreytingum næstu þrjú árin. Búin var til vinnslusaga sem er þannig að meðal-  
vinnsla hvers mánaðar var jöfn, eða meiri, en hún hefur verið sömu mánuði undanfarin  
ár. Auk þess var gert ráð fyrir tveimur miklum vinnslutoppum hvern vetur, þ.á.m. öðrum  
slíkum toppi seinna í vetur. Þessi vinnslusaga er sýnd á mynd 9. Samkvæmt henni verður  
ársmeðalvinnslan 18,7 l/s, eða um 2 l/s meiri en verið hefur undanfarin ár, og verður að  
telja afar ólíklegt að vinnslan verði svo mikil.

Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 10. Í fyrstu vekur athygli að eins og eldri líkönin nær  
nýja líkanið ekki að herma lækkun vatnsborðs veturna 1996/97 og 1997/98. Þetta styður  
ályktun C) að ofan. Þarna munar allt að 20 m, sem taka verður tillit til. Í spánni er aftur á  
móti aðeins gert ráð fyrir dælingu úr holu LWN-4. Ef dælt er úr báðum holunum fer  
vatnsborð ekki eins neðarlega í LWN-4. Ef t.d. er dælt 10 l/s úr GN-1 og 17 l/s úr LWN-  
4, í stað 27 l/s úr þeirri síðarnefndu, stendur vatnsborð um 20 m ofar í LWN-4 en ella.  
Gengið er útfrá því að dælt verði úr báðum holunum er vatnsborð stendur lægst næstu  
vetur og vega þá þessi tvenn áhrif upp á móti hvorum öðrum (og spáin verður sennilega  
nærri lagi). *Þá sýna reikningarnir að vatnsborð ætti að haldast ofan 230 m í ár, en að það  
gæti farið niður í allt að 240 m árið 1999, ef vinnslan og vinnslutopparnir verða jafnmikl-  
ir og gert er ráð fyrir.* Mynd 10 sýnir jafnframt að ef engir toppar verða í vetrarvinnsl-  
unni (hagstætt vetrarveður, annað toppafl) ætti vatnsborð að haldast um 20 m ofar. Án  
toppa verður ársmeðalvinnslan 18,3 l/s, sem er samt nokkru meira en hún hefur verið  
undanfarin ár.

#### 5. LOKAORÐ

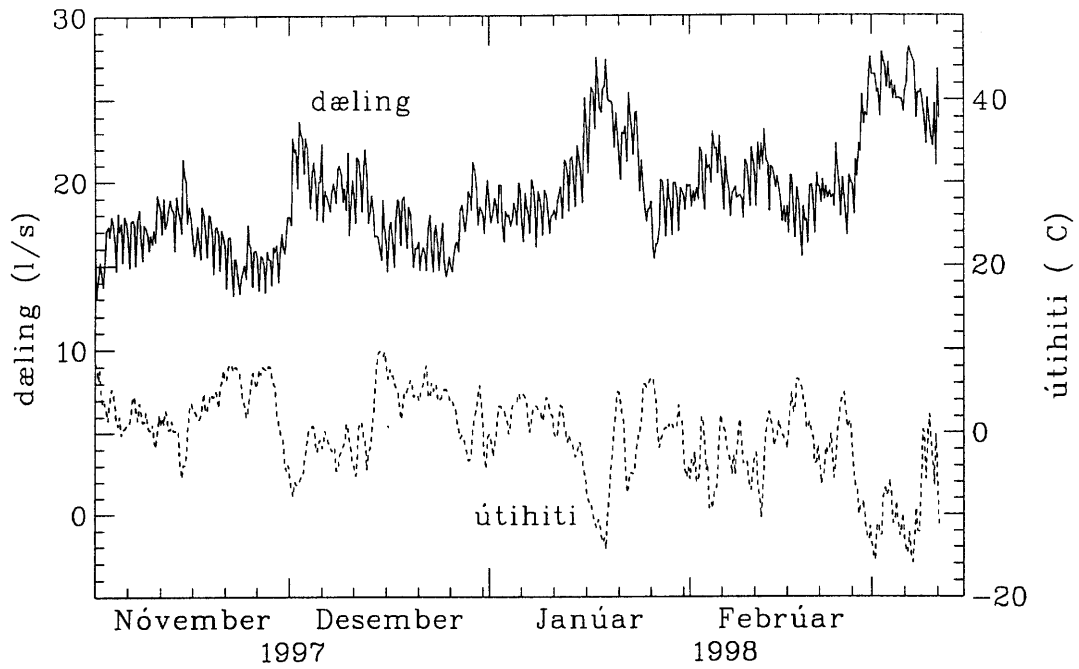
Þó það sé ekki tilgangur þessarar greinargerðar verða hér nefndir nokkrir möguleikar,  
sem fyrir hendi eru til að mæta því að hugsanlega gæti orðið vatnsskortur í kuldaköstum  
næsta vetur. Má þar nefna eftirfarandi:

1. Dreifa má vinnslunni á báðar holurnar er vatnsborð stendur lægst, eins og gert hefur verið síðustu tvo vetur. Þó þannig fáist minni orka upp úr jarðhitakerfinu þá bætir kyndistöðin það upp. Ef 25 l/s vinnsla er dreift jafnt á báðar holurnar má áætla að vatnsborð standi rúmlega 20 m ofar í LWN-4 en ella. Ef 30 l/s vinnsla er jafndreift fást nást þannig um 30 m.
2. *Vandinn sem við blasir á næstu árum snýst fyrst og fremst um skort á toppaflí. Með síkkun dælna í vinnsluholunum mætti mæta því (Grímur Björnsson o.fl., 1993). Einnig með því að bæta kaldara vatni, t.d. úr holu LN-3 ef efnainnihald þess leyfir, inn á dreifikerfið á álagstímum. Þá mætti bæta inn vatni sem e.t.v. finnst í jarðhita-leit er nú stendur yfir.*
3. Nú er í gangi leit að nýtanlegum jarðhita í nágrenni Laugaland og er vonandi að eitthvað vatn finnist, t.d. sem nýta mætti til að draga úr toppálagi á Laugalandskerfið.
4. Vegna lítils írennslis ætti jarðhitakerfið á Laugalandi að vera kjörið fyrir niðurdælingu, sem myndi vinna á móti vatnsborðslækkuninni. Þessi möguleiki er nú í skoðun.

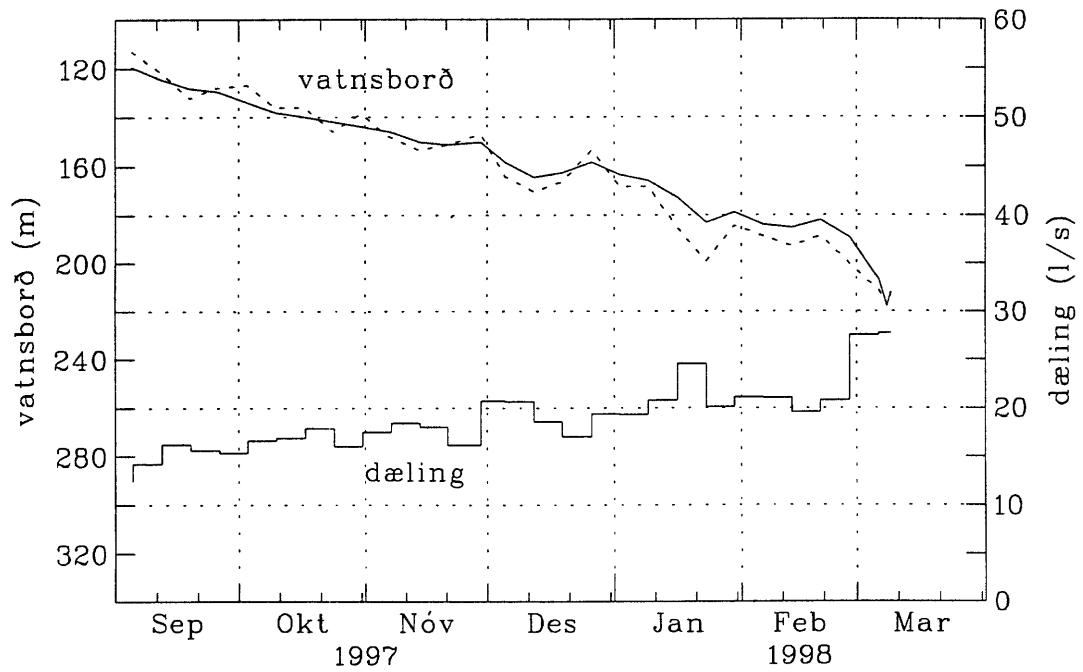
## HEIMILDIR

- Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993: Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03B, 69s.
- Guðni Axelsson, 1992: Laugaland í Holtum. Vinnsla og vatnsborð á útmánuðum 1992. Orkustofnun, greinargerð GAx-92/01, 5s.
- Guðrún Sverrisdóttir, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1997: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1996-1997. Orkustofnun, OS-97070, 15s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson, 1996: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1995-1996. Orkustofnun, OS-96072/JHD-41B, 21s.

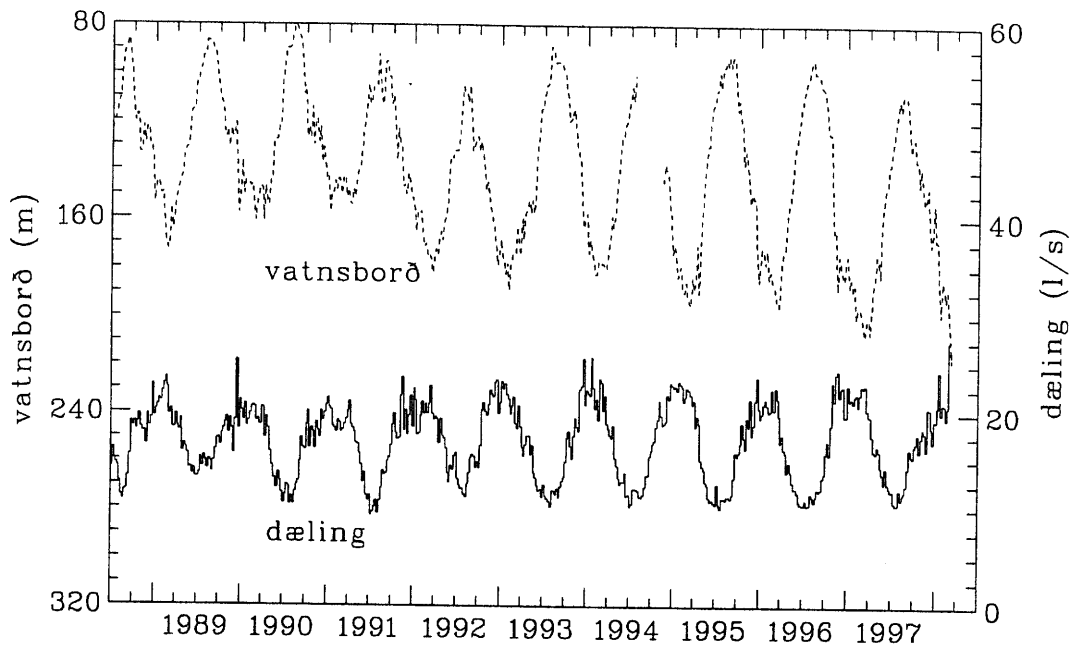
*Guðni Axelsson*



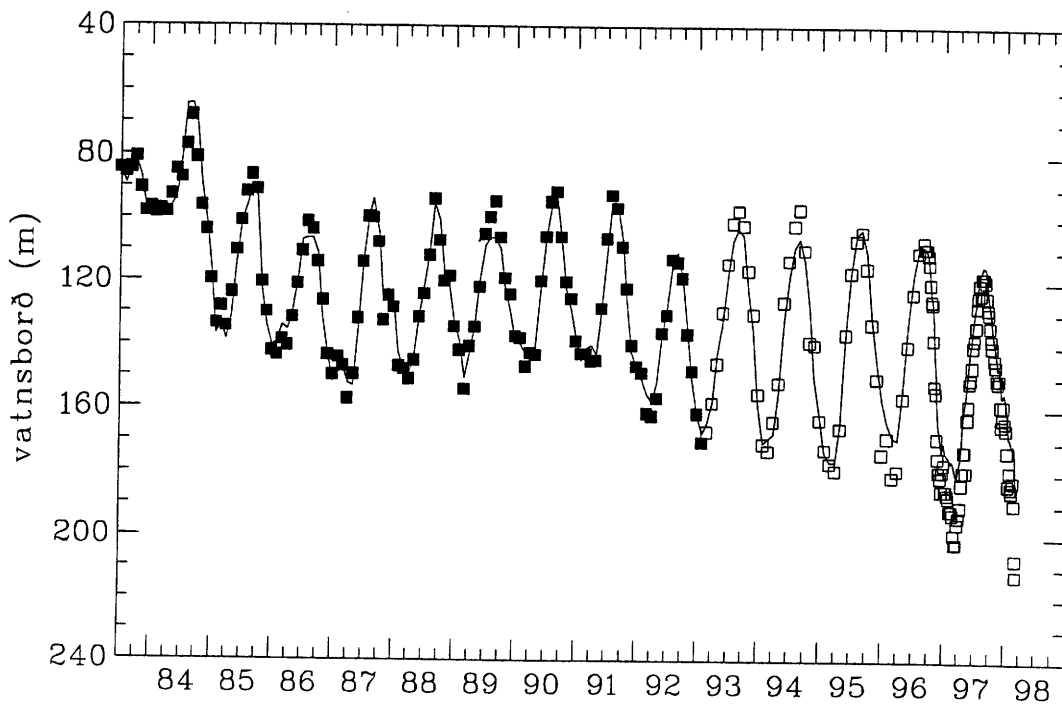
Mynd 1. Dæling og úthiti skv. gagnasöfnunarbúnaði.



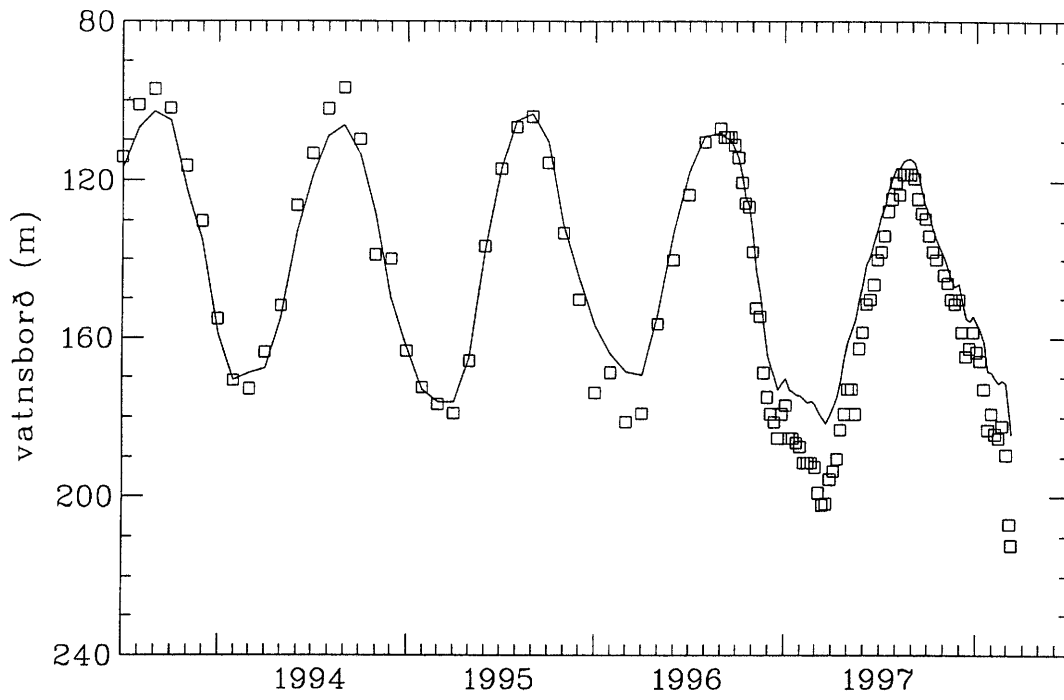
Mynd 2. Dæling og vatnsborð síðasta hálfu árið. Vatnsborð í GN-1 sýnt með heildreginni línu, en í LWN-4 með slitinni línu.



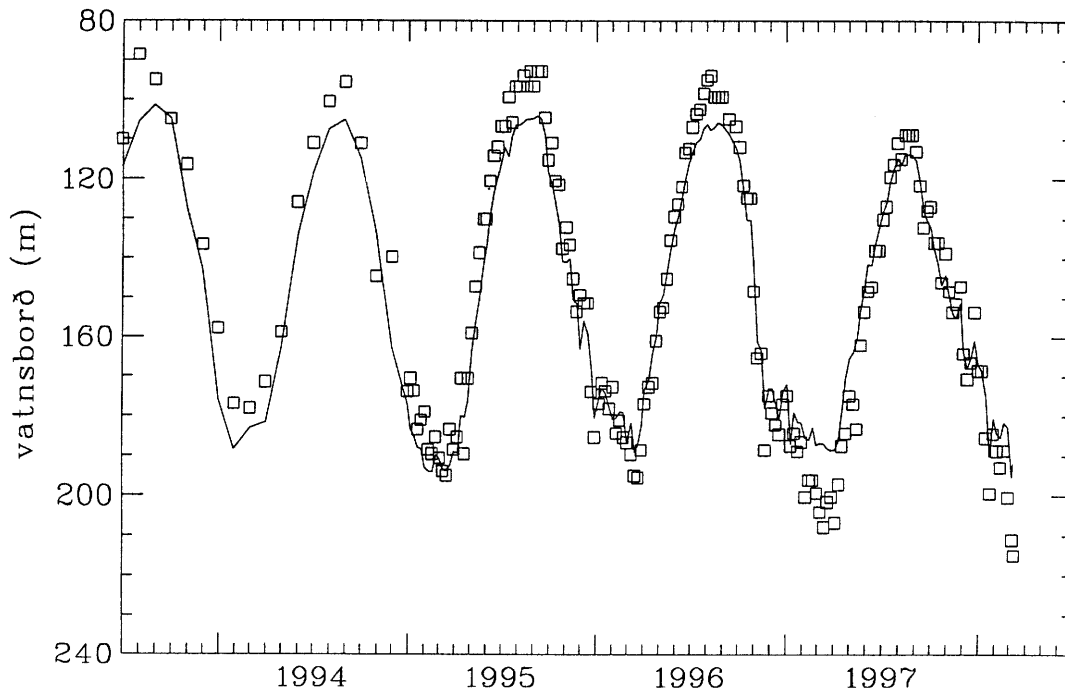
Mynd 3. Dæling og vatnsborð (LWN-4) síðustu 10 árin.



Mynd 4. Samanburður á mældu vatnsborði (kassar) í holu GN-1 og vatnsborði reiknuðu með líkani frá byrjun árs 1993 (heildregin lína).  
Opnir kassar sýna mælt vatnsborð eftir þann tíma.

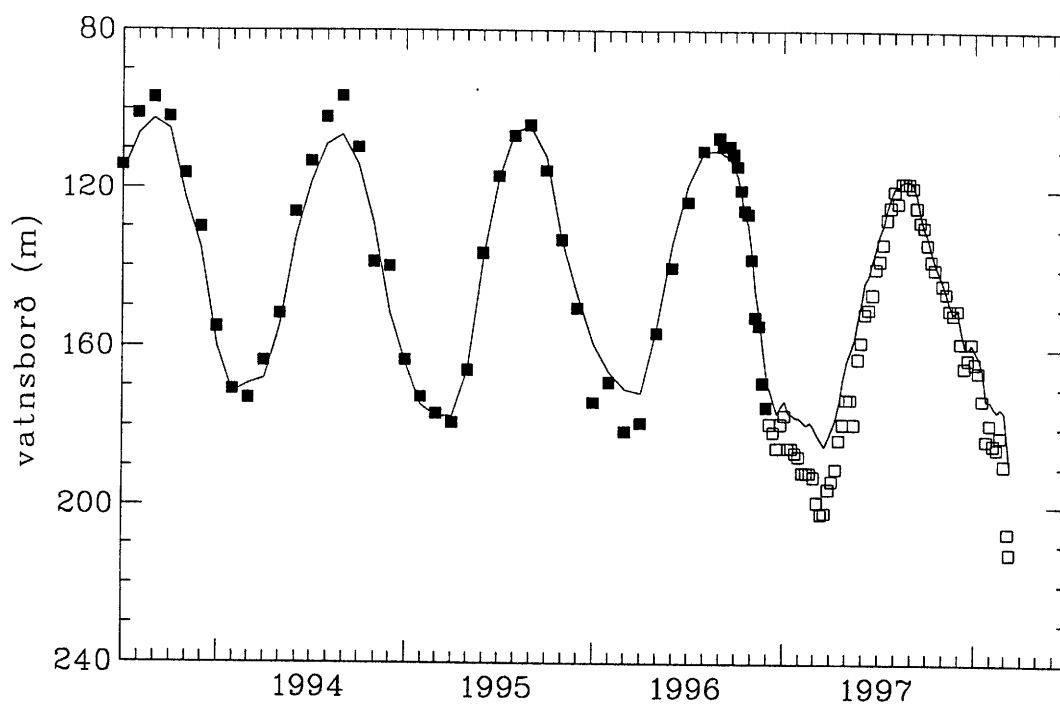


**Mynd 5.** Sömu gögn og á mynd 4, síðustu fimm árin sérstaklega.

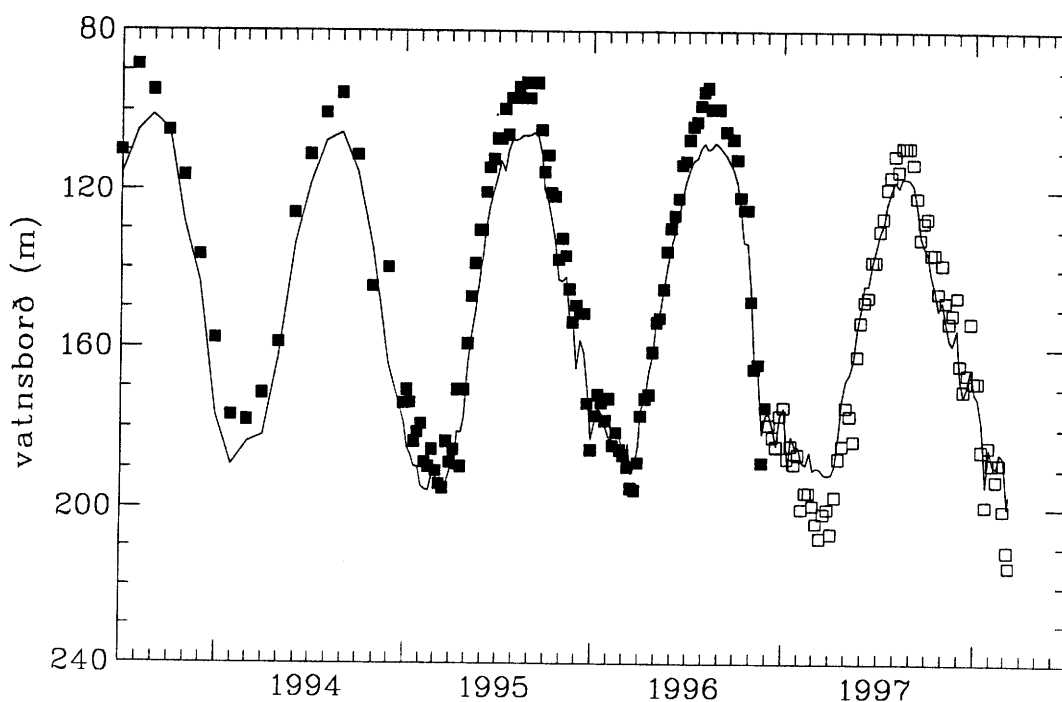


**Mynd 6.** Samanburður á mældu vatnsborði í holu LWN-4 (kassar) og vatnsborði reiknuðu með líkani frá 1993 (heildregin lína).

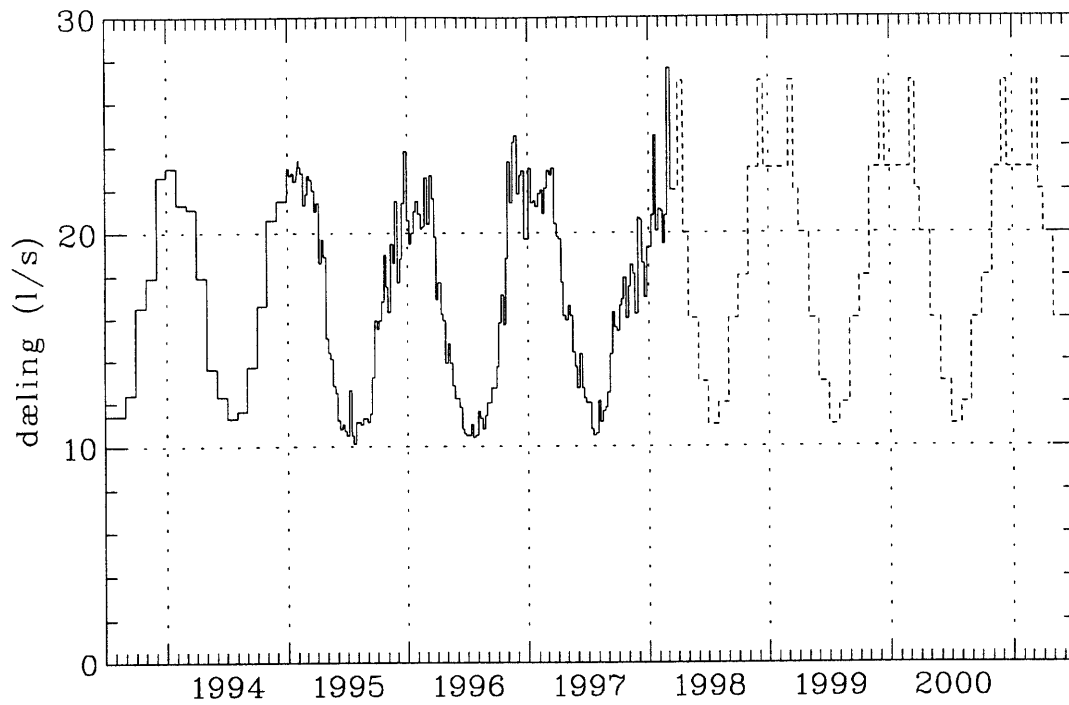




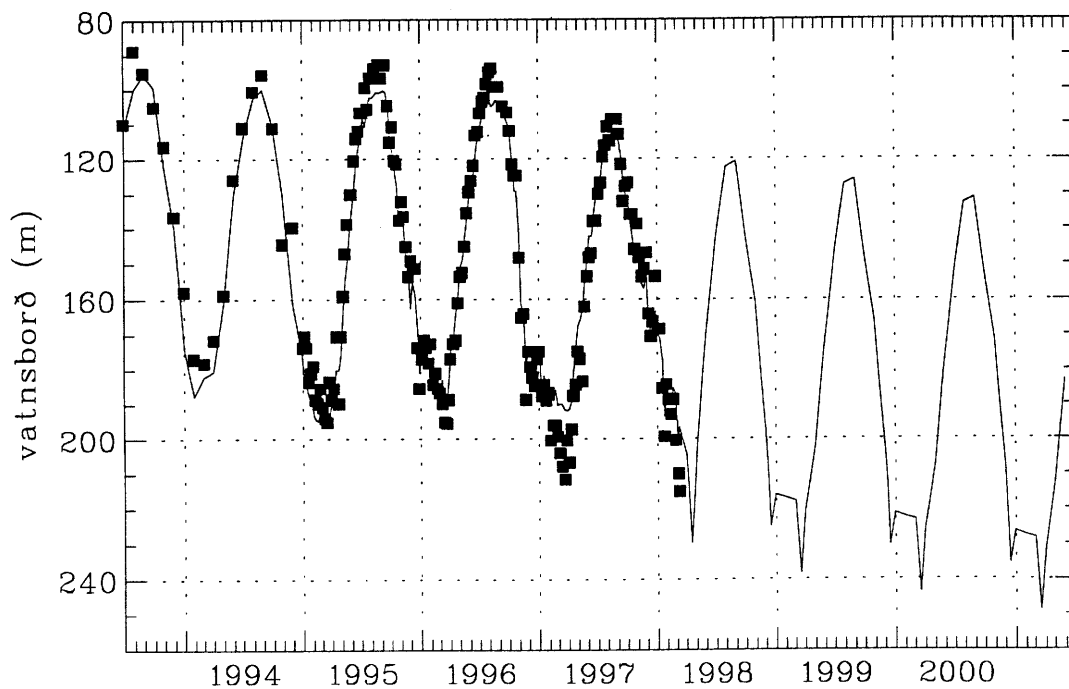
**Mynd 7.** Samanburður á mældu vatnsborði (kassar) í holu GN-1 og vatnsborði reiknuðu með líkani frá byrjun árs 1996 (heildregin lína).  
Opnir kassar sýna mælt vatnsborð eftir þann tíma.



**Mynd 8.** Samanburður á mældu vatnsborði í holu LWN-4 (kassar) og vatnsborði reiknuðu með líkani frá 1996 (heildregin lína).



**Mynd 9.** Vinnsla síðustu árin (heildregin lína) ásamt tilbúinni vinnslusögu (slitin lína) sem notuð er hér til að áætla vatnsborðsbreytingar næstu þrjú árin.



**Mynd 10.** Samanburður á mældu vatnsborði í holu LWN-4 (kassar) og vatnsborði reiknuðu með endurskoðuðu líkani. Spá til næstu þriggja ára skv. vinnslusögu á mynd 9 sýnd með heildreginni línu.



## Jarðhitavatn úr borholum í Kaldárholti

Árið 1992 voru tekin sýni úr tveimur grunnum borholum í Kaldárholti í tengslum við úttekt á vatnsöflunarkostum Hitaveitu Rangæinga. Eins og fram kemur í þeirri skýrslu benti efnainnihald djúpsýnis úr annarri holunni til að upprunahitastig vatnsins gæti verið um 80 °C, en eins og bent var á þá er sýrustig vatnsins (pH) mjög hátt og útreiknaður kísilhiti því óáreiðanlegur.

Litið hefur verið betur á þessi sýni nú vegna hugleiðinga um borun í Kaldárholti og gerðir á þeim ýmsir frekari útreikningar og úrvinnsla með öllum þekktum aðferðum til að meta hitastig, hugsanlega blöndun og þróun vatnsins.

Efnainnihald þessarra sýna er sýnt í töflu hér að neðan.

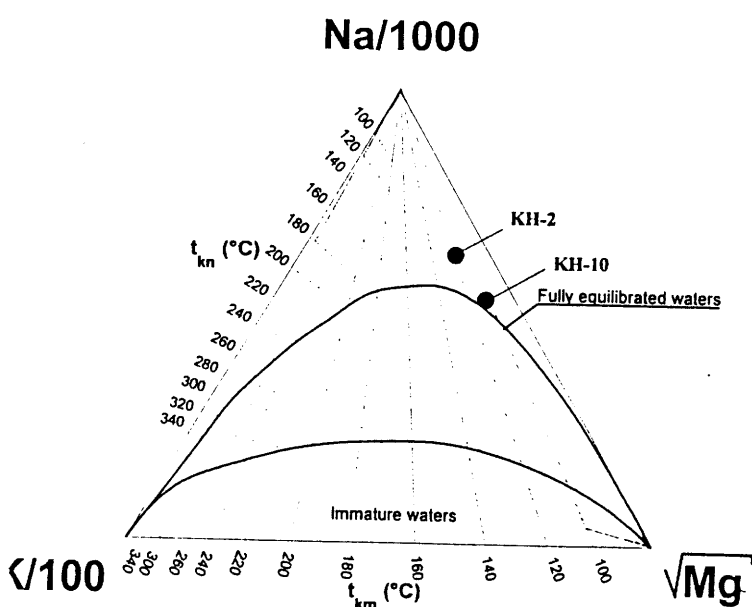
Tafla 1. Jarðhitavatn úr Kaldárholti

Staðsetning sýna	Hola KH-02	Hola KH-10 55 md
Dagsetning	92-11-26	92-11-26
Númer sýna	92-0307	92-0306
pH/°C	9,65/23	10,38/23
Heildar karb. (CO <sub>2</sub> )	7,9	18,9
Brennistensvetni (H <sub>2</sub> S)	0	0,12
Leiðni í µS/cm	904	349
Bór (B) mg/l	0,1	0,16
Kísill (SiO <sub>2</sub> ) mg/l	53,9	89,5
Uppleyst efni í mg/l	531	236
Súrefni (O <sub>2</sub> ) mg/l	0	-
Natríum (Na) mg/l	167	73,2
Kalíum (K) mg/l	1,75	0,76
Magnesíum (Mg) mg/l	0,006	0,003
Kalsíum (Ca) mg/l	16,3	1,38
Flúor (F) mg/l	1,82	2,34
Klóríð (Cl) mg/l	217	21,7
Brómíð (Br) mg/l	0,78	0,08
Súlfat (SO <sub>4</sub> ) mg/l	56,3	27,2
δD	-78,1	-69,2
δ <sup>18</sup> O	-10,98	-10,01

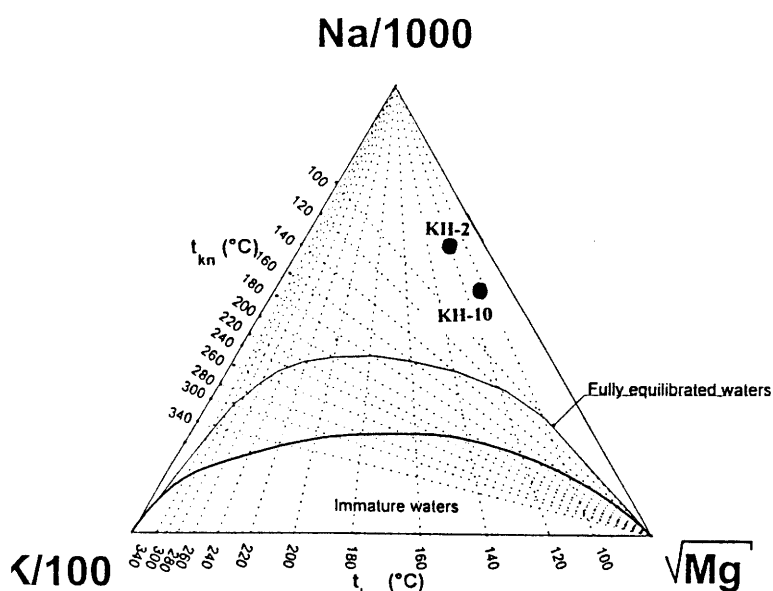
Annað sýnið er tekið úr rennsli úr borholu við volgrunnar, KH-02, en hitt, KH-10, er tekið á 55 m dýpi í borholu um 200 m NA við volgrunnar, nálægt þar sem aðalhitauppstreymið er talið vera samkvæmt hitastigulskorti.

Við rannsókn á efnainnihaldi vatnsins skiptir 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 unnt sé að blanda því saman við vatnið á Laugalandi í aðveitulögnum.

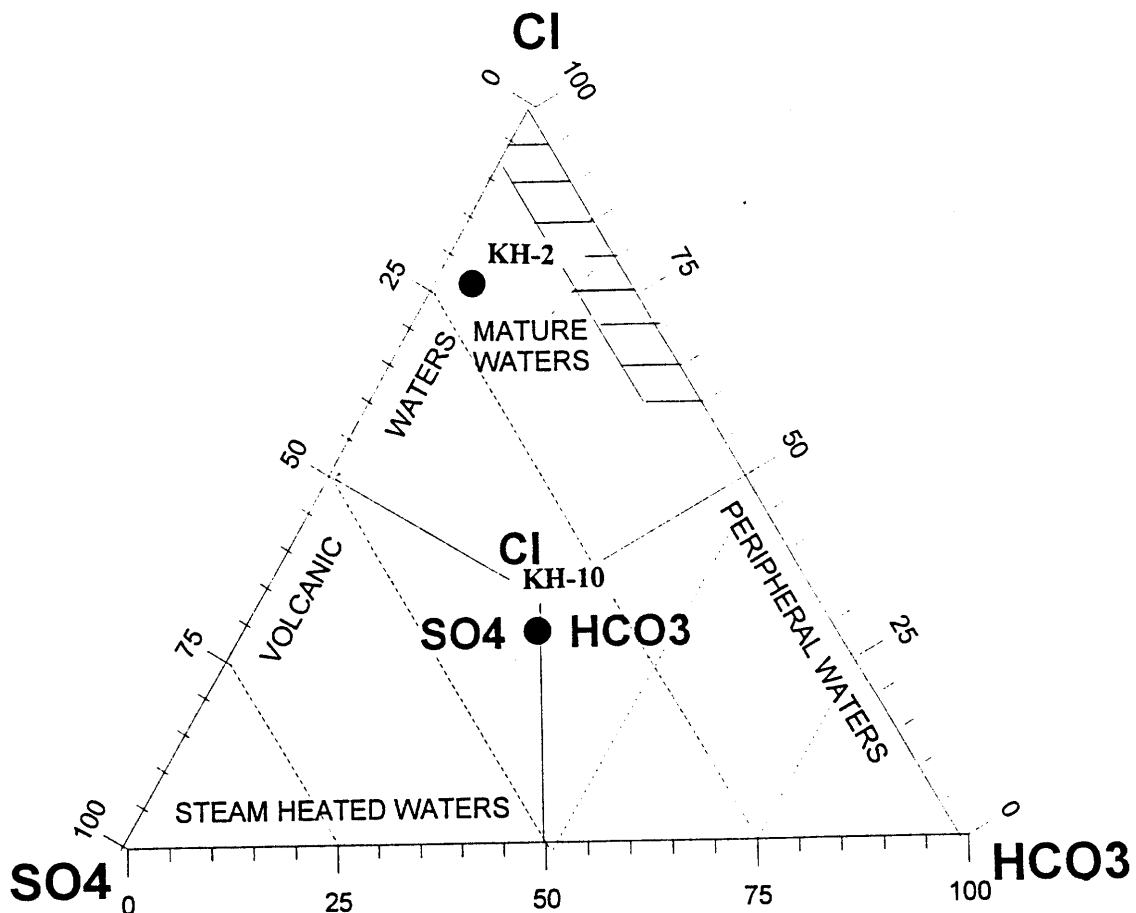
Vatnið úr holu KH-02 er nokkuð salt, eða klóríðstyrkur um fjórfalt hærri en í vatni í holu LWN-4 á Laugalandi. Það sýnir engin merki hærri hita en mælds vatnshita og virðist vera í allgóðu efnajafnvægi miðað við vatnshitann. Eins og fram kemur á myndum 1,2 og 3, þar sem gildi fyrir vatnssýnin eru felld inn í flokkunarkerfi fyrir jarðhitavatn, getur það þó ekki talist vera mjög þróað eða í fullkomnu efnajafnvægi við berggrunn þar sem það fellur aðeins utan þeirra svæða. Miðað við legu þess á línuritunum gæti vatnið verið eitthvað blandað.



Mynd 2. Flokkun vatns eftir hlutfallslegum styrk alkalímalma Na og K, og Mg í vatni. Ferlarnir afmarka óþroskað vatn, vatn í hlutajafnvægi og vatn í fullu jafnvægi. Tekið er mið af Na-K og K-Mg jafnvægisferli Giggenbachs (1991).



Mynd 3. Flokkun vatns eftir hlutfallslegum styrk alkalímalma Na og K, og Mg í vatni. Ferlarnir afmarka óþroskað vatn, vatn í hlutajafnvægi og vatn í fullu jafnvægi. Tekið er mið af Na-K jafnvægisferli Stefáns Arnórssonar (1983).



Mynd 3. Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> línurit. Flokkun vatns í gufuhitað-, eldfjallvatn, þroskað og óþroskað vatn (Giggenbach, 1988)

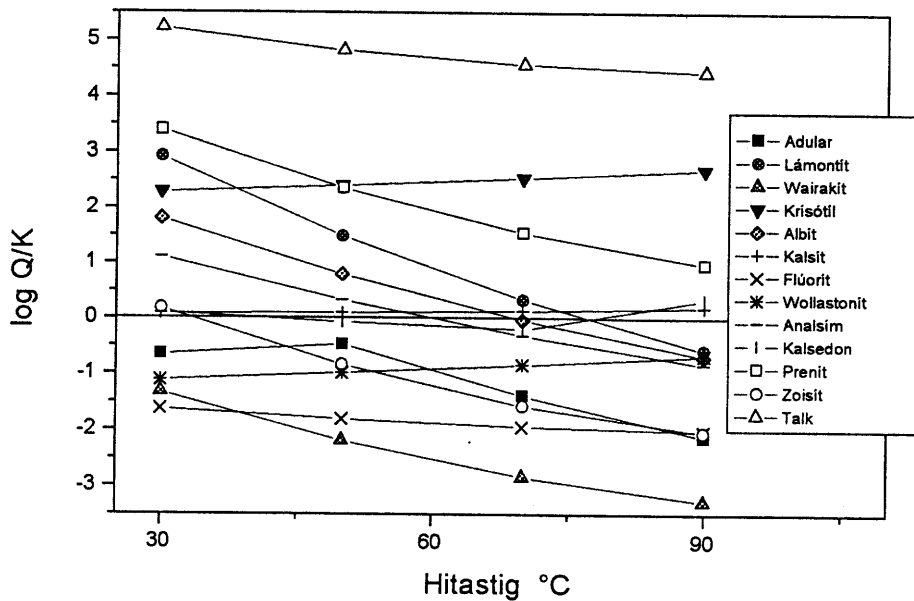
Miðað við það líkan sem hitastigulskortið og staðsetning vatnsæða frá borun gefur, er ekki ólíklegt að vatnið hafi runnið frá aðaluppstreyminu í setlagi ofan á klöpp þangað sem volgrunnar koma fram. Það gæti samræmst ágætlega því sem túlkun á efnainnihaldinu gefur til kynna að vatnið sé aðrunnið jarðhitavatn, sem blandast hafi eitthvað kaldara vatni en síðan náð að komast í allgott efnajafnvægi við blöndunarhitann. Þetta vatn gefur því litlar upplýsingar um upprunahita jarðhitakerfisins. Það er vel þekkt annars staðar frá að vatnssýni úr grunnum æðum, þar sem vatnið hefur runnið að eftir láréttum lögum og náð að komast í efnajafnvægi við lægri hita, þurfa alls ekki að sýna nein merki hærri upprunahita úr því dýpra og heitara vatnskerfi sem vatnið er upprunnið úr.

Sýnið úr holu KH-10 er tekið með djúpsýnataka á 55 m.d. þar sem ekki var neitt rennsli úr holunni. Nokkra varúð verður að hafa við túlkun niðurstaðna í slíkum sýnum. Ekki er endilega víst að þau gefi raunhæfa mynd af því vatni sem fengist með dælingu úr viðkomandi holu. Við skoðun slíkra sýna ber að hafa í huga að verið getur að lítil hreyfing sé á vatninu og jafnvel getur verið millirennsli milli æða. Einnig getur verið ef ekki hefur verið dælt talsvert miklu magni úr holunni eftir borun að vatnið sé mengað af skolvatni. Þessi atriði verður að hafa í huga við túlkun niðurstaðna.

Vatnssýnið úr KH-10 hefur tífalt lægri seltu en sýnið úr KH-02, eða tæplega helming seltu vatns úr LWN-4 á Laugalandi. Það hefur mjög hátt sýrustig (pH) eins og reyndar er alvanalegt um vatn á þessum slóðum. Styrkur kísils er um 90 mg/l, sem bendir til um 80 °C hita, þótt hátt pH geri það að verkum að kísilhiti reiknast mun lægri. Þess ber að gæta að algengt er að í fyrstu sýnum af vatni úr borholum sé kísill nokkru hærra en síðar verður og stafar það af því að kyrrstætt vatn á botni holunnar nær að yfirhitna vegna þrýstings kaldrar vatnssúlu. Þessi munur er hins vegar aldrei verulegur og getur numið nokkrum mg/l.

Eins og fram kemur á myndum 1, 2 og 3, virðist vatnið vera nokkuð þróað og nær efnajafnvægi við berggrunn en sýnið úr KH-02.

Útreiknað djúphitastig vatnsins frá hlutfalli alkalimálma gefur hitastig á bilinu 45-100 °C. Athugun á efnajafnvægjum við algengar ummyndunarsteindir ( Mynd 4) gæti bent til að vatnið væri blandað, en það sýnir merki efnajafnvægja við 60-80 °C hita og merki um blöndun við a.m.k. 90 °C heitt vatn.



Mynd 4. Línurit sem sýnir lógariðmann af hlutfalli virknimargfeldis í vatninu 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.

Vetnis- og súrefnissamsætuhlutfall er lægra í vatninu úr holu KH-02 en KH-10, en það bendir til að í holu KH-10 sé meira af vatni af staðbundnum uppruna. Miðað við samsætuhlutfallið er vatnið í KH-02 langt aðrunnið og ekki líklegt að það hafi blandast staðbundnu vatni að neinu marki. Hins vegar hefur vatnið í KH-10 samsætuhlutföll, sem eru mun nær staðbundnu grunnvatni. Það gæti bent til þess að það vatn sem tekið var sýni af sé verulega skolvatnsblandað, en hafi náð hitajafnvægi við umhverfið. Sé það tilfelli er heldur ekki mikið mark takandi á mældri seltu.

Þessar niðurstöður efnagreininganna virðast mótsagnakenndar og gefa flókna mynd, sem erfitt er að túlka. Nokkuð líklegt má þó telja að sé a.m.k. 80°C heitt vatn sé tengt jarðhitakerfinu og jafnvel allt að 100 °C heitt. Hvort það vatn er að finna í uppstreymisrásinni við hitastigulshámarkið er ekkert hægt að segja um frá efnafræðinni. Hins vegar er alls óvíst um aðra efnaeiginleika vatnsins, eins og seltu þess. Vatnið virðist renna eftir láréttum lögum frá uppstreyminu og komast í nokkuð gott jafnvægi við lægra hitastig. Allnokkrar líkur virðast á að það vatnssýni, sem tekið var í holu KH-10 sé ekki dæmigert fyrir jarðhitavatnið hvað vinnslueiginleika varðar og geti verið mengað staðbundnu köldu vatni, sem hafi náð að hitna upp í kjölfarið. Um mat á vinnslueiginleikum vatnsins er því ekki um að ræða á þessu stigi málsins.

Mjög æskilegt er að reyna að ná vatnssýnum úr þeim hitastigulsholum, sem áformað er að bora á svæðinu. Verði ekki upprensli úr þeim þarf að dæla upp sýnum með lítilli sýnatökudælu, sem nú er til á Orkustofnun, til að fá marktækari sýni.

---

Hrefna Kristmannsdóttir



07-07-1998

## BLÖNDUN VATNS FRÁ LAUGALANDI OG KALDÁRHOLTI, HOLTUM V/HITAVEITU RANGÆINGA

Athugaðar voru hugsanlegar afleiðingar þess að blanda saman vatni úr holu LWN-4, Laugalandi, Holtum, miðað við efnasamsetningu sýnis nr. 96-0283 frá 25/9 1996 (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1996), og vatni úr holu KH-10, Kaldárholti, miðað við efnasamsetningu djúpsýnis af 55 m dýpi frá 26/11 1992 (Hrefna Kristmannsdóttir 1998) (Tafla 1). Sýni sem tekin voru úr holu KH-33 eru ekki fullgreind en pH, SiO<sub>2</sub> og leiðni þeirra eru nánast eins og sýna úr KH-10 og var því afráðið að nota efnasamsetningu sýnis úr þeirri síðarnefndu. Til reikninganna voru notuð forritin SOLVEQ og CHILLER (Reed and Spycher 1984).

Tafla 1. Laugaland-Kaldárholt, Holtum. Efnasamsetning lögð til grundvallar blöndunarreikningum (mg/l)

Hola	t °C	PH/ °C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F
LWN-4	98.4	9.8/22	97.2	92.8	1.7	3.0	0.003	21.0	65.9	0.13	46.5	0.86
KH-10	67	10.38/ 23	89.5	73.2	0.76	1.38	0.003	18.9	27.2	0.12	21.7	2.34

Helstu niðurstöður reikninganna eru skráðar í Töflu 2. Eru þær helstar að um 3 mg af útfellingu, sem er að samsetningu um 99% kalsít og 1% tremólít (kalsíum-magnesium silíkat), ættu að myndast í 1 kg vatnsins frá Laugalandi áður en blöndun hæfist. Síðan voru könnuð áhrif þess að blanda 0.1 kg skömmtum af Kaldárholtsvatni í Laugalandsvatnið þar til 1 kg hafði verið bætt í. Niðurstöður voru þær að við hverja blöndun myndast litils háttar viðbót af útfellingu með svipaða samsetningu. Höfðu myndast tæp 2 mg samtals við lok blöndunarinnar og þýðir það að um 1 mg ætti að myndast úr hverju kg af blöndu eða þrisvar sinnum minna en úr hreinu Laugalandsvatni. Þess ber að geta að útfelling sem myndast við hvert þrep er fjarlægð áður en næsta blöndun fer fram.

Tafla 2. Magn útfellingar og hitastig blöndu eftir blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum

LWN-4 kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KH-10 kg	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1
Útfell- ing, mg	3.347	0.238	0.215	0.199	0.188	0.179	0.173	0.167	0.163	0.160	0.157	0.157
t °C	98.4	95.3	93	91.1	89.5	88.1	86.9	85.9	85	84.2	83.5	83.5

Þar sem útfellingar þessar hafa þá náttúru að aukast með hækkandi hita var kannað hver áhrif þess yrðu að hita Kaldárholtsvatn úr 67°C í 102°C (upp fyrir hitastig Laugalandsvatns) og reyndust engar útfellingar myndast við það. Þær útfellingar sem kynnu að myndast væru því upp runnar í vatni frá Laugalandi. Miðað við forsendur ofangreindra reikninga ætti Kaldárholtsvatn ekki að valda skaða þó að því væri bætt í vatn frá Laugalandi eða dælt niður í Laugalandssvæðið.



## HEIMILDIR

Hrefna Kristmannsdóttir 1998: Jarðhitavatn úr borholum í Kaldárholti. Orkustofnun 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.

Reed, M. and Spycher, N. 1984: Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1479-1492.

7. júlí 1998

---

Halldór Ármannsson

---

Hrefna Kristmannsdóttir



14-07-1998

## UM VATN FRÁ KALDÁRHOLTI OG LAUGALANDI, HOLTUM

Nýlega var reiknað hvort og hve miklar útfellingar gætu myndast ef blandað væri saman vatni úr borholum nr. LWN-4, Laugalandi og KH-10, Kaldárholti, Holtum (Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998). Tvö sýni úr holu KH-33, Kaldárholti, eitt tekið á holutoppi eftir dælingu af 67 m dýpi og djúpsýni af 120 m dýpi, hafa nú verið efnagreind og sams konar reikningar verið gerðir fyrir þau. Þær efnagreiningarniðurstöður sem lagðar eru til grundvallar reikningunum eru í töflu 1 og helstu niðurstöður reikninganna í töflu 2. Til samanburðar eru niðurstöður fyrir KH-10 birtar með. Eins og áður voru forritin SOLVEQ og CHILLER (Reed and Spycher 1984) notuð.

Tafla 1. Laugaland-Kaldárholt, Holtum. Efnasamsetning lögð til grundvallar blöndunarreikningum (mg/l)

Hola	T°C	pH°C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F
LWN-4	98.4	9.8/ 22	97.2	92.8	1.7	3.0	0.003	21.0	65.9	0.13	46.5	0.86
KH-10	67	10.38/ 23	89.5	73.2	0.76	1.38	0.003	18.9	27.2	0.12	21.7	2.34
KH-33, dælt	67	10.4/ 22	89.6	67.6	0.74	2.37	0.007	13.9	26.1	0.15	18.2	2.23
KH-33, 120 m	67	10.4/ 22.5	89.0	68.0	0.77	2.27	0.012	13.8	26.7	0.13	18.0	2.24

Tafla 2. Magn útfellingar og hitastig blöndu eftir blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum

LWN-4 kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kaldár- holt kg	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1
Útfelling KH-10, mg	3.347	0.238	0.215	0.199	0.188	0.179	0.173	0.167	0.163	0.160	0.157	0.157
Útfelling KH-33, dælt, mg	3.347	0.352	0.339	0.331	0.325	0.320	0.316	0.313	0.311	0.309	0.308	0.308
Útfelling KH-33, 120 m, mg	3.347	0.333	0.321	0.312	0.306	0.301	0.297	0.294	0.292	0.290	0.288	0.288
t °C	98.4	95.3	93	91.1	89.5	88.1	86.9	85.9	85	84.2	83.5	83.5

Reikningar um hitun vatns úr KH-10, Kaldárholti voru endurskoðaðir og sams konar reikningar gerðir fyrir sýnin úr holu KH-33. Niðurstöður eru í töflu 3 og sýna að kalsít-tremólít útfelling ætti að myndast í vatninu við 67°C áður en farið er að hita það, þó ekki eins mikil og reiknast að

myndast ætti í vatni frá Laugalandi fyrir blöndun. Síðan bættist við minni útfelling við hitunina og er þá nær eingöngu um kalsít að ræða.

Tafla 3. Áhrif hitunar á vatn frá Kaldárholti

Hitastig °C	67	72	77	82	87	92	97	102
Útfelling KH-10, mg	1.311	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.028	0.028
Útfelling KH-33, dælt, mg	2.896	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.033
Útfelling KH-33, 120 m, mg	2.690	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.032

Þá voru könnuð áhrif þess að kæla vatn frá Laugalandi úr 98°C í hitastig vatnsins í Kaldárholti, 67°C, en ekki reyndust myndast útfellingar við það.

Niðurstöðurnar eru dregnar saman í töflu 4 og er sýnið sem dælt var úr KH-33 haft fyrir dæmigert vatn frá Kaldárholti

Tafla 4. Útfellingar við hitun vatns frá Kaldárholti og blöndun þess við vatn frá Laugalandi, Holtum

Vatn úr	t °C	Útfelling mg/kg	Kalsít %	Tremólít %
LWN-4	98	3.47	99.43	0.57
KH-33 í dælingu	67	2.90	98.39	1.61
LWN-4 + KH-33, blandað 1+1	83	1.61	98.55	1.45
KH-33 í dælingu, hitað	83	0.09	99.98	0.02

Hluttur tremólíts var 1.10 % í sýninu úr KH-10, en 2.65 % í sýninu sem safnað var á 120 m dýpi úr KH-33. Annars eru niðurstöður mjög svipaðar fyrir sýnin þrjú frá Kaldárholti.

Þar sem vatnið er mjög basískt er einkar erfitt að beita á það hefðbundnum efnahitamælum. Tilraunir til þess hafa ekki gefið til kynna að búast megi við miklu heitara vatni í jarðhitakerfinu.

Tekið skal fram að niðurstöður útreikninganna sýna aðeins fræðilegt hámark mögulegra útfellinga. Fram kemur að minna getur fallið út úr vatni frá Kaldárholti og blöndu vatns frá Kaldárholti og Laugalandi en vatni frá Laugalandi. Reynslan hefur sýnt að útfellingar verða ekki úr vatni frá Laugalandi fyrr en eftir að það hefur farið um asbestlögn og ekki fyrr en súrefni hefur komist í vatnið. Því er fremur ástæða til að búast við að úr útfellingum dragi en að þær aukist þegar vatn frá Kaldárholti verður nýtt.

## HEIMILDIR

Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1998: Blöndun vatns frá Laugalandi og Kaldárholti, Holtum v/Hitaveitu Rangæinga. Orkustofnun HÁ-HK 1998/02, 2s.

Reed, M. and Spycher, N. 1984: Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1479-1492.

Reykjavík, 14. júlí 1998

---

Halldór Ármannsson

---

Hrefna Kristmannsdóttir

# Minnisblað

**Frá:** Kristjáni Sæmundssyni

**Dags:** 20.07.98

**Varðar:** Jarðhitaleit í Kaldárholti.

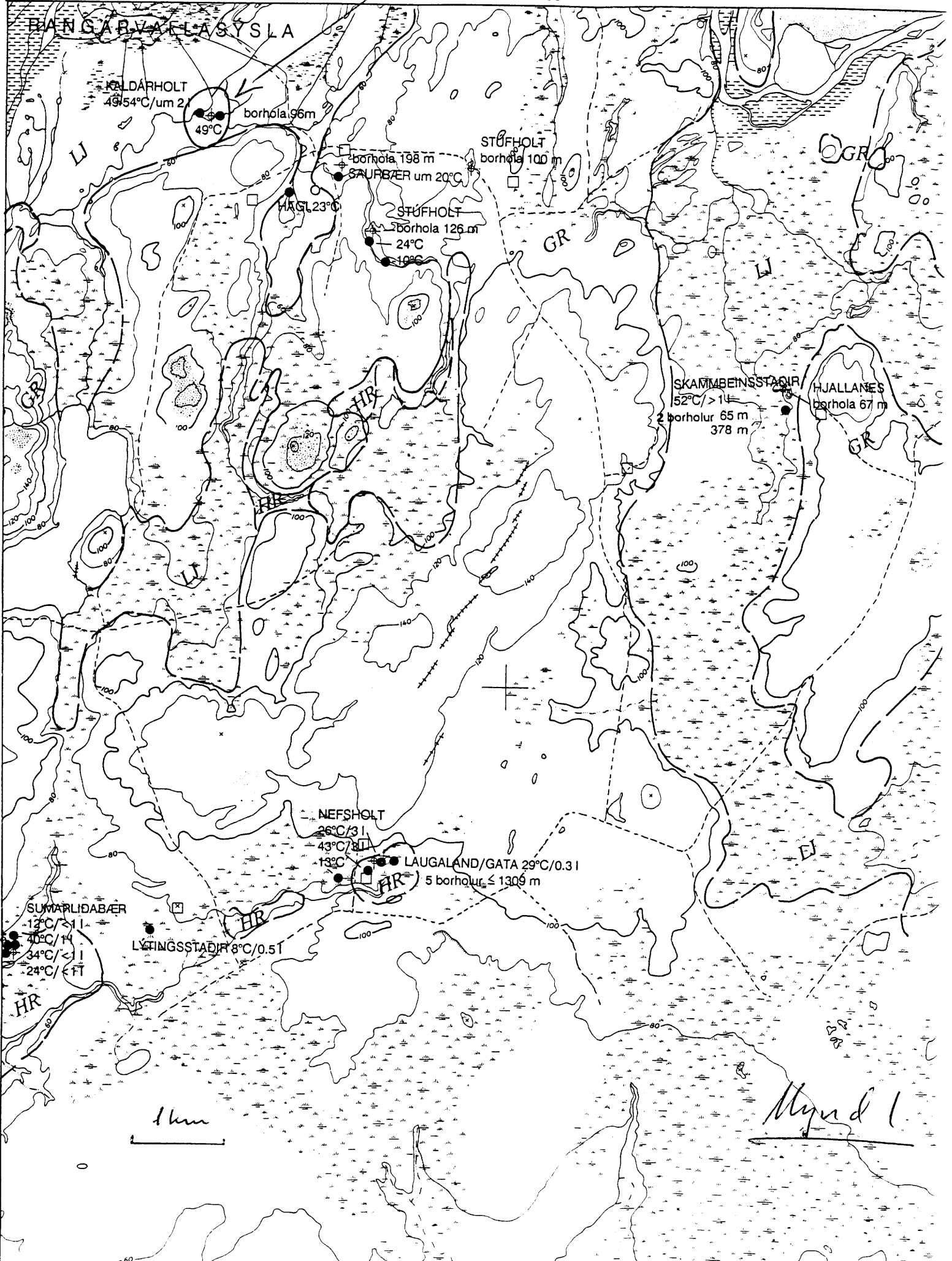
- Kort sýnir borstaði. Djúpar holur eru auðkenndar sérstaklega. Hitasvæðið er víðáttumikið, nær sem hitatunga 400-500 m norður og norðvestur fyrir holu 34.
- Hitahámark færist dýpra niður til SA og endar í 67-68°C á 300-500 m dýpi (holu 34). Sá hámarkshiti hefur fundist í holum 22,33 og 34.
- Hóla 34 hefur lent í sprungu á 456 m; mikið vatn, miklar holufyllingar í svarfi.
- Konstant hiti á 200 m svæði næstum þvert á líklegustu sprungustefnuna og á 300 m bili lóðrétt bendir ekki til heitara vatns ofan 500 m en 67-68°C í nágrenni holu 34.
- Kerfið er lágþrýst. Lokunarþrýstingur á holu 34 er líklega um 0,3 kg/cm<sup>2</sup>, ívið meiri en í öðrum djúpum holum á svæðinu.<sup>1)</sup> Samkvæmt því er kerfið gjöfult og mikið vatn fæst við lítinn niðurdrátt.
- Hóla 34 er fódruð með 8" í 9 m og 5" í 21 m, opið á milli. Vídd neðan fódringar er 5". Djúpdæla verður ekki sett í holuna, en með sogdælu mætti líklega ná um 5 m niðurdrætti (7 m teóretískt). Prófa þarf holuna með sogdælu.
- Líklega hefur hóla 34 hitt á aðaluppstreymið. Hitasvæðið er samt opið austur og suður. Til betri afmörkunar á jöðrum þess væri æskilegt að bora rannsóknarholur 400-500 m djúpar ca 200 m austur og suður frá holu 34.<sup>2)</sup>
- Hitasvæðið í Kaldárholti er að víðáttu svipað Laugardæla-Þorleifskotssvæðinu, en eiginleg hitatunga verður ekki greind þar. Stærð þess svæðis er 800 m A-V, 400 m N-S innan 50° jafnhitalínu á 200 m dýpi. Þar eru tvær megin sprungur ráðandi um lektina og svæðið á milli lekt og bramlað.

- 1) Hóla 34 gefur um 8 1/2 í rjácfræmski.
- 2) Of langt fyrir 500 gommur lóður.

20°30'

Lanjar : Kaldiholt (við Kaldaholt (E. lsk.))

WL30



Mynd 2

vegur að Kaldarholti



- Skýringar:
- Borhola
  - 17 Djúp borhola
  - /// Hámarkshiti 67-68°C

30/31

18

14

19

7

8

6

5(ca)

15

1

26

24

25

23

29

28

27

32

22

33

34

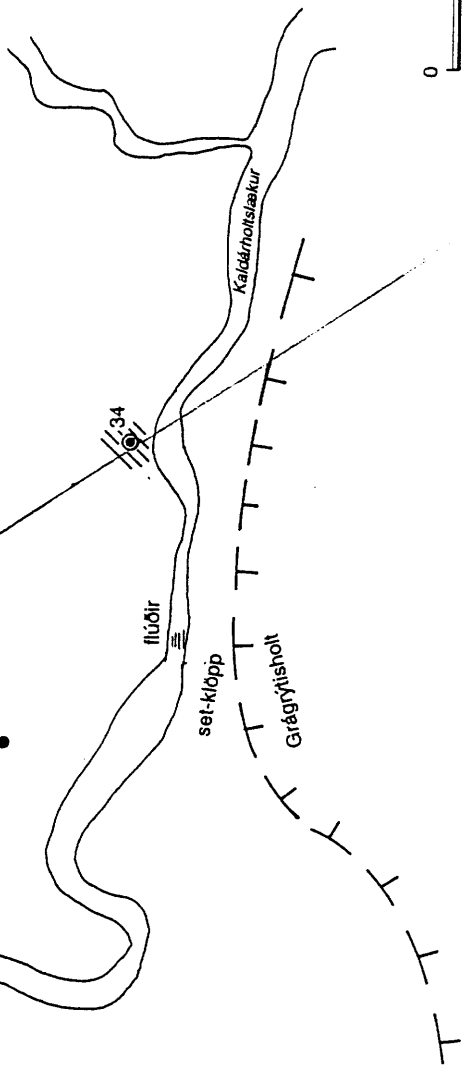
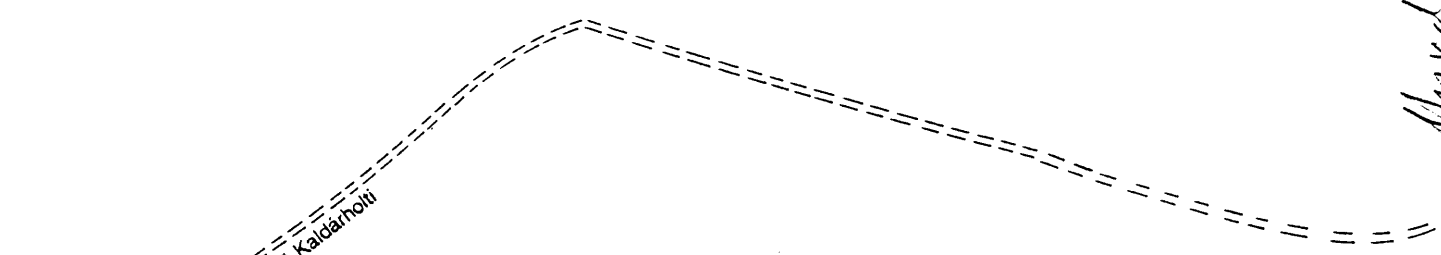
*Handwritten note with arrow pointing to point 7*

flúðir

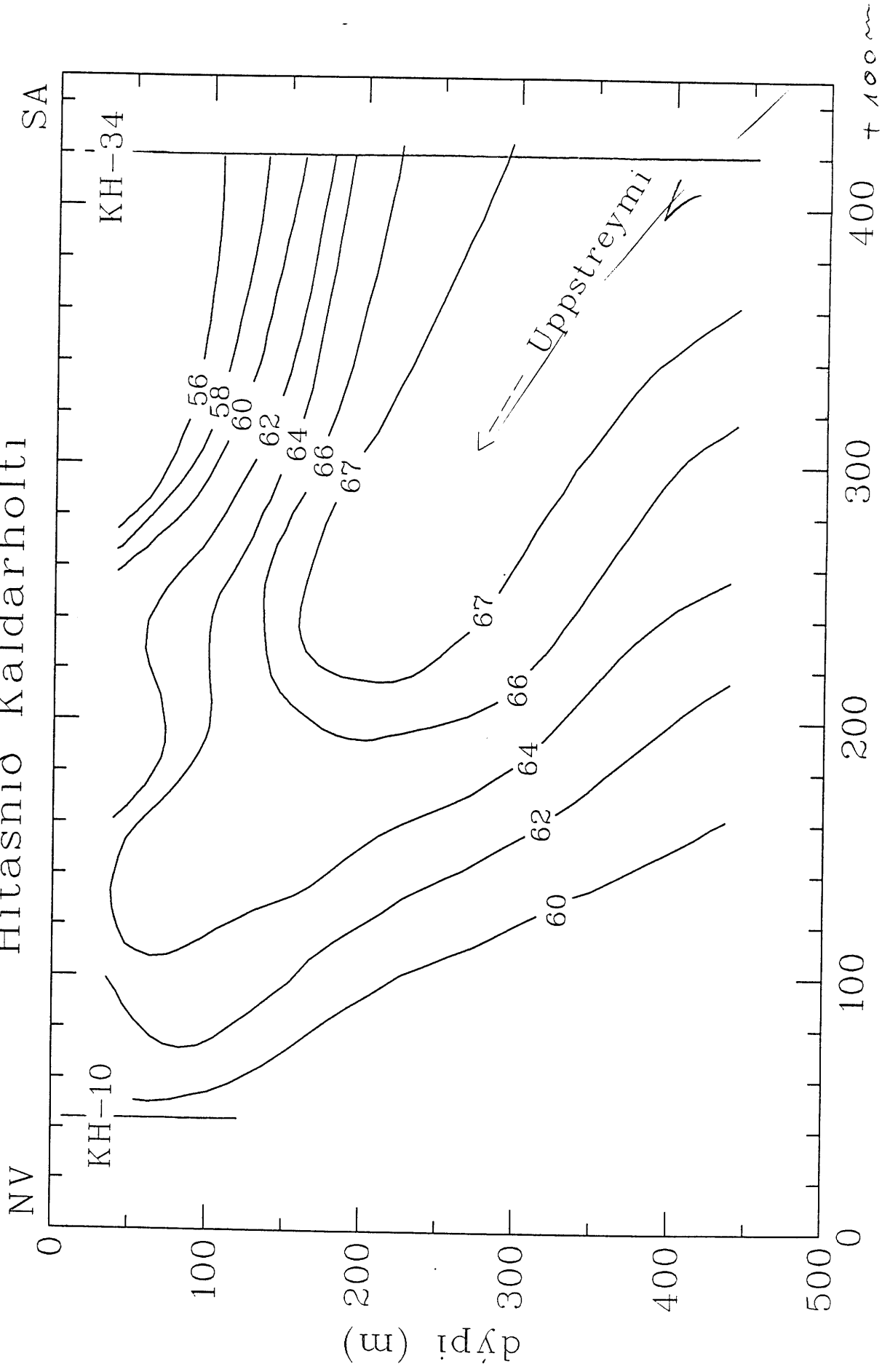
set-klöpp

Grégyflisholt

Kaldarholtsákur



# Hitasnið Kaldárholti



lárétt fjarlægð (m)

Bl. 3



## STUTT DÆLUPRÓFUN HOLU KH-34 Í KALDÁRHOLTI

Hola KH-34 í Kaldárholti var boruð dagana 1. - 8. júlí 1998. Hún varð 456 m djúp og er fóðruð með 5" röri í 21 m. Hún var 23. holan í vatnsleitarátaki sem stóð yfir að Kaldárholti vorið 1998 á vegum Hitaveitu Rangæinga. Mynd 1 sýnir staðsetningar allra holna sem boraðar hafa verið á svæðinu, en mynd 2 hitaþversnið í gegnum svæðið, sem sýnir vel meginniðurstöðu rannsóknanna. Stór æð er í holu KH-34 á rúmlega 450 m dýpi og gefur holan um 8 l/s af 67°C vatni í sjálfrennsli. Hún virtist jafnframt vel vatnsgæf og var holan því dæluprófuð í nokkra daga nú í ágúst. Meginniðurstöðum þeirrar prófunar er lýst stuttlega hér á eftir.

Hola KH-34 var prófuð dagana 24. - 25. ágúst, eða um 7 vikum eftir að borun holunnar lauk. Áður en dæling hófst úr holunni var sjálfrennsli úr henni mælt. Það reyndist 7,7 l/s, en hafði mælst 8,5 l/s um viku eftir borlok. Hola KH-34 var síðan prófuð með sogdælu í tveimur þrepum. Fyrra þrepið stóð í um sólarhring og var þá dælt 12,5 l/s að meðaltali úr holunni. Seinna þrepið stóð í rúma tvo sólarhringa og var meðaldælingin þá 13,5 l/s, sem voru hámarksafköst þess dælu-búnaðar sem notaður var.

Myndir 3 og 4 sýna gögnin sem safnað var um rennsli, vatnsborð og vatnshita holu KH-34 í prófuninni. Fyrri myndin sýnir að lítil vatnsborðslækkun varð í holunni, dýpst fór vatnsborð í tæplega 4 m við tæplega 14 l/s dælingu. Einnig var komið á nokkurn vegin jafnvægi er leið á seinna þrepið, þ.e. rennsli og vatnsborð voru orðin stöðug. Nánari athugun með einföldum líkanreikningum staðfesti það. Því virðist að lítils langtímaniðurdráttar sé að vænta í jarðhitakerfinu í Kaldárholti við þessa vinnslu. Þetta er þó ekki alveg hægt að fullyrða vegna þess hve prófunin stóð stutt. En langtímaniðurdráttur er allavega það hæfur að hann greinist ekki í prófuninni. Samkvæmt mælingunum á sjálfrennsli, sem nefndar eru hér að ofan og gerðar voru með u.þ.b. sex vikna millibili, virtist sjálfrennsli úr holunni hafa minnkað úr 8,5 í 7,7 l/s. Þetta bendir til vægs langtímaniðurdráttar í kerfinu. Alls ekki er þó víst að mælingarnar séu fullkomlega sambærilegar og að þessi munur sé marktækur. Með reglulegum mælingum á sjálfrennslinu úr holunni næstu mánuði má fá betri vitneskju um langtímaniðurdráttinn.

Mynd 4 sýnir tiltækar mælingar á hita vatns úr holu KH-34 í prófuninni. Ekki er reyndar talið að þær breytingar sem fram komu séu að fullu marktækar. M.a. vegna þess að vatnshitinn var mældur í rennsliskari og mælingarnar því væntanlega truflaðar af veðri o.fl. Snögg hækkun vatnshitans, eins og sést í lok prófunarinnar, er t.d. ólíkleg. Frekar hefði mátt búast við hægri hækkun þessa þrjá sólarhringa. Vegna þess hve jafn hitinn er í jarðhitakerfinu (mynd 2) var heldur ekki að vænta mikilla breytinga í hitanum.

Niðurstöður dæluprófunar holu KH-34 eru dregnar saman á mynd 5, sem sýnir mælt og áætlað vatnsborð við mismikið rennsli. Neikvætt vatnsborð þýðir þrýsting á toppi. Jafnframt gerir efri kúrfan ráð fyrir iðustreymistapi, en sú neðri ekki. Myndin sýnir að við 30 l/s dælingu verði vatnsborð í holunni á 13 - 22 m dýpi. Reyndar er væntanlega ekki hægt að dæla svo miklu magni úr holunni vegna þess hve hún er grönn, en það á hæglega að vera hægt úr víðari vinnsluholu. Búast má við að í víðari holu á sama stað yrði enn minni niðurdráttur, t.d. minna iðustreymistap. Á móti þarf að gera ráð fyrir einhverjum langtímaniðurdrætti. Varlega áætlað má gera ráð fyrir um 40 m niðurdrætti í víðari vinnsluholu við 30 l/s vinnslu til langframa.

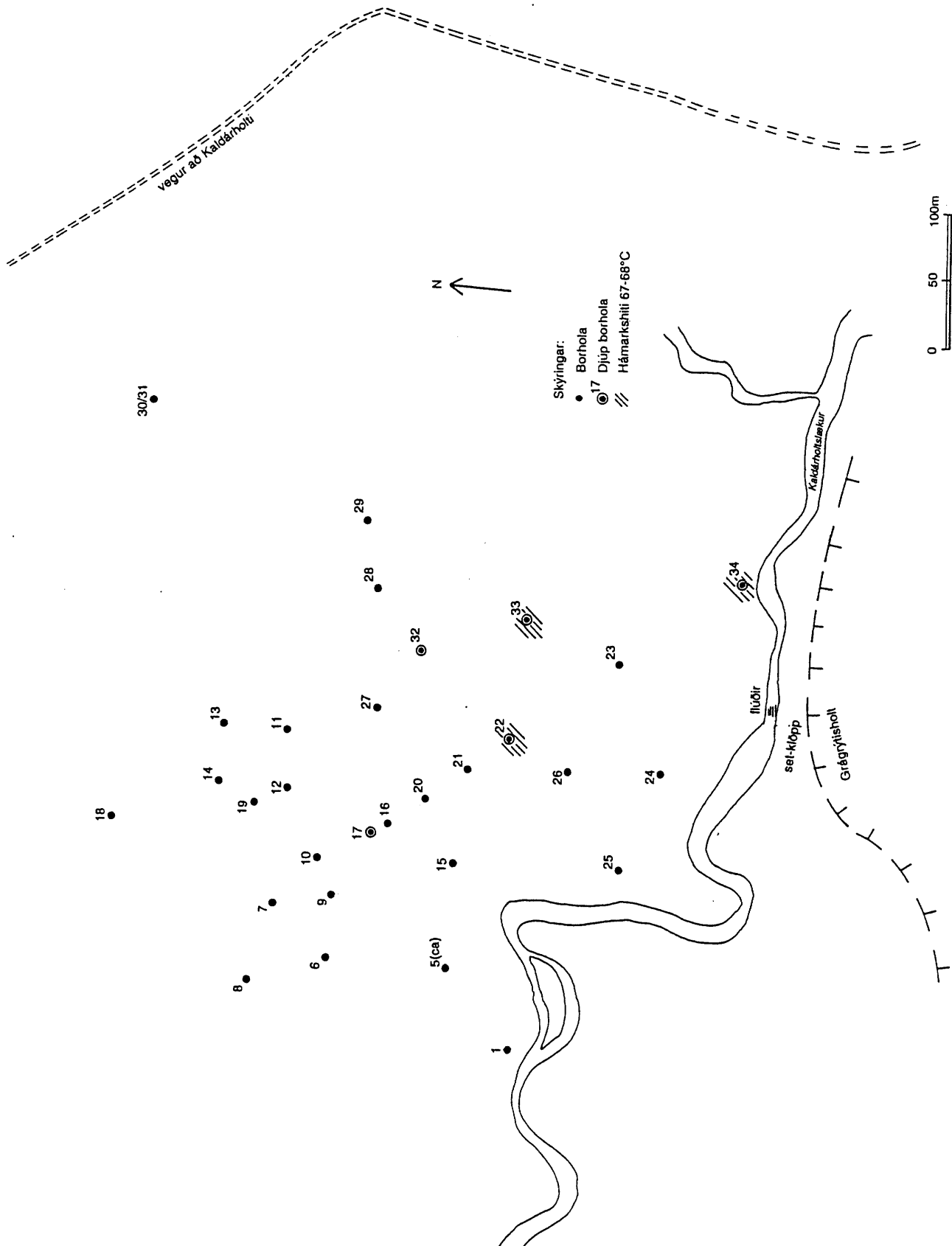
Vatnsborðsbreytingar voru mældar í nokkrum öðrum holum á svæðinu meðan á dæluþrófuninni stóð. Það voru holur 17, 22, 23 og 33 (mynd 1). Aðeins mældist 1 - 2 cm breyting í holu 17, sem vart getur talist marktæk, enda er hún um 350 m frá holu KH-34. Engin breyting mældist í holu 23, sem er aðeins 121 m að dýpt og virtist ekki ná niður í vatnskerfið. Hins vegar mældust nokkrar breytingar í holum 22 og 33. Sú fyrirnefnda er 161 m að dýpt, og nær greinilega niður í vatnskerfið, og sú síðarnefnda er 354 m djúp, einnig í vatnskerfinu. Vatnsborðsbreytingarnar eru ekki miklar, eða mestar í kringum 20 cm. Þetta bendir til þess að lekt vatnskerfisins sé töluvert mikil og vatnsgæfni þess þar af leiðandi líka. Mynd 7, sem sýnir vatnsborðsbreytingarnar teiknaðar með lógarítmískum tímaskala, var að síðustu notuð til þess að meta þessa lekt. Niðurstaðan er sú að margfeldi lektar og þykktar sé um  $5,6 \times 10^{-10} m^3$ , eða 560 Darcy-m. Vatnsborðsbreytingarnar benda jafnframt til þess að vatnskerfið sé um 500 - 1000 m að þykkt, þannig að lekt þess er þá af stærðargráðunni 1 Darcy, sem er mjög góð lekt.

Ljóst er að jarðhitakerfið í Kaldárholti er mjög vatnsgæft og þó vatnshitinn sé "aðeins" um 67°C má vinna mikla orku úr kerfinu. Ef t.d. er reiknað með 30 l/s jafnaðarvinnslu, sem mjög líklegt er að kerfið þoli vel, og nýtingu niður í 30°C, mun orkuvinnslan nema 40 GWh/ári. Það er nokkurn veginn jafnt orkuvinnslu Hitaveitu Rangæinga á Laugalandi í Holtum undanfarin ár. Eitt er þó rétt að benda á hér, en það er það að nokkur hættu er á kólnun grunnra vinnsluholna í jafn leku vatnskerfi og hér um ræðir. Er það vegna hættu á innrennsli kaldara grunnvatns. Jarðhitakerfið í Kaldárholti er þó mjög víðáttumikið, sem dregur úr þeirri hættu, auk þess sem kólnunarhættan verður minni í dýpri vinnsluholu, sem jafnframt væri fóðruð mun dýpra en hola KH-34.

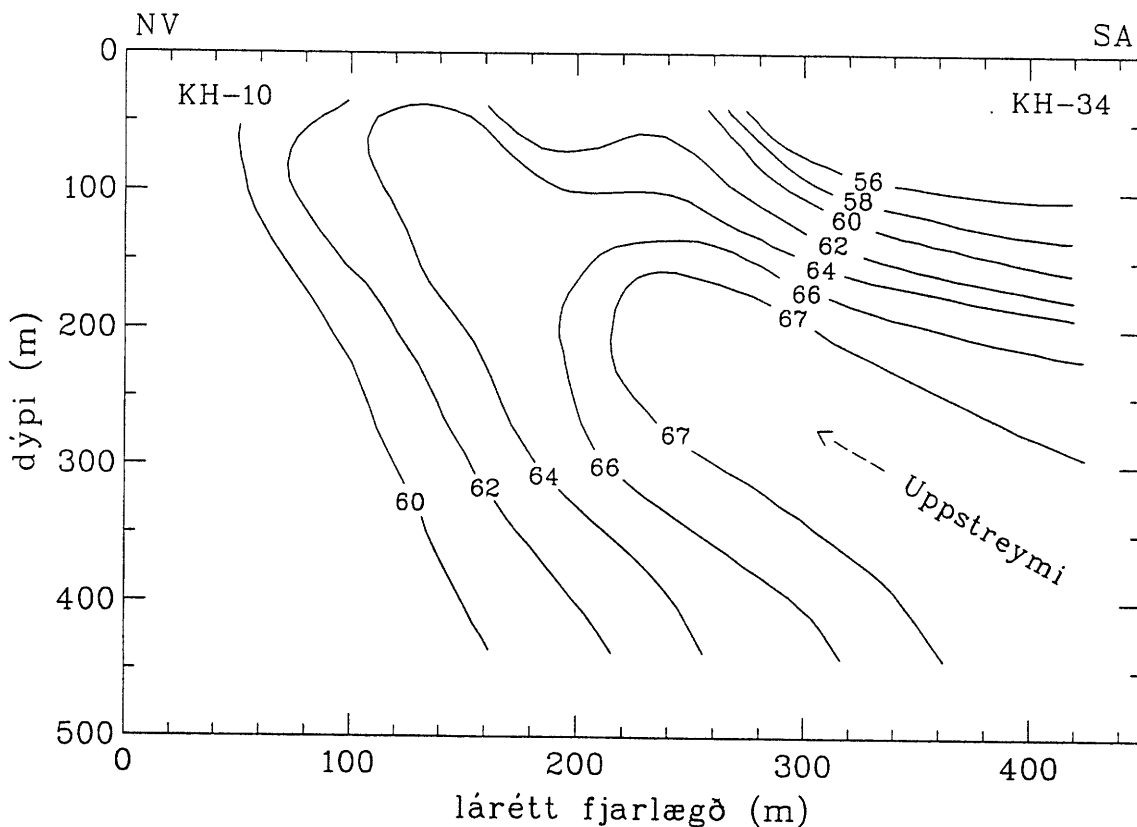
#### Samandregnar niðurstöður:

- Niðurstöður dæluþrófunarinnar benda til þess að vinnsluhola í Kaldárholti gæti gefið a.m.k. 30 l/s með innan við 40 m niðurdrætti.
- Lekt vatnskerfisins er mjög góð, eða af stærðargráðunni 1 Darcy, auk þess sem það virðist um 500 - 1000 m þykkt.
- Langtímaniðurdráttur í jarðhitakerfinu er það hægur að hann greindist ekki í prófuninni. Mikilvægt verður að mæla sjálfrennsli úr holu KH-34 af og til næstu mánuði til þess að meta þetta atriði.
- Með 30 l/s jafnaðarvinnslu mun orkuvinnslan í Kaldárholti nema um 40 GWh/ári, sem er nokkurn veginn jafnt orkuvinnslu Hitaveitu Rangæinga á Laugalandi í Holtum undanfarin ár.

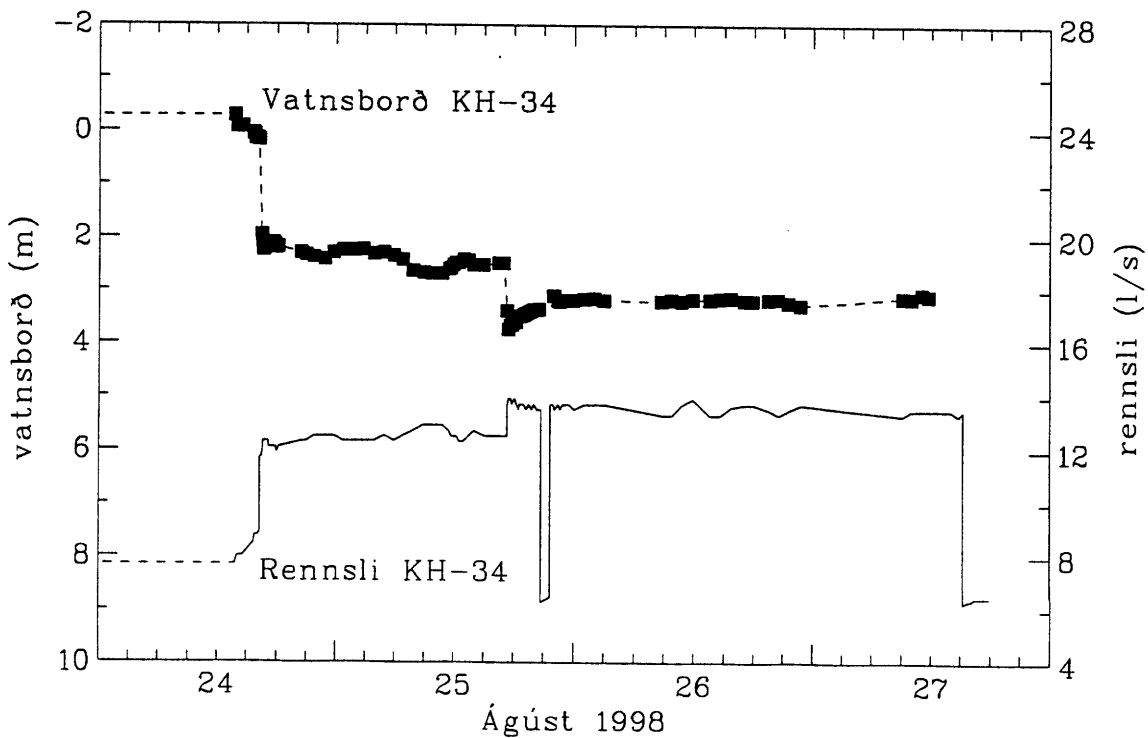
*Guðni Axelsson*



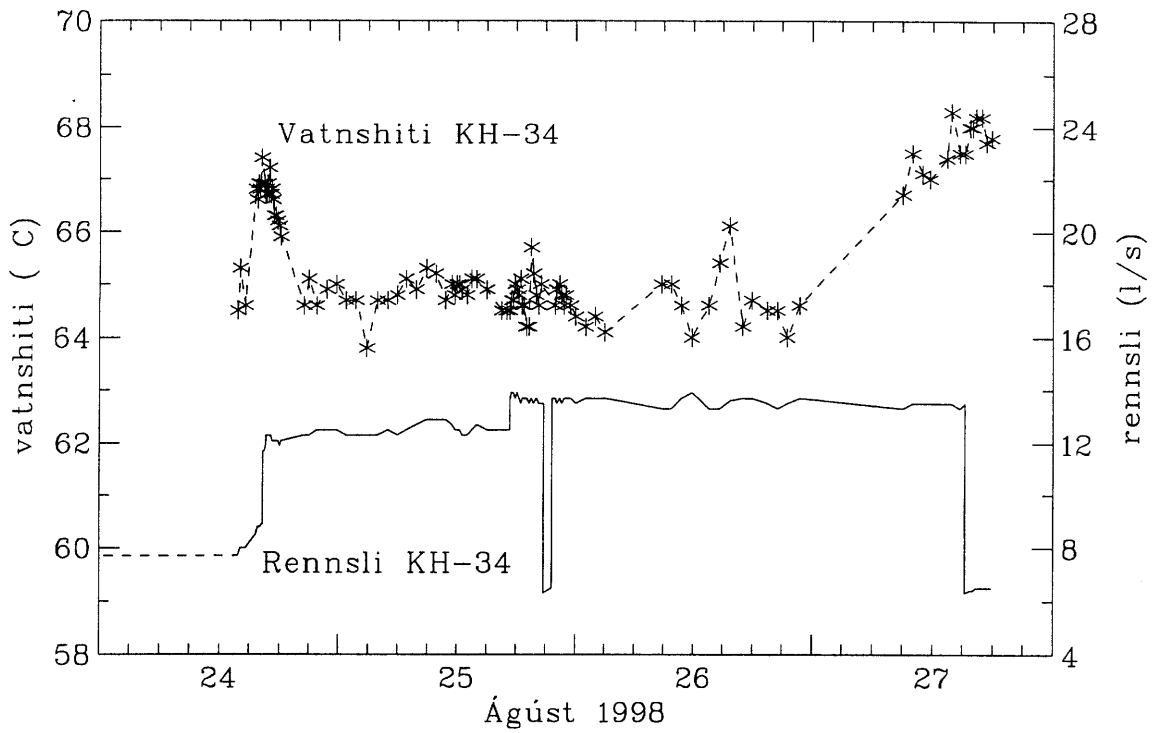
Mynd 1. Staðsetning rannsóknarborholna í Kaldárholti.



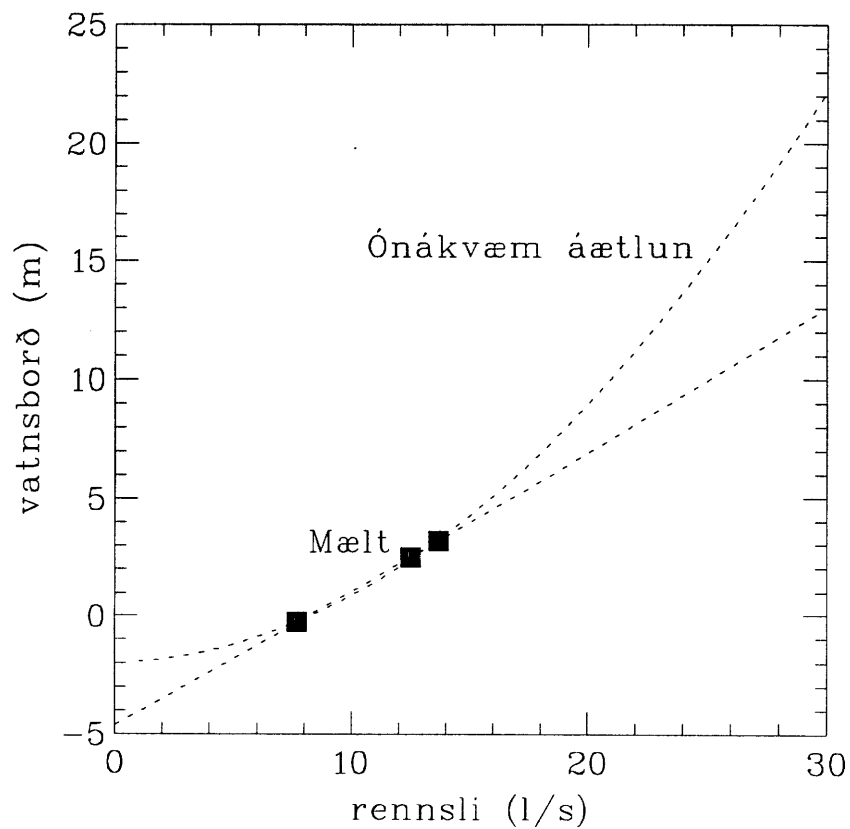
Mynd 2. NV-SA hitasnið sem sýnir meginniðurstöður rannsóknarborana í Kaldárholti.



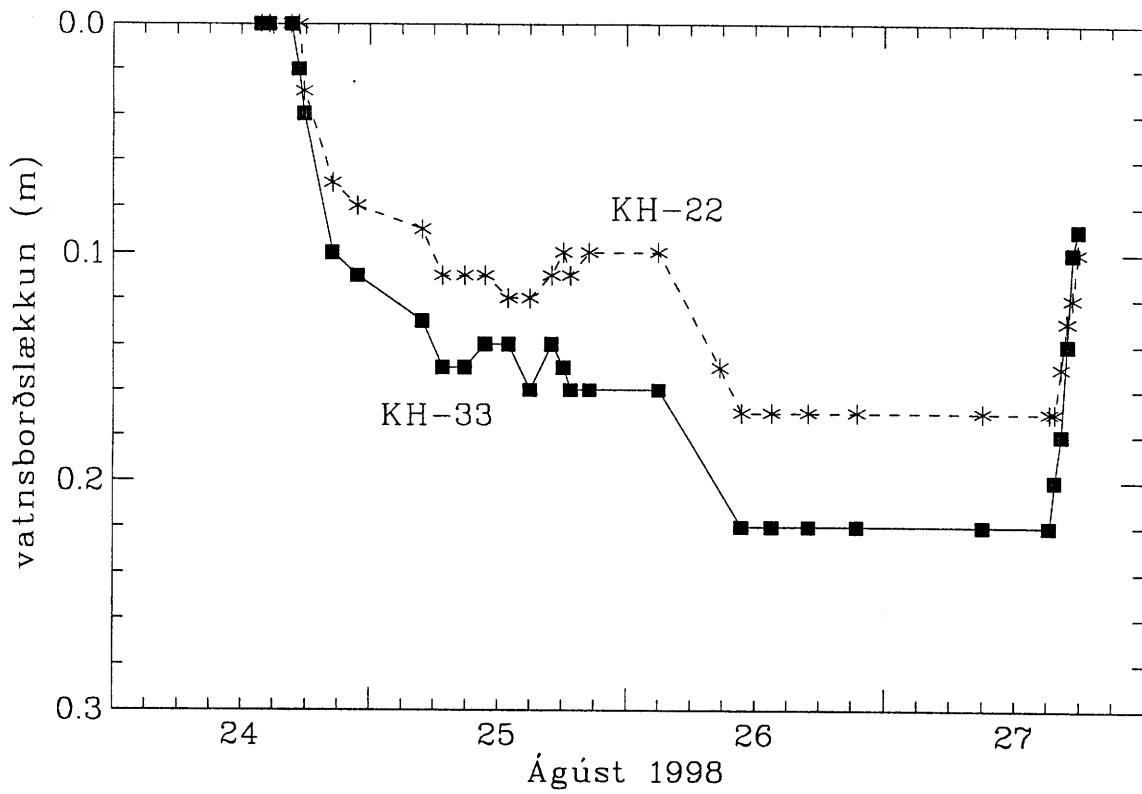
Mynd 3. Rennsli og vatnsborð holu KH-34 í dæluþrófun.



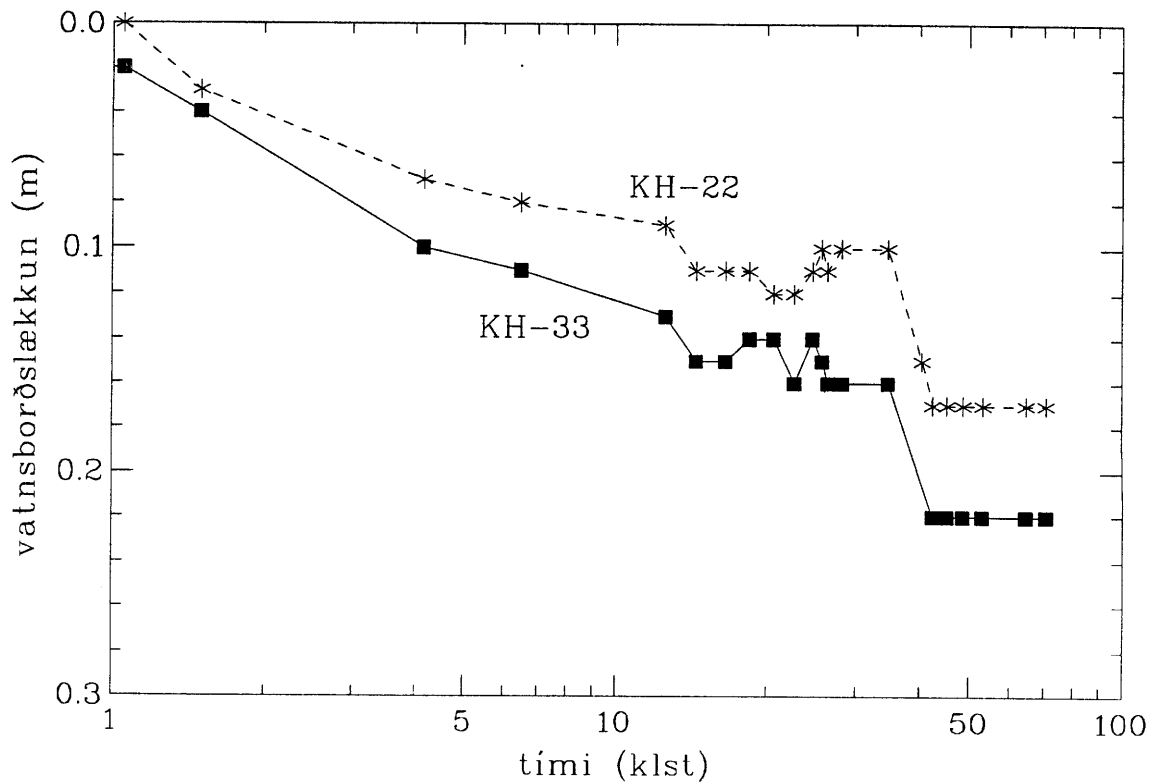
**Mynd 4.** Rennsli og vatnshiti holu KH-34 í dæluþrófun.



**Mynd 5.** Mælt og áætlað samband rennslis og vatnsborðs í holu KH-34.



Mynd 6. Vatnsborðsbreytingar í holum KH-22 og KH-33 í dæluþrófuninni.



Mynd 7. Vatnsborðsbreytingar í holum KH-22 og KH-33, lógarítmískur tímaskali.

## NÝTING VATNS ÚR HOLU KH-34 Í KALDÁRHOLTI UM ÁHRIF NIÐURDÆLINGAR Í HOLU GN-1 Í GÖTU

### Inngangur

Hola KH-34 í Kaldárholti var boruð í júlí s.l. Hún er talin geta gefið a.m.k. 30 l/s af um 67°C vatni með hóflegum niðurdrætti (Guðni Axelsson, 1998). Auk þess að nota vatnið beint með því að blanda því við vatnið frá Laugalandi í Holtum, hefur verið rætt um þann möguleika að dæla vatni frá Kaldárholti niður í holu GN-1. Það yrði gert í þeim tilgangi að auka orkuvinnsluna úr jarðhitakerfinu, þar sem vatnið mun hitna frekar við snertingu við heitt bergið á tæplega 1 km dýpi, áður en því yrði dælt aftur upp um holu LWN-4. Þessi greinargerð fjallar um niðurstöður stuttrar athugunar á þeim möguleika.

Árið 1992 var gerð ferilprófun milli holna GN-1 og LWN-4, til þess að kanna tengsl holnanna (Grímur Björnsson o.fl., 1993; Guðni Axelsson o.fl., 1995). Stuðst er við þá prófun í þeirri athugun, sem hér er til umfjöllunar. Niðurstöður ferilprófunarinnar voru reyndar þær að greið tengsl væru milli holnanna og að hola GN-1 væri of nálægt holu LWN-4 til þess að sú fyrrnefnda væri heppileg niurdælingarhola. Helst væri hægt að nýta hana sem slíka ef volgu vatni væri dælt niður í stað kalds vatns, og ef það væri aðeins gert í stutt tímabil í einu.

### Áhrif niurdælingar í holu GN-1

Einfalt líkan af eins konar stökk, sem tengir niurdælingarholu og vinnsluholu, er notað til þess að herma niðurstöður ferilprófunarinnar og spá því hvernig hiti vatns úr vinnsluholu muni breytast við niurdælingu. Stokkurinn hermir þann hluta sprungubeltis, sem tengir holurnar og niurdælingarvatnið rennur eftir. Hann hefur ákveðið rúmmál (V) og poruhluta ( $\phi$ ) og gert er ráð fyrir einvíðu rennsli vatns eftir stokknum auk þess sem varmaorka streymir til stokksins úr heitu berginu umhverfis og hitar kaldara vatnið í stokknum. Í ferilprófuninni 1992 var vatni reyndar ekki dælt niður, en notast við niðurrennsli í holu GN-1. Hversu mikið niðurrennslið var er ekki vitað með vissu, sem gerir túlkun ferilprófunarinnar aðeins óvissari. Hola GN-1 var þó hita- og rennslismæld í lok sumars 1993 og bentu niðurstöðurnar til þess að niðurrennslið væri 1,5 - 2,0 l/s (Guðni Axelsson og Jósef Hólmjárn, 1993).

Við túlkun ferilprófunarinnar var gengið útfrá eftirfarandi:

niðurrennsli GN-1,  $q = 2$  l/s  
dæling LWN-4,  $Q = 16$  l/s  
fjarlægð milli holna,  $L = 110$  m  
poruhluti bergs í stökk,  $\phi = 0,10$

Þá fengust eftirfarandi niðurstöður:

vatnshraði í stokk,  $u = 4,4$  m/dag  
rúmmál stokks,  $V = 43000$  m<sup>3</sup>  
hlutur niðurrennsliis sem berst eftir stokk = 94%  
tvístrunarstuðull stokks,  $D = 170$  m<sup>2</sup>/dag

Rúmmál stokksins  $V = A \cdot L$ , þar sem  $A$  er þverskurðarflatarmál hans með  $A = h \cdot b$  og  $h$  hæð og  $b$  breidd stokksins, eða sprungubeltisins. Gengið verður útfrá því að  $h = 55$  m og  $b = 7$  m.

Fyrst voru ofangreindar niðurstöður notaðar til þess að áætla hversu langur tími myndi líða frá því að niðurdæling hefst í holu GN-1 þar til kólnunar fer að gæta í holu LWN-4. Á ensku nefnist þessi tími "thermal breakthrough time". Niðurstöðurnar fyrir mismunandi niðurdælingu eru sýndar á mynd 1. Þær eru hvorki háðar hita niðurdælingarvatnsins né dælingu úr LWN-4. Myndin sýnir það sem áður hefur komið fram að kólnun hefst mjög fljótlega. Ástæðan er lítið rúmmál stokksins sem tengir holurnar. Samkvæmt líkaninu mun kólnunin hefjast eftir um einn mánuð við 10 l/s niðurdælingu, eftir u.þ.b. tvo mánuði við 5 l/s niðurdælingu og innan eins árs við aðeins 1 l/s niðurdælingu.

Þrátt fyrir það að kólnun hefjist fljótt getur niðurdæling verið hagkvæm ef kólnunin eftir það verður hæg. Hraði kólnunarinnar ræðst líka af stærð stokksins, en reyndar af yfirborðsflatarmáli hans ( $h \cdot L$ ) en ekki rúmmáli. Því var líkanið notað til þess að reikna hita vatns úr holu LWN-4 fyrir nokkur tilfelli niðurdælingar í holu GN-1. Þessi tilfelli gera annars vegar ráð fyrir niðurdælingu 2,5 og 5,0 l/s af 65°C vatni frá Kaldárholti, og hins vegar niðurdælingu 2,5 og 5,0 l/s af 80°C vatni, ef svo heitt vatn fyndist dýpra í jarðhita-kerfinu í Kaldárholti. Niðurstöðurnar fyrir rúmlega eins árs stöðuga niðurdælingu eru sýndar á mynd 2. Gert er ráð fyrir 17 l/s jafnaðarvinnslu. Þar sést að eftir að kólnunin hefst reiknast hún í öllum tilfellunum mjög hröð. Hún reiknast nokkru hægari fyrir 2,5 l/s niðurdælingu, en í öllum tilfellunum er hitinn farinn að nálgast þann hita sem fengist ef vatninu væri blandað beint saman við vatnið úr holu LWN-4. Í þessum fjórum tilfellum er munurinn u.þ.b. 1°C eftir árs niðurdælingu. Lítur út fyrir að það verði það litla sem græðist á langtímaníðurdælingu. Þetta svarar reyndar til 1% aukningar í orkuframléiðslu, sem bera þarf saman við fyrirsjáanlegan kostnað við að dæla því niður og upp aftur.

Af ofangreindum niðurstöðum sést að einungis niðurdæling í holu GN-1 í stutt tímabil í einu mun verða hagkvæm. T.d. mætti dæla niður yfir sumartímamann en ekki á öðrum tímum ársins. Þá myndi stökkurinn, sem tengir holurnar, ná að hitna að mestu leyti aftur áður en niðurdæling hefst aftur næsta sumar. Líklegt er að þetta fyrirkomulag myndi þó valda vægri kólnun holu LWN-4 til langs tíma. Mynd 3 sýnir áætlaðan meðalhita vatns úr holu LWN-4 yfir fimm ára tímabil, ef 5 l/s af 65°C vatni er dælt niður í 3 mánuði á ári. Þessi áætlun er þó frekar óviss.



## Niðurstöður

Helstu niðurstöður þessarar stuttu athugunar eru eftirfarandi:

1. Lítið rúmmál þess hluta sprungubeltisins, sem tengir holur GN-1 og LWN-4 og niðurdælingarvatn rennur eftir, veldur því að vatn úr þeirri síðarnefndu kólnar hratt við niðurdælingu í þá fyrrnefndu.
2. Niðurdæling í styttri tíma, t.d. á sumrin, gæti verið hagkvæm. Ætti þá að gilda einu hvort 3 l/s er dælt niður í u.þ.b. 3 mánuði eða 5 l/s í tæplega 2 mánuði. Slíkt fyrirkomulag, þar sem 65°C vatn frá Kaldárholti væri notað, ætti að skila um 3% aukningu í orkuvinnslugetu næstu árin, og hefur þá verið tekið tillit til þess að niðurdæling með þessum hætti myndi væntanlega valda vægri kólnun vatns úr holu LWN-4.
3. Niðurdæling til lengri tíma verður vart hagkvæm þar sem hún myndi aðeins skila um 1% aukningu í orkuvinnslugetu. Auk þess er hola GN-1 varahola Hitaveitu Rangæinga.
4. Samkvæmt fyrirliggjandi líkanreikningum er ekki útlit fyrir að niðurdæling 80°C vatns, ef það myndist á meira dýpi í Kaldárholti, muni verða hagkvæmari en niðurdæling 65°C vatns. Í raun myndi hún skila minni viðbótarorku, miðað við beina blöndun. Er það vegna minni hitamunar milli sprungubeltisins, sem kælt verður af niðurdælingarvatninu, og jarðhitakerfisins. Orkustreymið til kælds sprungubeltisins verður í réttu hlutfalli við hitamuninn.
5. Einn möguleika er vert að nefna til viðbótar, en það er sá möguleiki að nota niðurdælingu 65°C vatnsins frá Kaldárholti til aflaukningar, t.d. í kuldaköstum. Þá mætti dæla 5 - 10 l/s niður í holu GN-1 í 1 - 2 vikur í senn, sem þá myndu skila sér fullheitir yfir í holu LWN-4. Eftir slík tímabil þyrfti hola GN-1, og jarðhitakerfið, að jafna sig í nokkurn tíma.

Ofangreindar niðurstöður eru nokkuð óvissar, m.a. vegna þess hve einfalt líkanið er og vegna þess að í ferilprófuninni var niðurrennsli í holu GN-1 notað í stað eiginlegrar niðurdælingar. Ef hafist verður handa við að dæla niður í holu GN-1 á sumrin væri rétt að endurtaka ferilprófunina eftir að niðurdælingin hefst í fyrsta sinn, auk þess sem þá þarf að fylgjast vel með vatnshita LWN-4 og efnainnihaldi. Á grundvelli þeirra upplýsinga mætti endurskoða þær áætlanir sem hér hafa verið til umfjöllunar. Að lokum er rétt að benda á það að niðurdælingarhola í meiri fjarlægð frá holu LWN-4, en hola GN-1 er í, yrði væntanlega mun hagkvæmari.

## Heimildir

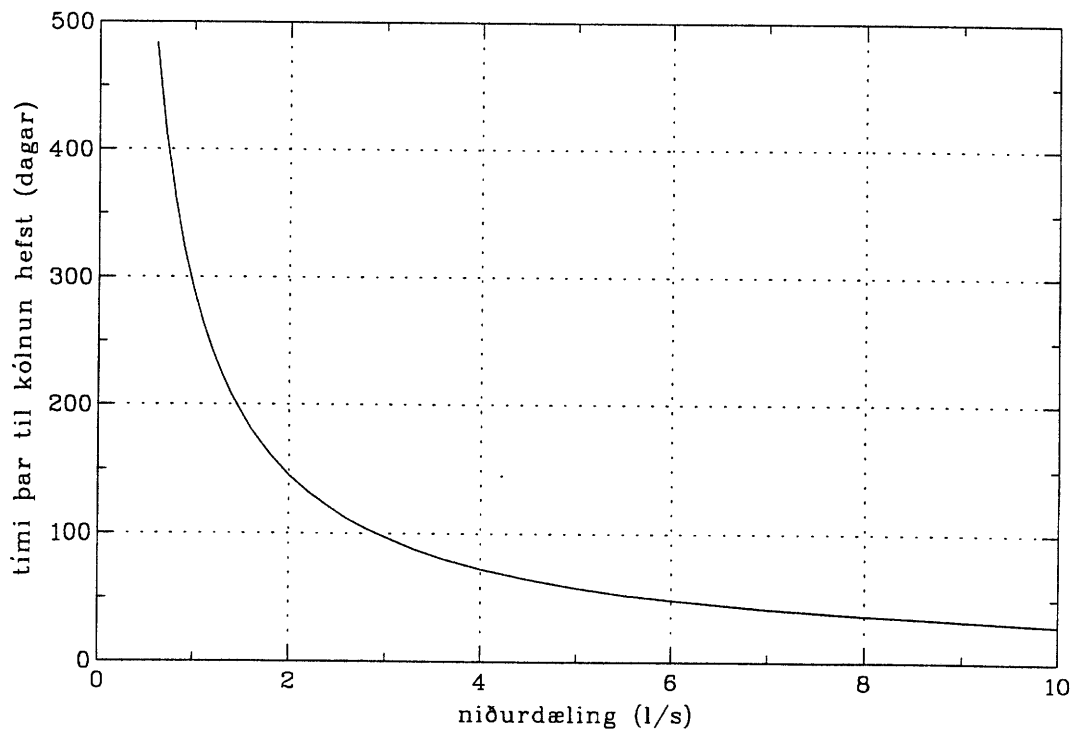
Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993: Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03 B, 74s.

Guðni Axelsson, 1998: Stutt dæluprófun holu KH-34 í Kaldárholti. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/03, 6s.

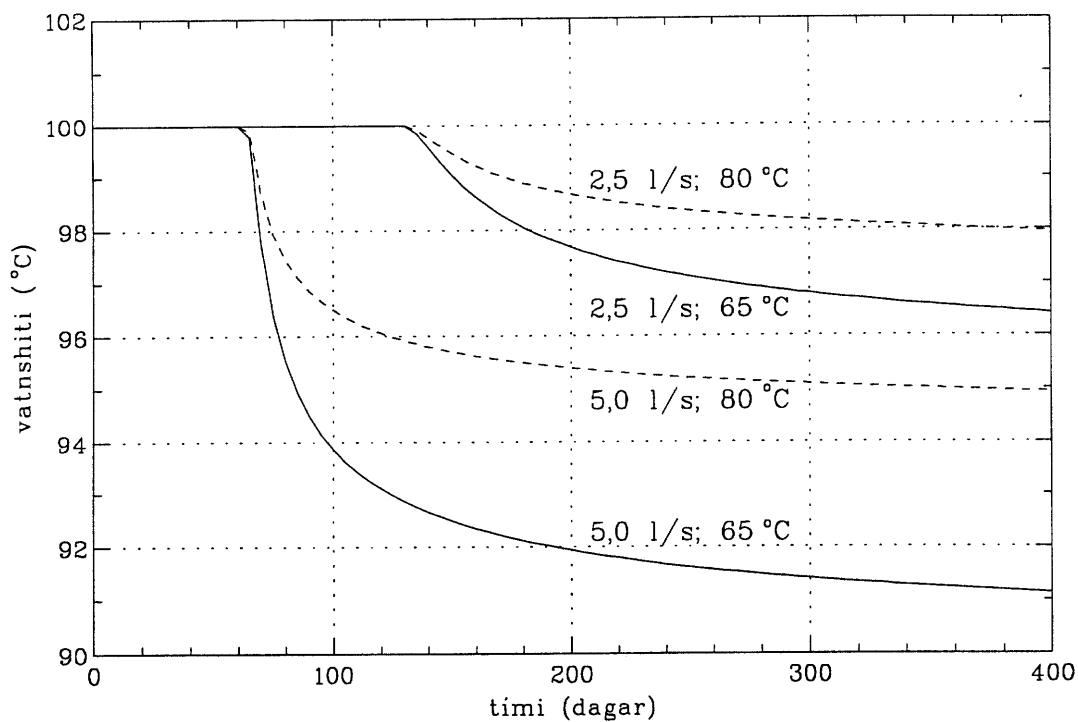
Guðni Axelsson og Jósef Hólmjárn, 1993: Hóla GN-1 í Götum við Laugaland í Holtum. Mælingar 31.08.93 og tillögur um prófun. Orkustofnun, greinargerð GAX/JH-93/01, 6s.

Guðni Axelsson, Grímur Björnsson, Ólafur G. Flóvenz, Hrefna Kristmannsdóttir og Guðrún Sverrisdóttir, 1995: Injection experiments in low-temperature geothermal areas in Iceland. *Proceedings of the World Geothermal Congress 1995*, Flórenz, Ítalíu, Maí 1995, 1991-1996.

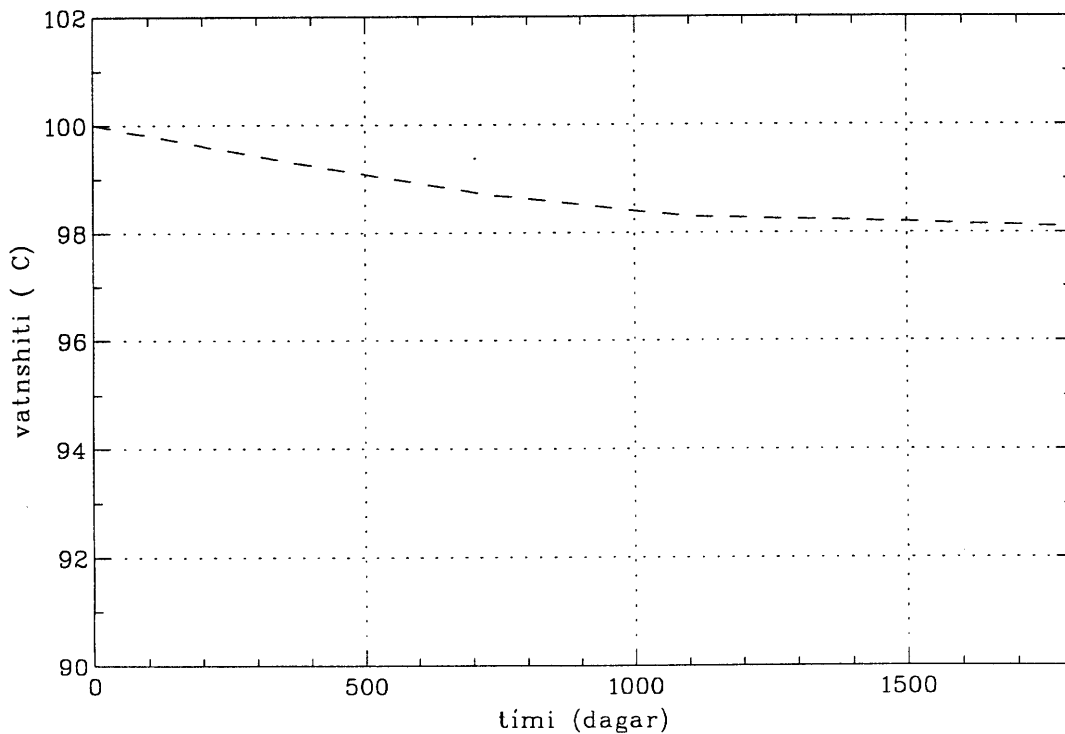
*Guðni Axelsson*



**Mynd 1.** Áætlaður tími frá því að niðurdæling hefst í holu GN-1 þar til kólnunar fer að gæta í holu LWN-4 ("thermal breakthrough time").



**Mynd 2.** Reiknaður hiti vatns úr holu LWN-4 fyrir nokkur tilfelli niðurdælingar í holu GN-1.



**Mynd 3.** Áætluður hiti vatns úr holu LWN-4 í fimm ár, ef 5 l/s af 65°C vatni er aðeins dælt niður í 3 mánuði á ári.

23. desember, 1998

---

## VINNSLA HEITS VATNS ÚR HOLU 3 Á LAUGALANDI Í HOLTUM

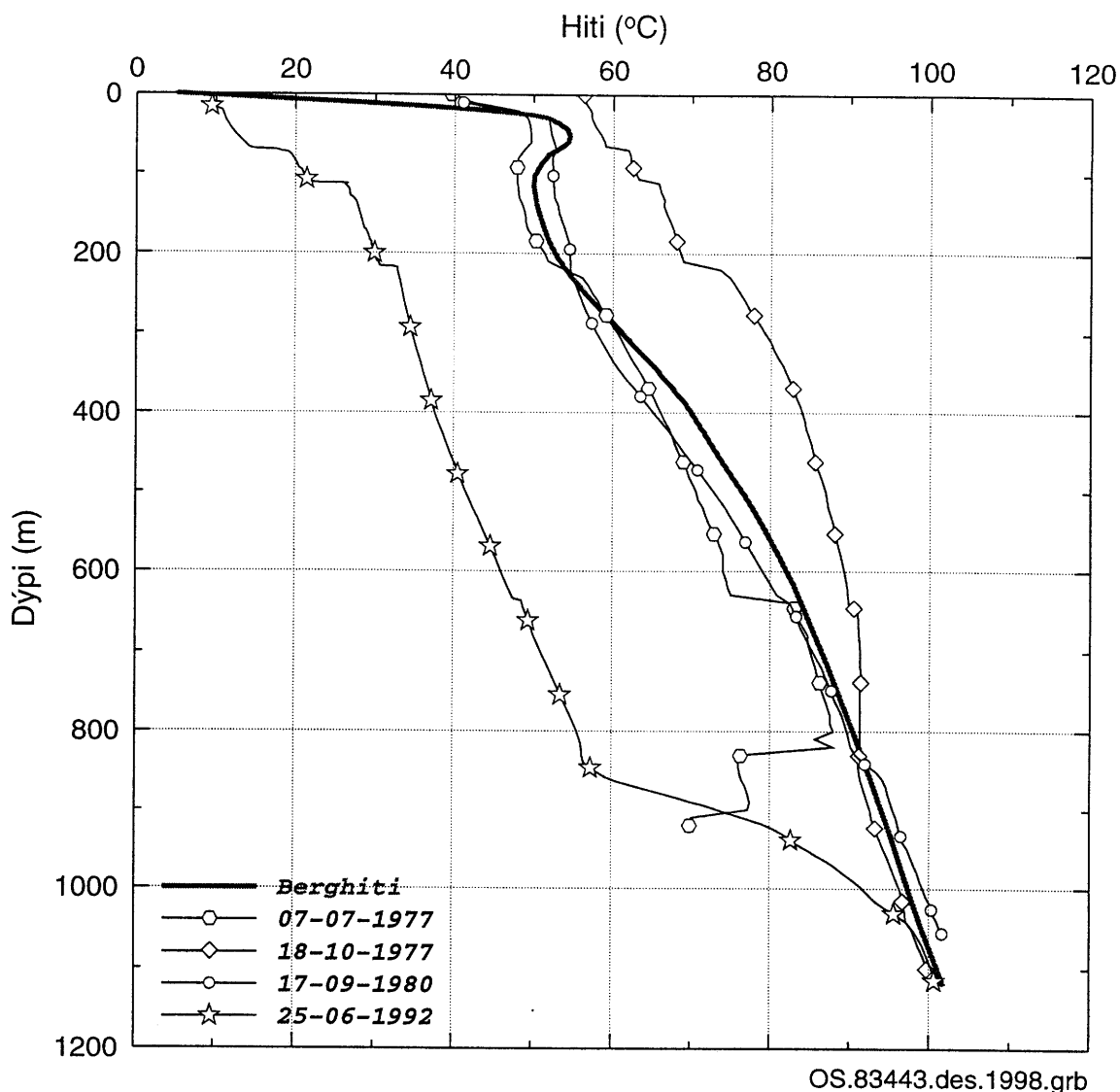
Eftirfarandi samantekt er gerð að beiðni Hitaveitu Rangæinga og fjallar um möguleika þess að vinna heitt vatn úr holu 3 á Laugalandi í Holtum. Holan er boruð 1977 í u.þ.b. 1300 m dýpi. Hún skilaði u.þ.b. 10 l/s af 45°C vatni í loftblæstri við lok borunar, sem þótti klént. Ýmislegt bras fylgdi borverkinu, steypingar og misheppnaðar pakkningar (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1978). Þó má teljast markvert við prófanirnar frá þessum tíma að holan gaf í samfelldri 31 klst loftdælingu 3,5 l/s af 53 °C vatni með 30 m niðurdrætti. Í kjölfarið voru æðakerfi holunnar skilgreind, þ.e. 50-60 °C heitt vatnskerfi á 50-215 m og svo dýpra kerfi á 635-920 m, 80-90 °C heitt. Þess utan urðu menn svo einnig varir við kalda æð á rétt um 20 m dýpi.

Aftur er holan dæluprófuð árið 1987 (Sæþór L. Jónsson, 1987). Líkt og í prófuninni 1977, voru afköstin tiltölulega stöðug, annars vegar 5,5 l/s af 40 °C vatni við rúmlega 60 m niðurdrátt, en hins vegar 3 l/s af 34 °C vatni við 24 m niðurdrátt. Lágur vatnshiti og hátt súrefnisinnihald varð til þess að holan var dæmd óvinnsluhæf.

Áfram er þó haldið við athuganir á holu 3, og voru þær þá helst í tengslum við hvers kyns vísindarannsóknir á eiginleikum jarðlaga. Þröng vatnsstaða Hitaveitu Rangæinga hefur margsinnis dregið huga undirritaðs að holunni sem mögulegri orkulind. Boranir á köldum svæðum, þar sem oftlega fæst lítið af volgu vatni úr tiltölulega heitum holum, hvatti forðafraeðinga á Orkustofnun til að endurhugsa vinnslutækni í slíkum tilvikum. Upp úr því þróaðist hugmyndin um skottdælu. Í henni er slanga úr snjóbræðsluplasti látin standa niður úr holudælu allt til botns. Í litlu rennsli (1-2 l/s) verður volgt vatn úr grunnum æðum að síga niður alla holuna uns það nær slönguendanum. Getur það þá auðveldlega hitnað um 20-30 °C á leiðinni. Grönn og tregvarmaleiðandi plastslangan sér svo til þess að þessir sömu 1-2 l/s koma umtalsvert heitari upp úr holunni en í hefðbundinni dælingu, þar sem lítið vatnsmagn rennur hægt upp um víða og kalda holu með miklu varmatapi. Í upphafi átti þessi greinargerð að beinast að könnun á hagkvæmni þess að virkja holu 3 með skottdælu.

Sem dæmi um árangur af svona tækni má nefna rúmlega 1000 m djúpa holu í Skarðshlíð undir Eyjafjöllum. Hiti upp úr holunni, í u.þ.b. 1,5 l/s dælingu, jókst við skottið úr 32 í 46 °C. Skilar holan því nægri orku til að hita bæjarhúsin í Skarðshlíð og líkast til víðar.

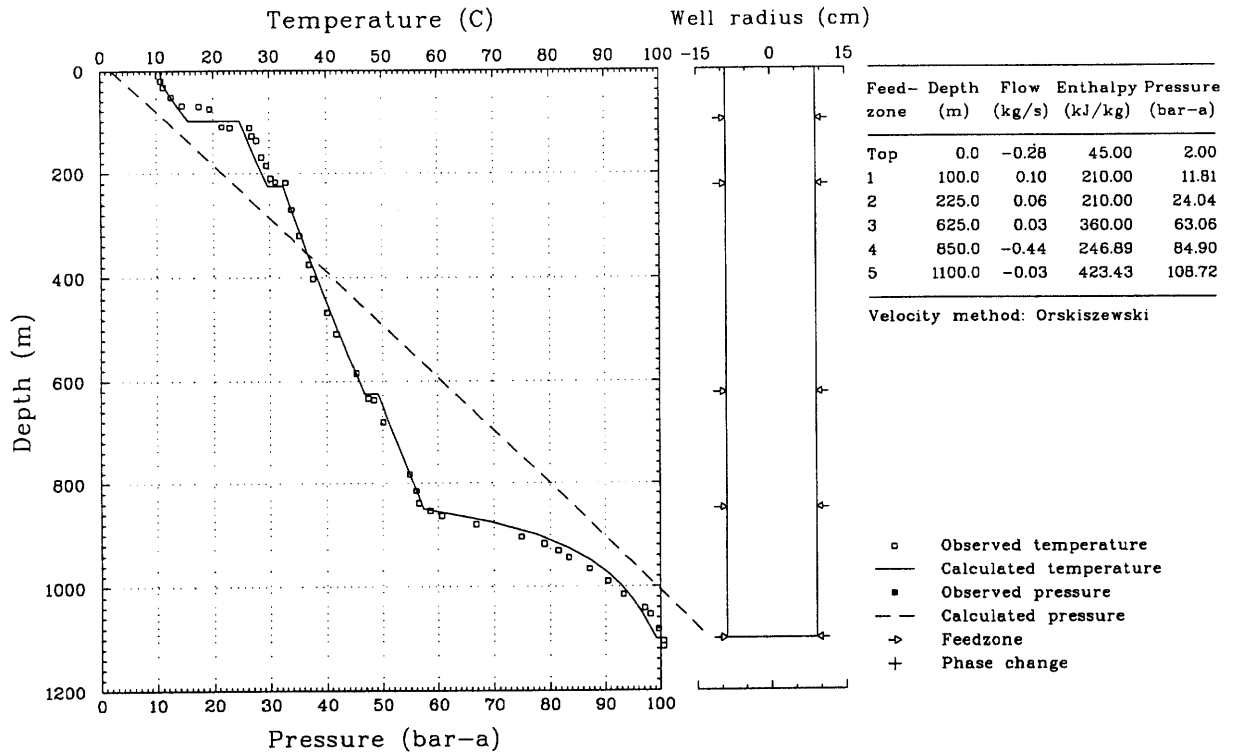
Mynd 1 sýnir allar hitamælingar úr holu 3 á Laugalandi. Eins er teiknaður berghiti holunnar eins og hann var áætlaður í nýlegri heildarúttekt um jarðhitakerfið á Laugalandi (Grímur Björnsson o.fl., 1993). Vakinn er athygli á að berghitinn er alls staðar, nema rétt í efstu 30 metrnum, ofan við 50 °C. Með réttum frágangi fóðringa og í einhverra sekúndulítra dælingu, á holan því að skila a.m.k. 50 °C heitu vatni.



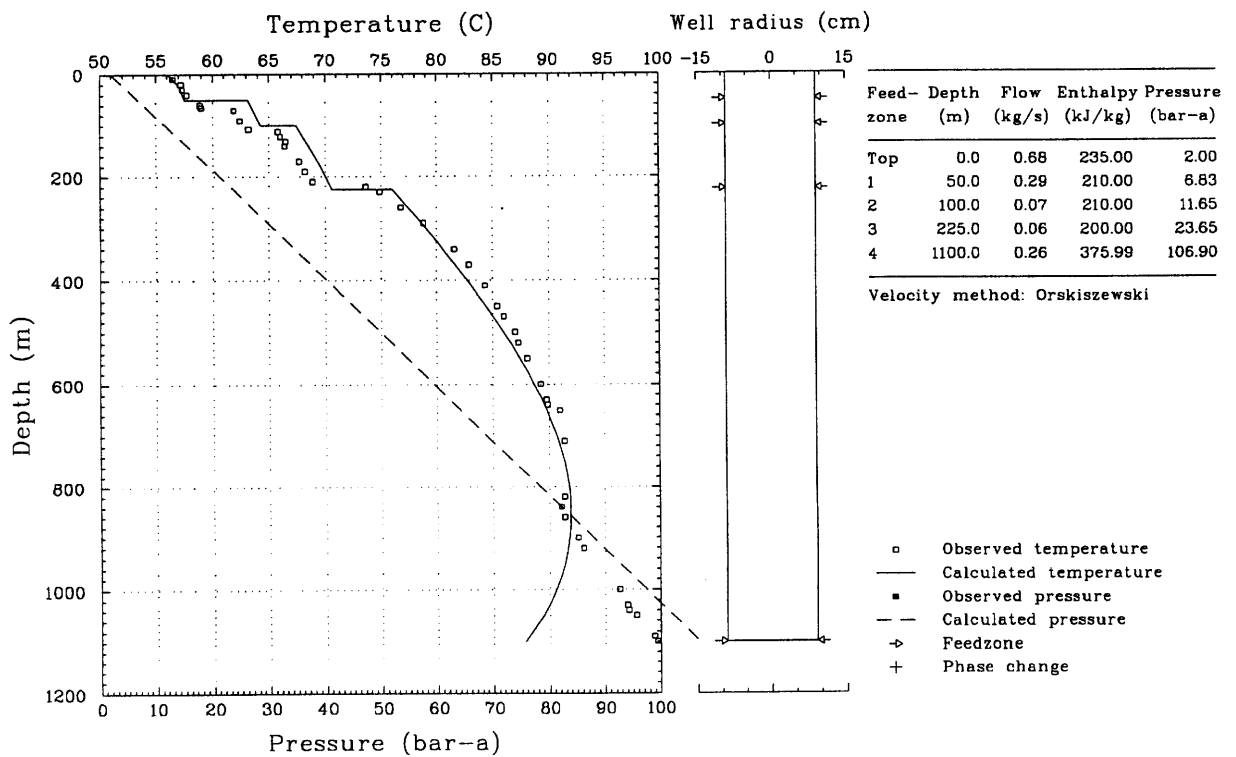
**Mynd 1:** Berghiti og hitamælingar í holu 3 á Laugalandi.

Hér verða teknir til sérstakrar æðagreiningar tveir hitaferlar úr holu 3, frá 18. október 1977 og 25. júní 1992. Í fyrri mælingunni sjálfrann holan tæpum 1 l/s og voru þá liðnir nokkrir mánuðir frá borun. Seinni mælingin einkennist hins vegar af niðurrennsli, vatn rennur fyrst úr æð á 20 m og síðan skila fleiri æðar sér inn sem veldur eins konar tröppugangi í hitaferlnum niður alla holuna. Að lokum sleppur niðurrennslið út í jarðhitakerfið um æð á rúmlega 800 m dýpi.

Í æðagreiningu er sett upp varmafræðilegt líkan af borholu og reynt að meta hvaða vatnsmagn er að renna milli æða. Skilyrði þess að það sé hægt, er að rennslið hafi verið nokkuð stöðugt í marga mánuði og að hiti hveðrar æðar og þar með berghitinn sé þekktur. Til reikninganna er notaður hermírn HOLA (Grímur Björnsson, 1987). Myndir 2 og 3 sýna niðurstöðu athugananna en töflur 1 og 2 geyma inntaksskrár forritsins.



Mynd 2: Mældur og reiknaður hiti holu 3 í niðurrennsli árið 1992.



Mynd 3: Mældur og reiknaður hiti holu 3 í sjálfrennsli árið 1977.

Athugið að reikningarnir eru ómarktækir neðan við dýpstu æð á rúmlega 800 m dýpi.

Þarna er ekkert rennsli, sem er andstætt forsendum reikninganna.

**Tafla 1:** *Inntaksskrá reiknilíkansins HOLU vegna hitamælingar frá 1992.*

**Tafla 2:** *Inntaksskrá reiknilíkansins HOLU vegna hitamælingar frá 1977.*

Laugaland í Holtum			
Hermun á hitamælingu frá 1992			
GrB			
	2.00	bar-a	
	45.00	kJ/kg	
	-.28	kg/s	
	1100.00	m	
	2.00	W/m/C	
	2800.00	kg/m <sup>3</sup>	
	1000.00	J/kg/C	
	.3140E+09	sec	
1		nu. of well sect.	
1100.0	.090	.000050	25.0
6		nu. of temp. data points	
	.0	10.00	
	50.0	50.00	
	20.0	50.00	
	400.0	70.00	
	800.0	90.00	
	1100.0	102.00	
5		nu. of feedzones	
100.0	.100	.210E+06	
225.0	.060	.210E+06	
625.0	.030	.360E+06	
850.0	-.440	.385E+06	

Laugaland í Holtum			
Hermun á hitamælingu frá 1977			
GrB			
	2.00	bar-a	
	235.00	kJ/kg	
	.68	kg/s	
	1100.00	m	
	2.00	W/m/C	
	2800.00	kg/m <sup>3</sup>	
	1000.00	J/kg/C	
	.1000E+08	sec	
1		nu. of well sect.	
1100.0	.090	.000050	25.0
6		nu. of temp. data points	
	.0	10.00	
	50.0	50.00	
	20.0	50.00	
	400.0	70.00	
	800.0	90.00	
	1100.0	102.00	
4		nu. of feedzones	
50.0	.290	.210E+06	
100.0	.070	.210E+06	
225.0	.060	.200E+06	

Á myndum 2 og 3 eru hliðartöflur sem sýna rennsli úr hverri æð. Þannig má t.d. lesa í fyrri myndinni að niður um holutoppinn (sem er í raun 10°C köld æð á 20 m dýpi) koma tæpir 0,3 l/s. Við þá bætast síðan tæpir 0,2 l/s og fara því út í botnæðarnar á 850 og 1100 m samtals tæpur hálfur sekúndulítri af 57 °C heitu vatni. Takið eftir að holan er að hita þennan hálfu skúndulítra úr 34 í 57°C á 600 m bili nánast eingöngu sem varmaskiptir. Þarna leiðast því inn tæp 100 kW af varma eða um 160 W á metrann. Holan hentar því ágætlega sem varmaskiptir, einkum ef tækist að stöðva 10°C heita innrennslið á 20 m og leiða í staðinn u.þ.b. 30°C bakrásarvatn niður í holuna.

Þá er ekki síður athyglivert á mynd 3 að í aðeins 0,25 l/s rennsli náði 850 m æðin að skila 76°C vatnshita upp að 225 m dýpi þar sem innrennsli úr grynri æðum kælir rennslið niður í stökkum. Það vekur upp hugmyndina að e.t.v. er engin þörf á skottdælu í þessari holu, nóg sé að fódra af 20 m æðina og e.t.v. líka æðarnar á 50-100 m. Til að renna stöðum undir slíka reikningar verður fyrst að meta hvaða hlutfall verður á milli vatnsæða í endurfóðraðri holunni. Tafla 3 gefur niðurstöður þess mats, og er þá byggt á myndum 2 og 3.

**Tafla 3:** Mat á innbyrðis gæfni æða í holu 3.

Æðadýpi (m)	Æðahiti (°C)	Höla í sjálfrennsli		Höla í niðurrennsli		Hlutfall æða e.lökun 20 m æðar (%)
		Rennsli (l/s)	Hlutf. (%)	Rennsli (l/s)	Hlutf. (%)	
20	10	0	0	(0.28)	(30)	0
50-100	50	0.36	53	0.10	15	30
225	50	0.06	9	0.06	9	10
625	86		6	0.03	5	10
850	90	0.26	32	-0.47	71	50
Alls		0.68	100	0.66	100	100

Þrátt fyrir nokkuð frjálsglega túlkun í töflu 3, verður ekki annað ráðið af henni en að dýpri æðar holunnar geti skilað ágætum vatnshita og að holan sé vinnsluhæf ef tekst að loka æðinni á 20 m. Ef t.d. er gert ráð fyrir dælingu án varmataps í endurfóðraðri holu niður á 50 m, fæst að blandhiti allra æða yrði (aftasta súlan í töflu 3):

$$\text{Blandhiti} = \left[ 0.50 \cdot 90 + 0.10 \cdot 86 + 0.1 \cdot 50 + 0.3 \cdot 50 \right] = 74^\circ\text{C}$$

Fróðlegt er að nota matið á gæfni æðarinnar í 20 m til að meta hita vatnsins sem kom upp að henni í hinum ýmsu dæluprófunum. Tafla 4 gefur yfirlit um þetta:

**Tafla 4:** Áætlaður blandhiti vatns neðan kaldrar æðar holu 3 í ýmsum dæluprófunum. Gert er ráð fyrir 30-40% framlagi 10°C heitrar æðarinnar á 20 m dýpi í öllum tilvikum.

Prófun	Magn og hiti á toppi	Blandhiti neðan 20 m æðar, °C	Rennsli neðan 20 m æðar (l/s)	Niðurdráttur (m)
Loftd. í borlok	10 l/s af 50°C	67-77	6-7	
Loft. e. borun	3.5 l/s af 53°C	71-82	2.1-2.5	60
Dæluprófun	5 l/s af 40°C	53-60	3-3.5	35
Dæluprófun	3 l/s af 34°C	46-50	1.8-2.1	27

Athugið að tafla 4 gefur mjög ólík hitagildi eftir því hvort byggt er á prófunum strax eftir borun annars vegar (70-80 °C) eða í dæluprófi frá 1987 (46-60°C). Þetta þarf ekki að koma á óvart þar sem neðri hluti holunnar er fullheitur og í upprennslu í fyrri prófununum tveimur en kaldur og í niðurrennsli í seinni prófuninni. Þá sýnist sem 10-20 m niðurdráttur fylgi hverjum sekúndulíttra sem dæla á.



Rétt er að ítreka að gildin í töflum 3 og 4 byggja á skammtímaprófunum. Er t.d. óþekkt hvort innbyrðis hlutfall æða haldist í langtímaþinnslu. Eins er óvíst hvort vinnsla úr heitu æðinni á rúmum 800 m, auki vinnslugeta Laugalandssvæðisins eða hreinlega minnki vinnslugetu holu 4 um sama magn. Hitt þykir víst að endurfóðruð holan geti þjónað vel sem toppafishola, og nokkrar líkur eru á að hún geti annað heimanotkun á Laugalandi árið um kring. Í ljósi batnandi vonar um að hola 3 sé vinnsluhæf er því lagt til að holan verði dæluprófuð með það að takmarki að möguleikinn á kringum 70 °C vinnsluhita sé staðfestur. Til að það megi verði þarf að leggja 2" rör niður með holudælunni svo hægt sé að hitamæla holuna í rennsli og meta þannig rennsli úr hverri æð. Eins má nefna að teljist bráð þörf á viðbótarvatni á Laugalandi, er möguleiki að vinna holu 3 með tveimur dælum. Er rennslið úr þeirri efri þá stillt þannig að hún taki rétt rúmlega vatnsmagnið sem kalda æðin á 20 m skilar inn.

## Niðurstaða

Helsta niðurstöður umfjöllunar um mögulega heitavatnsvinnslu úr holu 3 á Laugalandi í Holtum eru:

1. Holan gaf og gefur enn upp undir 10 l/s í heildarrennsli með skaplegum niðurdrætti.
2. Köld og súrefnisrík vatnsæð á einungis 20 m dýpi er höfuðskýring þess að holan kemur illa út í prófunum, hvað varðar hita og efnainnihald. Er talið að hún skili 30-40 % af heildarrennslinu.
3. Ef allar dýpri æðar holunnar stæðu í upphafshita má áætla blandhita úr þeim upp á kringum 70 °C.
4. Langvarandi niðurrennsli til bestu djúpu æðarinnar á rúmlega 800 m dýpi getur þýtt að töluverðan tíma taki að hreinsa hrollinn úr henni í langtímadælingu.
5. Lagt er til að holan verði dæluprófuð og hita- og þrýstiferlar mældir samtímis niðri í holunni. Með því fæst betra mat á innbyrðis gæfni æða og forsendur fyrir endurfóðrun og virkjun holunnar.
6. Óvíst er að hve miklu leyti dæling úr endurfóðraðri holunni skili til heildarvinnslugetu Laugalandssvæðisins. Í öllu falli ætti hún að þjóna vel sem toppafl í kulda-köstum.

*Orkustofnun, 23. desember 1998*  
*Grímur Björnsson*

## Heimildir

- Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993: *Hitaveita Rangæinga. Jarðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun*. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03'B, 74 s.
- Grímur Björnsson, 1987: *A multi-feedzone geothermal wellbore simulator*. Mastersritgerð frá University of California, Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory, 102 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson, Margrét Kjartansdóttir og Einar Gunnlaugsson, 1978: *Laugaland í Holtum. Jarðhitakönnun og borun holu 3*. Orkustofnun, OS-JHD-7802, 53 s.
- Sæþór L. Jónsson, 1987: *Dæluprófun holu LN-3 Laugalandi í Holtum*. Orkustofnun, greinargerð, SLJ-87/3.