



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

Hitaveita Rangæinga

**Eftirlit með jarðhitavinnslu á Laugalandi
í Holtum og í Kaldárholti árið 2002**



**Guðni Axelsson
Vigdís Harðardóttir**

Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga

2003

OS-2003/029

Guðni Axelsson
Vigdís Harðardóttir

Hitaveita Rangæinga

**Eftirlit með jarðhitavinnslu
á Laugalandi í Holtum og
í Kaldárholti árið 2002**

Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga

OS-2003/029

Maí 2003



Skýrsla nr.: OS-2003/029	Dags.: Maí 2003	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Hitaveita Rangæinga Eftirlit með jarðhitavinnslu á Laugalandi í Holtum og í Kaldárholti árið 2002	Upplag: 30	Fjöldi síðna: 20
Höfundar: Guðni Axelsson Vigdís Harðardóttir	Verkefnisstjóri: Guðni Axelsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Árlegt vinnslueftirlit	Verknúmer: 8-610861	
Unnið fyrir: Hitaveitu Rangæinga		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: <p>Gerð er grein fyrir eftirliti með jarðhitavinnslu Hitaveitu Rangæinga árið 2002. Meðalvinnsla var 11,2 L/s á Laugalandi og 20,5 L/s í Kaldárholti. Nettóorkuvinnslan var 51 GWh, sem er 5% aukning frá 2001. Vatnsborð var á 70 – 80 m dýpi á Laugalandi í lok árs 2002 og hefur mikið hækkað frá því árið 2000 vegna minni vinnslu og niðurdælingar. Engin lækking vatnsborðs varð milli árána 2001 og 2002 í holu KH-36 í Kaldárholti. Niðurdæling í holu GN-1 á Laugalandi var um 3,1 L/s að meðaltali árið 2002, um 27% þess sem upp var tekið. Kólnun holu LWN-4 er enn óveruleg og helst talið að niðurdælingarvatnið hríslist betur um heitt bergið en ráð var fyrir gert og/eða að rennislisleiðir vatnsins hafi breyst þegar vinnsla minnkaði og/eða við jarðskjálftana 2000. Telja má víst að niðurdælingin muni valda einhverri kólnun er frá líður, og því er rétt að halda niðurdælingunni í hófi og fylgjast áfram vel með vatnshita og efnainnihaldi. Nokkrar efnabreytingar hafa orðið í holu LWN-4 á Laugalandi síðan á árinu 2000, sem að mestu leyti má rekja til niðurdælingar efnasauðara vatns frá Kaldárholti. Örlítil hækking á kísilstyrk er í mótsögn við það og gæti það verið fyrir áhrif jarðskjálftanna sumarið 2000 og/eða minni vinnslu síðan þá. Ekki hafa orðið verulegar efnabreytingar í holu KH-36 í Kaldárholti á 3ja ára vinnslusögu hennar.</p>		
Lykilorð: Hitaveita, eftirlit, vinnsla, efnasamsetning, vatnsborð, niðurdæling, Laugaland í Holtum, Kaldárholt	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra:	
	Yfirfarið af: PI	

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. ORKUVINNSLA, NIÐURDÆLING, VATNSBORÐS- OG HITABREYTINGAR	5
3. EFNAINNIHALD.....	12
3.1. Efnasamsetning vatns úr holu LWN-4.....	12
3.2. Efnasamsending vatns í holu KH-36	17
4. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR.....	19
5. HEIMILDIR	20

TÖFLUR

Tafla 1. <i>Upplýsingar um jarðhitavinnslu Hitaveitu Rangæinga 1982 – 2002.</i>	6
Tafla 2. <i>Efnasamsetning vatns úr holu LL-4.</i>	13
Tafla 3. <i>Efnasamsetning vatns úr holu KH-36.</i>	18

MYNDIR

Mynd 1. <i>Vatnsborð í holum LWN-4 og GN-1 ásamt vinnslu, ág. 2000– apríl 2003.</i>	7
Mynd 2. <i>Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982.</i>	8
Mynd 3. <i>Hiti vatns úr LWN-4 skv. mælingum hitaveitunnar og vinnsla á Laugalandi frá 1987.</i>	9
Mynd 4. <i>Ársmeðalhiti vatns úr holu LWN-4 ásamt óvissu (\pmeitt staðalfrávik).</i>	9
Mynd 5. <i>Hitamæling úr holu GN-1, mæld rúmum tveimur árum eftir að niðurdæling hófst, ásamt áætluðum upphaflegum berghita við holuna.</i>	10
Mynd 6. <i>Vikumeðalvinnsla og vikulegar vatnsborðsmælingar fyrir holu KH-36 í Kaldárholti fyrstu þrjú ár vinnslusögu holunnar.</i>	11
Mynd 7. <i>Hiti vatns úr holum LL-04 og KH-36, frá 1980 til 2003.</i>	14
Mynd 8. <i>Breytingar á styrk kísils með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.</i>	14
Mynd 9. <i>Breytingar á styrk klóríðs með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.</i>	15
Mynd 10. <i>Breytingar á styrk natríums með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.</i>	15
Mynd 11. <i>Breytingar á styrk flúors með tíma í vatni í holum LL-4 og KH-36.</i>	16
Mynd 12. <i>Kalkmettun vatns úr holum LL-4 og KH-36, 1995 – 2003.</i>	16
Mynd 13. <i>Samband klóríðs og súrefnissamsæta í vatni í holum LL-4 og KH-36.</i>	17

1. INNGANGUR

Í skýrslu þessari er fjallað um eftirlit með jarðhitavinnslu Hitaveitu Rangæinga árið 2002. Verkið er unnið samkvæmt samningi Hitaveitunnar og Orkustofnunar frá 1989, og síðan 1991 hafa slíkar skýrslur verið gefnar út árlega (sjá heimildarlista í skýrslulok). Í skýrslunni er tekið saman yfirlit um orkuvinnsluna á vinnslusvæðum veitunnar á Laugalandi og Kaldárholti í Holtum og áhrif vinnslunnar á vatnsborð og vatnshita. Þá er fjallað um efnasamsetningu vatns úr vinnsluholum og túlkaðar breytingar, sem orðið hafa á henni, ef þær eru einhverjar.

Eins og kemur fram í vinnslueftirlitsskýrslum síðustu tveggja ára urðu mikil umskipti í orkubúskap Hitaveitu Rangæinga við tengingu Kaldárholtssvæðisins við hitaveituna í byrjun árs 2000, en orkubúskapurinn hafði staðið tæpt árum saman vegna mikils niðurdráttar vatnsborðs á Laugalandi í Holtum (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2001 og 2002). Nú er geta veitunnar til orkuframleiðslu töluvert umfram eftirspurn á veitusvæði hennar, sem þó fer stækkandi. Þá hefur endurnýjun aðveituaðar veitunnar stórbætt nýtingu heita vatnsins auk þess sem niðurdæling hluta vatnsins frá Kaldárholti í holu GN-1 í Götu hefur einnig haft jákvæð áhrif, því við það hækkar vatnsborð á Laugalandi.

2. ORKUVINNSLA, NIÐURDÆLING, VATNSBORÐS- OG HITABREYTINGAR

Hitaveita Rangæinga nýtir holur LWN-4 á Laugalandi og holu KH-36 í Kaldárholti sem vinnsluholur og holu GN-1 í Götu (á Laugalandssvæðinu) sem vara- og niðurdælingarholu. Nákvæmt eftirlit hefur verið með vinnslu, vatnsborði og vatnshita mestalla vinnslusögu Hitaveitu Rangæinga. Eftirlitið hefur byggt á vikulegum mælingum Hitaveitunnar síðustu tuttugu ár eða svo, auk mælinga sjálfvirks gagnasöfnunarbúnaður sem starfræktur var í nokkur ár. Unnið er að enduruppbyggingu þess búnaðar bæði á Laugalandi og í Kaldárholti, því slíkur búnaður gefur samfelldar, og miklu ítarlegri, upplýsingar. Vikulega er lesið af rennslismælum við holur LWN-4 og GN-1 og vatnsborð og vatnshiti mæld samtímis. Eftirlitið í Kaldárholti er með sama sniði. Þá er sérstakur rennslismælir fyrir niðurdælinguna í holu GN-1. Rennslismælir við holu LWN-4 var reyndar bilaður í nokkrar vikur sumarið 2002, en vinnslan fyrir það tímabil hefur verið áætluð.

Í töflu 1 eru birtar tölur um ársmeðalvinnslu (rúmmál og orku) Hitaveitu Rangæinga árin 1982 – 2002. Í töflunni eru upplýsingar um vinnsluna á Laugalandi og í Kaldárholti auk upplýsinga um niðurdælinguna í holu GN-1. Á Laugalandi var meðalvinnsla ársins 2002 aðeins 11,2 L/s, sem er um 63% af vinnslunni 1999, árinu áður en nýting Kaldárholtis jókst. Meðalvinnslan í Kaldárholti mældist hins vegar 20,5 L/s. Meðalniðurdæling ársins í holu GN-1 mældist 3,1 L/s. Nettóvinnsla ársins 2002 er því rúmlega 28 L/s, sem er lítið eitt meira en árið áður.

Orkuvinnslan á Laugalandi var tæplega 27 GWh árið 2002 (Tafla 1), en orkuvinnslan í Kaldárholti var mun meiri, eða um 29 GWh. Heildarorkuvinnsla Hitaveitu Rangæinga árið 2002 telst því hafa verið rúmlega 51 GWh, eftir að 4,0 GWh hafa verið dregnar frá vegna niðurdælingarinnar (Tafla 1). Þetta er um 5% meiri orkuvinnsla en árið áður, væntanlega vegna fjölgunar notenda. Það má nefna að núverandi orkuvinnslutölur

endurspeglar mun betur orkuvinnslu og orkunotkun Hitaveitu Rangæinga en eldri tölur, því orkutap í aðveituæð er orðið smávægilegt og engin orka er lengur framleidd í kyndistöðinni á Hvolsvelli. Endurbætur á aðveituæðinni hafa í raun skilað sér sem jafngildi verulegrar viðbótarorku.

Tafla 1. *Upplýsingar um jarðhitavinnslu Hitaveitu Rangæinga 1982 – 2002.*

Ár	Laugaland í Holtum				Kaldárholt		Heildar- orkuvinnsla
	Vinnsla		Niðurdæling		Vinnsla		
	L/s	GWh ²⁾	L/s	GWh ²⁾	L/s	GWh ²⁾	GWh ²⁾
1982	7,4	17,8					17,8
1983	19,4	46,6					46,6
1984	19,1	46,0					46,0
1985	21,8	52,4					52,4
1986	21,1	50,7					50,7
1987	19,4	46,6					46,6
1988	18,5	44,6					44,6
1989	17,6	42,3					42,3
1990	16,6	39,9					39,9
1991	16,7	40,1					40,1
1992	18,0	43,4					43,4
1993	16,6	39,9					39,9
1994	16,9	40,6					40,6
1995	16,6	39,9					39,9
1996	16,6	39,6					39,6
1997	16,8	39,6					39,6
1998	17,5	41,6					41,6
1999	17,9	42,5					42,5
2000	13,0	31,0	2,8	-3,5	20,0	28,2	55,7
2001	10,2	23,6	3,5	-4,5	21,2	29,8	48,9
2002 ¹⁾	11,3	26,5	3,1	-4,0	20,5	28,8	51,3

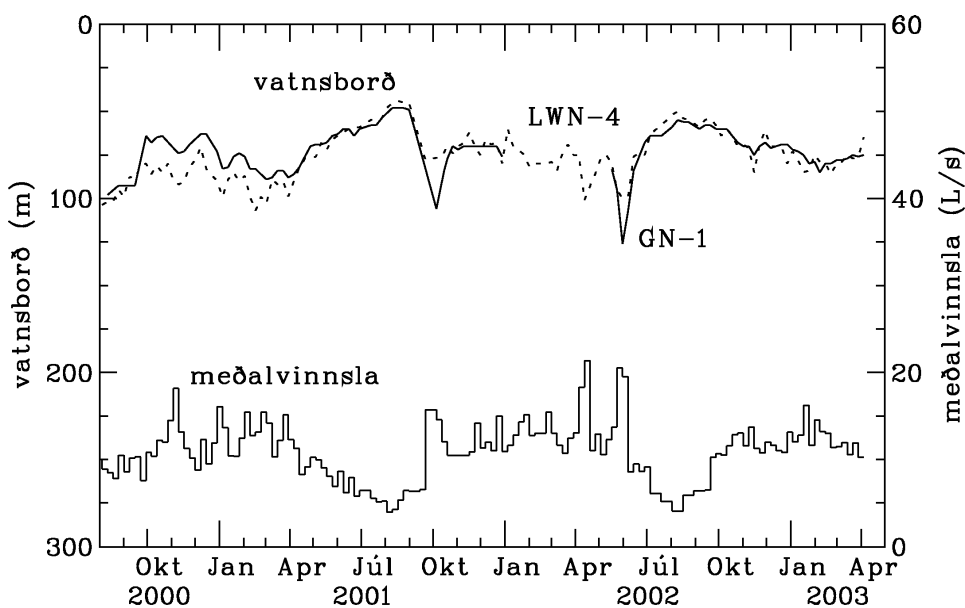
1) Vinnsla úr LWN-4 í tvo mánuði síðsumars áætluð v. bilunar í rennismæli

2) Miðað við nýtingu í 30°C

Eftir að orkuvinnsla hófst í Kaldárholti var strax byrjað að láta nokkuð af Kaldárholtsvatni renna niður (niðurdæling) í holu GN-1 á Laugalandi, en möguleikarnir á því að nota niðurdælingu til þess að hækka vatnsborð á Laugalandi höfðu þá lengi verið til umræðu (Grímur Björnsson o.fl., 1993; Guðni Axelsson, 1998). Í fyrstu var takmörkuðu magni dælt niður, en eftir að vatnsborð lækkaði mikið við stóra skjálftann 17. júní 2000 var niðurdælingin aukin (Hrefna Kristmannsdóttir, 2000). Hún hefur síðan verið minnkuð aftur. Meðalniðurdæling ársins 2002 er um 3,1 L/s, sem er rúmlega 1/4 þess rúmmáls sem upp var tekið á árinu á Laugalandi. Það er hlutfallslega aðeins minna en árið 2001. Niðurdælingin svarar til um 4,0 GWh í orku. Samkvæmt líkan-

reikningum (svartsýnum reyndar) ætti hola LWN-4 að hafa kólnað nokkuð við þessa niðurdælingu, en þess hefur þó enn ekki orðið vart eins og vikið verður að hér á eftir.

Gögn um vikumeðaldælingu síðustu tveggja ára á Laugalandi, ásamt vatnsborði í holum LWN-4 og GN-1, eru birt á mynd 1. Eins og áður var hola LWN-4 aðalvinnsluholan þar árið 2002. Þó var hola GN-1 notuð í nokkrar vikur á árinu, bæði með holu LWN-4 þegar dælan í holu KH-36 í Kaldárholti var stopp og eins þegar dælan í holu LWN-4 var síkkuð í 180 m dýpi. Árið 2002 var vikumeðalvinnslan á Laugalandi mest um 21 L/s um miðjan apríl þegar dælan í KH-36 var stopp. Minnst er vikumeðalvinnslan áætluð um 4 – 5 L/s síðsumars. Eins og sést á myndinni var vinnslan árið 2002 mjög sambærileg vinnslunni árið 2001.

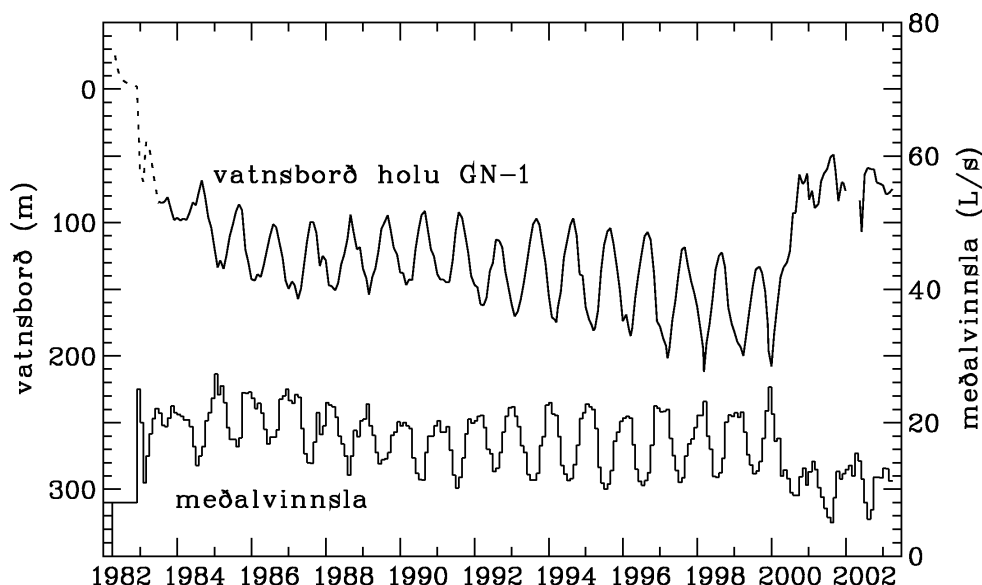


Mynd 1. Vatnsborð í holum LWN-4 (----) og GN-1 (—) ásamt vinnslu, ágúst 2000 til apríl 2003.

Myndir 1 og 2 sýna vatnsborðsbreytingar á jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum. Sú fyrrnefnda sýnir breytingarnar tímabilið ágúst 2000 til apríl 2003 í báðum holunum og vinnslu á sama tíma, en sú síðarnefnda sýnir gögn um vatnsborð, mælt í holu GN-1, og vinnslu á jarðhitasvæðinu allt frá árinu 1982. Í upphafi árs 2000 var vatnsborð komið mjög neðarlega í holu LWN-4 en hefur síðan hækkað um 140-150 m, ef miðað er við áramótin 2002/2003. Þessi hækkun er annars vegar vegna minni vinnslu á Laugalandi og hins vegar vegna niðurdælingarinnar í holu GN-1, sem er í raun jafngildir enn minni vinnslu. Í lok ársins 2002 var vatnsborð á 70 – 80 m dýpi í holu LWN-4, nokkurn veginn sama dýpi og árið áður.

Eins og áður hefur verið bent á er hugsanlegt að lekt hafi eitthvað aukist í jarðhita-kerfinu á Laugalandi við skjálftana sumarið 2000, þegar sprungur hafa hreyfst og hugsanlega opnast betur. Nú ættu að vera tiltæk gögn til þess að leggja fyrsta mat á það.

Því er orðið tímabært að endurskoða líkanið, sem notað hefur verið til hermireikninga fyrir jarðhitakerfið á Laugalandi og til þess að reikna vatnsborðsspár. Þeir reikningar gætu svarað því hvort lektin í kerfinu hafi aukist, en einnig spáð fyrir um vatnsborðstöðuna næstu árin.

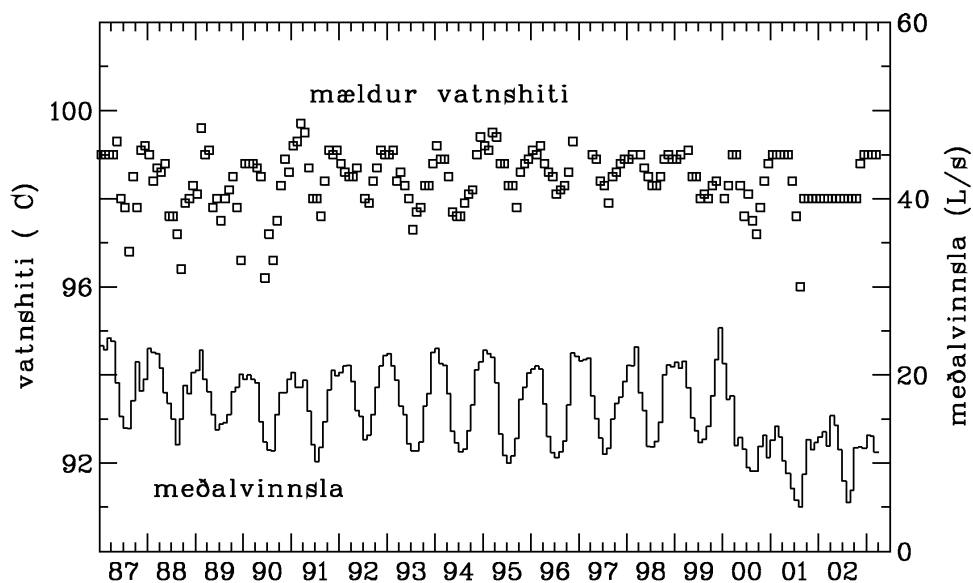


Mynd 2. Vatnsborð og vinnsla á Laugalandi frá 1982.

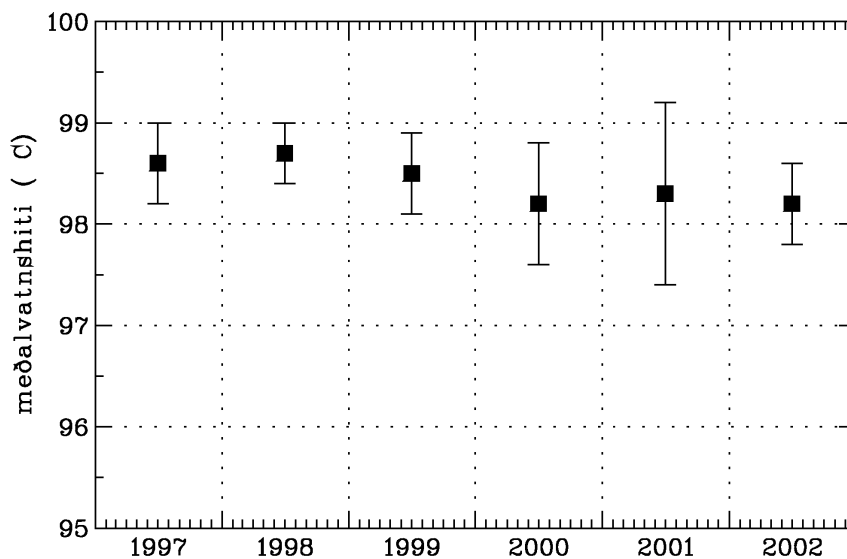
Mynd 3 sýnir mánaðarlegan meðalhita vatns úr holu LWN-4 á Laugalandi frá því um áramótin 1986/1987, samkvæmt mælingum Hitaveitunnar, en síðan þá er talið að mælingarnar hafi verið nokkurn veginn sambærilegar. Frá því haustið 2001 hefur vatnshitinn ekki verið lesinn með eins mikilli nákvæmni og áður (upp á 1°C í stað $0,1^{\circ}\text{C}$), en það sem aðallega einkenndi hitamælingarnar fram að því var ársveifla, sem stafaði af mismikilli kólnun vatns á leið upp holuna. Fyrir utan sveiflurnar virðast varla hafa orðið marktæk breyting á hita vatnsins úr LWN-4 á þeim tíma, sem myndin nær yfir. Síðustu þrjú árin reiknast þó meðalvatnshitinn um $98,2^{\circ}\text{C}$, sem er um $0,4^{\circ}\text{C}$ lægri meðalvatnshiti en árin þar á undan. Þetta sést á mynd 4, sem sýnir meðalvatnshita síðustu 6 ára ásamt óvissumörkum. Þar sést að þessi $0,4^{\circ}\text{C}$ lækkun er innan óvissumarkanna, en ef lækkunin er raunveruleg þá er það væntanlega vegna minni dælingar, en einnig gæti niðurdælingin hafa haft áhrif til lækkunar.

Allavega er ljóst er að áhrif niðurdælingarinnar í holu GN-1 á vatnshita holu LWN-4 eru enn óverulega, en því var spáð að niðurdæling 2,5 L/s af vatni frá Kaldárholti myndi valda meira en 3°C kólnun á innan við ári (Guðni Axelsson, 1998). Spáreikningarnir byggðu reyndar á svartsýnu líkani, sem gerði ráð fyrir að niðurdælingarvatnið dreifðist lítið um bergið. Sennilegt er að ein eða fleiri eftirtalinna skýringa eigi hér hlut að máli: (a) Að niðurdælingarvatnið dreifist betur um bergið en ráð var fyrir gert, (b) að rennsli í jarðhitakerfinu hafi breyst þegar vinnslan minnkaði í byrjun 2000, um leið og niðurdælingin hófst og/eða (c) að jarðskjálftarnir hafi opnað nýjar rennislíleiðir fyrir vatnið.

Mynd 5 sýnir hitamælingu sem gerð var 10. maí 2002, rúmum tveimur árum eftir að niðurdælingin hófst. Þar sést að holan er kæld alveg til botns og vatnið virðist því fara út úr holunni um nokkrar misdjúpar vatnsæðar og þar með hríslast vel um bergið í jarðhitakerfinu.

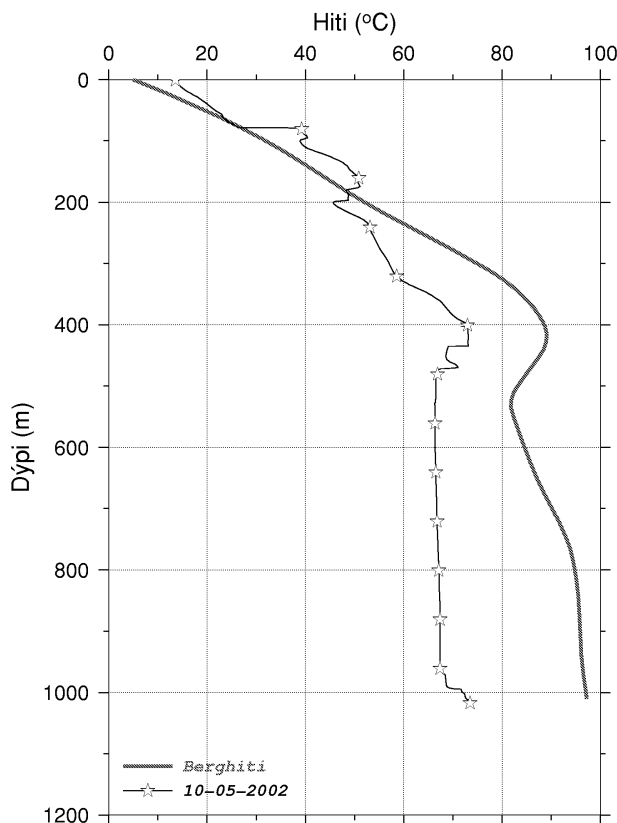


Mynd 3. Hiti vatns úr LWN-4 skv. mælingum hitaveitunnar og vinnsla á Laugalandi frá 1987.



Mynd 4. Ársmeðalhiti vatns úr holu LWN-4 ásamt óvissu (\pm eitt staðalfrávik).

Lítill eða óveruleg kólnun er jákvæð niðurstaða, en öruggt má þó telja að niðurdælingin muni valda kólnun er frá líður, því ummerki hennar sjást vel í efnainnihaldi vatnsins úr holu LWN-4 (sjá hér á eftir). Því er mikilvægt að hafa niðurdælinguna áfram hóflega auk þess að fylgst sé mjög nákvæmlega með vatnshitanum. Rétt væri að endurmeta kólnunarspána samtímis endurskoðun vatnsborðshermireikninganna, sem nefnd er hér að ofan, m.a. á grundvelli gagnanna um breytingar í efnastyrk.

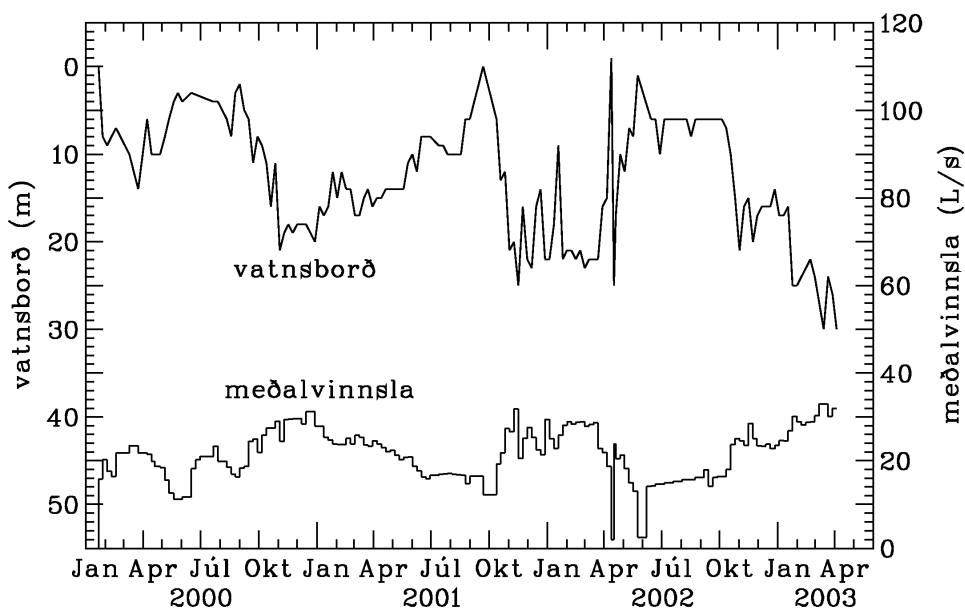


Mynd 5. Hitamæling úr holu GN-1, mæld rúmum tveimur árum eftir að niðurdæling hófst, ásamt áætluðum upphaflegum berghita við holuna (Grímur Björnsson o.fl., 1993).

Að síðustu sýnir mynd 6 gögn um vinnslu og vatnsborð í Kaldárholti frá janúar 2000 til apríl 2003. Hola KH-36 var nýtt allt árið, að undanskildum tveimur hléum vegna viðgerða í apríl og kringum mánaðarmótin maí/júní. Mest var vikumeðalvinnslan árið 2002 rúmlega 29 L/s fyrstu viku ársins, en minnst um 13 L/s, ef dæluhléin eru undanskilin. Á myndinni sést hvernig vatnsborð sveiflast í takt við vinnslunni. Árið 2002 fór það lægst í 25 m dýpi eftir dæluhléið í apríl, en holan fór í sjálfrennsli (2–3 L/s) í áður nefndum tveimur hléum. Vatnsborð í holu KH-36 fór reyndar niður í 30 m dýpi í mars og apríl 2003, sem er það dýpsta sem vatnsborð í holunni hefur farið, enda fór vinnslan þá í 32 – 33 L/s.

Þrýstingur hækkaði mikið í jarðhitakerfinu í Kaldárholti við jarðskjálftana í júní 2000, öfugt við það sem gerðist á Laugalandi, en gekk svo fljótt til baka (Hrefna Kristmannsdóttir, 2000). Ekki er ljóst hvort afköst jarðhitakerfisins jukust varanlega við þessar miklu jarðskorpuhreyfingar, en erfitt verður að meta það vegna þess hve stutt vinnslusaga Kaldárhólts fyrir skjálftann er.

Eins og áður hefur verið bent á þá eru afköst holu KH-36 enn meiri en áætlað var á grundvelli loftdælingar í borlok (Vigdís Harðardóttir o.fl., 1999; Hrefna Kristmannsdóttir, 2000). Ástæður þess eru væntanlega minni langtímaniðurdráttur í jarðhitakerfinu en reiknað var með auk þess sem jarðskjálftarnir hafa hugsanlega aukið eitthvað lekt jarðhitakerfisins. Lagt er til að nýjar vatnsborðsspár fyrir holu KH-36 og jarðhitakerfið í Kaldárholti verði reiknaðar nú þegar þriggja ára vinnslu- og vatnsborðssaga liggur fyrir.



Mynd 6. Vikumeðalvinnsla og vikulegar vatnsborðsmælingar fyrir holu KH-36 í Kaldárholti fyrstu þrjú ár vinnslusögu holunnar.

Hitastig vatnsins sem dælt var upp í Kaldárholti hélst stöðugt um 69°C, en rétt er að ítreka það að nokkur hætta er á kólnun vatns úr jafn vel opnu jarðhitakerfi og kerfinu í Kaldárholti, vegna niðurstreymis kaldara vatns. Því verður mikilvægt að fylgjast vel með efnainnihaldi vatnsins, en breytingar á því gætu varað við slíkum breytingum í tíma. Ekki þarf að minn á mikilvægi áframhaldandi nákvæms vinnslueftirlits á báðum vinnslusvæðum Hitaveitu Rangæinga. Eftirlitið mun styrkjast mikið eftir að uppsetningu/endurnýjun sjálfvirks gagnasöfnunarbúnaðar lýkur á báðum svæðunum.

3. EFNAINNIHALD

Árið 2002 voru efnasýni ekki tekin hjá Hitaveitu Rangæinga að haustinu eins og oftast hefur verið undanfarin ár. Í staðinn voru sýnin tekin í febrúar 2003, en þá voru tekin heilsýni úr vinnsluholunum að Laugalandi (LWN-4) og í Kaldárholti (KH-36). Uppleyst súrefni (O_2) var mælt á staðnum og títrað var fyrir brennisteinsvetni (H_2S). Að auki var súrefni mælt í vatni úr miðlunartönkunum á Laugalandi og í Kaldárholti og í brunni 23 við Ytri Rangá. Niðurstöður efnagreininganna eru sýndar í töflum 2 og 3. Ekki náðist að greina efnin Al, Mn né Fe fyrir ritun þessarar skýrslu.

3.1. Efnasamsetning vatns úr holu LWN-4

Reglubundið eftirlit með efnainnihaldi á Laugalandi hefur staðið yfir í meira en áratug, en aðeins eru sýndar heildarefnagreiningar frá árunum 1996 í töflu 2, auk þess sem styrkur nokkura efna er teiknaður á móti tíma og sýndur á myndum 7 – 11.

Hitinn í holu LWN-4 við sýnatöku hefur verið nokkuð stöðugur í gegnum tíðina eða á bilinu 95 – 100°C eins og sjá má á mynd 7, en örlitlar hitabreytingar eru þó sjáanlegar, líklegast vegna breytilegrar vinnslu. Mynd 8 sýnir styrk kísils, sem hefur að jafnaði verið um 95 - 100 ppm undanfarin ár, en það er í góðu samræmi við hitann í holunni. Örlítill hækking í kísilstyrk síðustu árin, sem þó er á mörkum þess að teljast marktæk, er athyglisverð og verður fjallað nánar um hér að neðan. Styrkur klóríðs lækkaði allverulega árið 2000 vegna niðurdælingar vatns frá Kaldárholti í holu GN-1, en nú virðist sem jafnvægi sé að komast á eins og sjá má á mynd 9. Natríum er einnig eitt af þeim efnum sem hefur sýnt miklar breytingar vegna niðurdælingarinnar, en það hefur ekki enn náð jafnvægi eins og sjá má á mynd 10. Styrkur flúors hefur þegar náð jafnvægi eins og sjá má á mynd 11.

Styrkur kalsíums var hæstur árið 1998, eða um 3,2 ppm, en hann lækkaði svo niður í 2,3 ppm árið 2000. Síðastliðin tvö ár hefur styrkur kalsíums verið sá sami, eða um 2,5 ppm, og mettnarstig kalks, sem er mælikvarði á hættuna á útfellingu kalks, hefur einnig staðið í stað eins og sjá má á mynd 12. Ekki er talin hætta á útfellingum nema að mettnin fari yfir 0,4 (brotna línan).

Síðasta myndin (mynd 13) sýnir hlutfall seltu (Cl) og súrefnissamsætna í vatni úr báðum holunum. Þar má sjá áhrif blöndunar vatns úr Kaldárholti við vatn í holu LWN-4. Klóríðstyrkur vatns í holu LWN-4 er um 50 ppm og $\delta^{18}O$ um $-10,5\%$ og þegar vatnið frá Kaldárholti, sem er kaldara og einnig með lægri klóríðstyrk og þyngra (Cl um 20 ppm, $\delta^{18}O$ um $-9,7\%$), blandast vatninu í LWN-4, þá falla gildin mitt á milli.

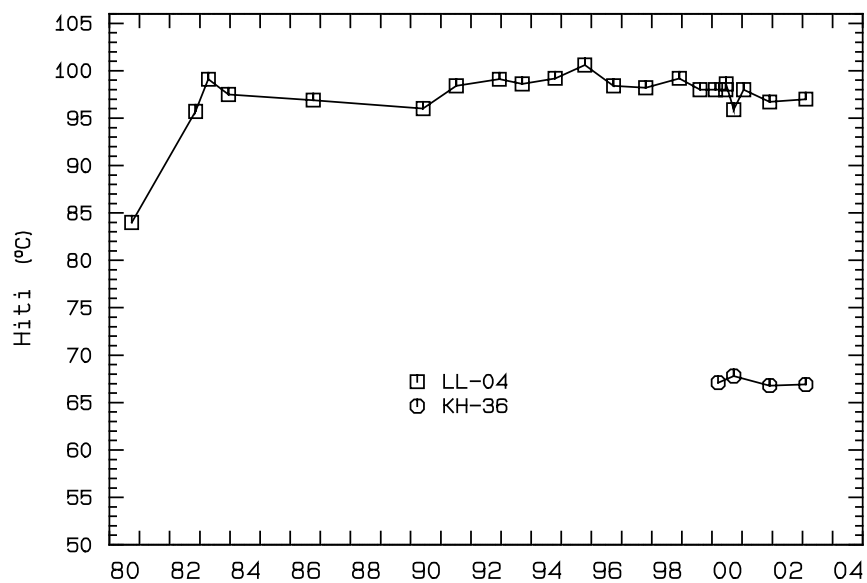
Niðurdæling vatns í holu GN-1 frá árinu 2000, auk jarðskjálftanna það sama ár, breyttu efnasamsetningu vatnsins úr holu LWN-4 þó nokkuð eins sjá má í töflu 2 og á myndunum og fjallað hefur verið um í skýrslum síðustu ára (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000 og 2002). Styrkur nokkurra efna virðist hafa breyst til frambúðar og má þar nefna brennisteinsvetni, kalíum, kalsíum, klór og súlfat sem öll eru nú í lægri styrk en áður. Eina efnið sem öruggt er að sé í hærri styrk er flúoríð, auk súrefnis- og vetnissamsætanna. Styrkur kísils er nær óbreyttur og bendir það til þess að varminn í jarðhitageymnum nái enn að hita niðurdælingarvatnið upp. Hann hefur reyndar jafnvel

hækkað örlítið, annað hvort fyrir áhrif jarðskjálftanna eða minni vinnslu. Ekki er hægt að segja nákvæmlega til um breytingar á styrk efnanna Al og Fe, en þó má leiða líkum að því að styrkur þeirra hafi einnig aukist lítillega.

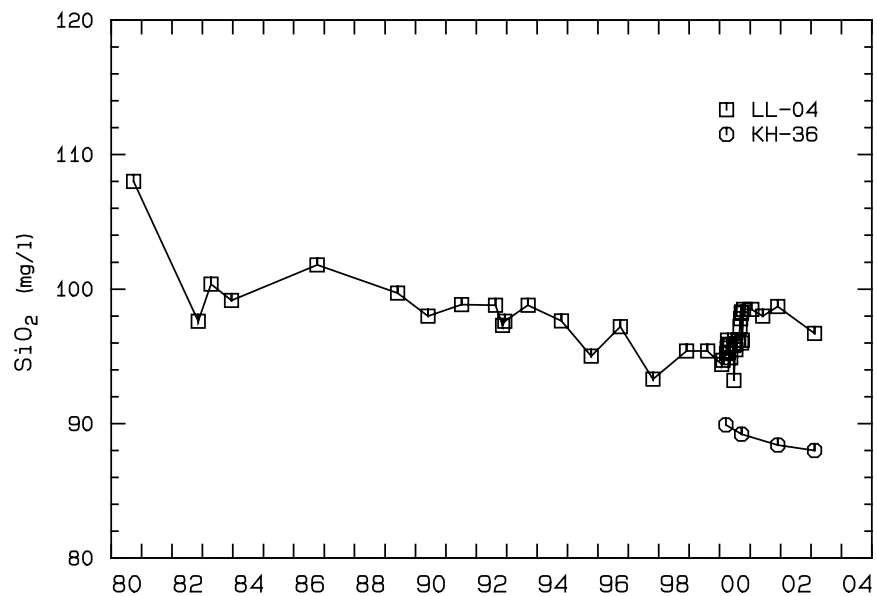
Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu LL-4.

Sýnanúmer Dagsetning	1996-0283 96-09-25	1997-0649 97-10-21	1998-0625 98-12-01	1999-0254 99-08-09	2000-0337 00-09-20	2001-0444 01-11-30	2003-0020 2003-02-12
Hitastig °C	98,4	98,2	99,2	98	95,9*	96,7	97
pH/°C	9,9/22	9,8/22	9,8/22	9,8/23	9,9/23	9,82/23	9,9/23
Heildar karbónat(CO ₂)	21,0	22,1	22,5	20,9	22,8	20,2	21,7
Brennist. vetni (H ₂ S)	0,13	0,12	0,11	0,12	0,20	0,11	0,04
Bór (B) mg/l	0,33	0,19	0,25	0,26	0,24	0,25	0,21
Leiðni µS/cm	462	472	472	470	386	427	424
Kísill (SiO ₂) mg/l	97,2	95,3	95,4	95,4	98,3	98,7	96,7
Heildar uppl. mg/l	307	309	333	358	245	321	322
Súrefni O ₂ mg/l	0	0	0	0	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	92,8	93,5	94,4	94,7	79,4	84,7	87,8
Kalíum (K) mg/l	1,7	1,8	1,8	1,8	1,49	1,64	1,62
Magnesíum (Mg) mg/l	0,003	0,001	0,002	0,003	0,013	0,008	0,002
Kalsíum (Ca) mg/l	3,0	3,0	3,2	3,08	2,30	2,52	2,52
Flúoríð (F) mg/l	0,86	0,86	0,86	1,0	1,20	1,19	1,14
Klóríð (Cl) mg/l	46,5	49,4	49,0	51,2	35,2	40,5	39,7
Súlfat (SO ₄) mg/l	65,9	66,5	69,8	71,9	44,4	58,4	55,9
Ál (Al) mg/l	0,191	0,212	0,197	0,205	0,27	0,228	**
Járn (Fe) mg/l	0,008	0,0017	0,0041	0,0022	0,054	0,02	**
Mangan (Mn) mg/l	0,0001	0	0	0,001	0,0006	0,000183	**
δD ‰	-	-77,4	-77,1	-77,1	-74,1	-75,2	-73,7
δ18O ‰	-10,57	-10,53	-10,55	-10,55	-10,21	-10,41	-10,39

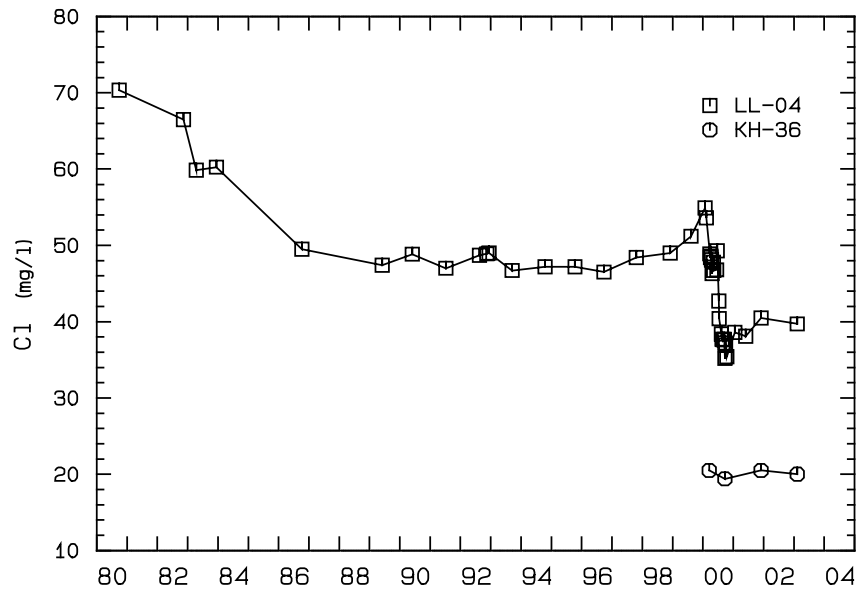
* Hanna-mælir ** ógreint.



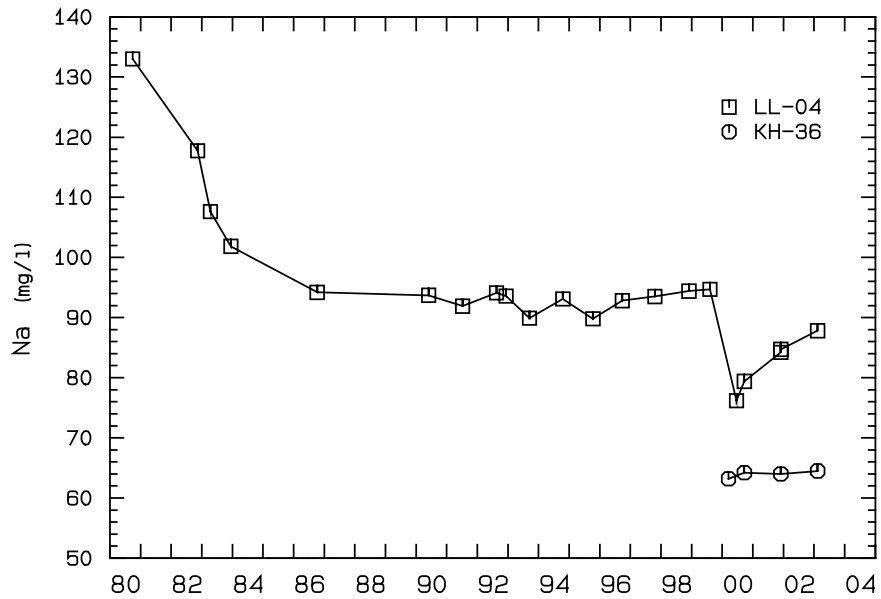
Mynd 7. Hití vatns úr holum LL-04 og KH-36, frá 1980 til 2003.



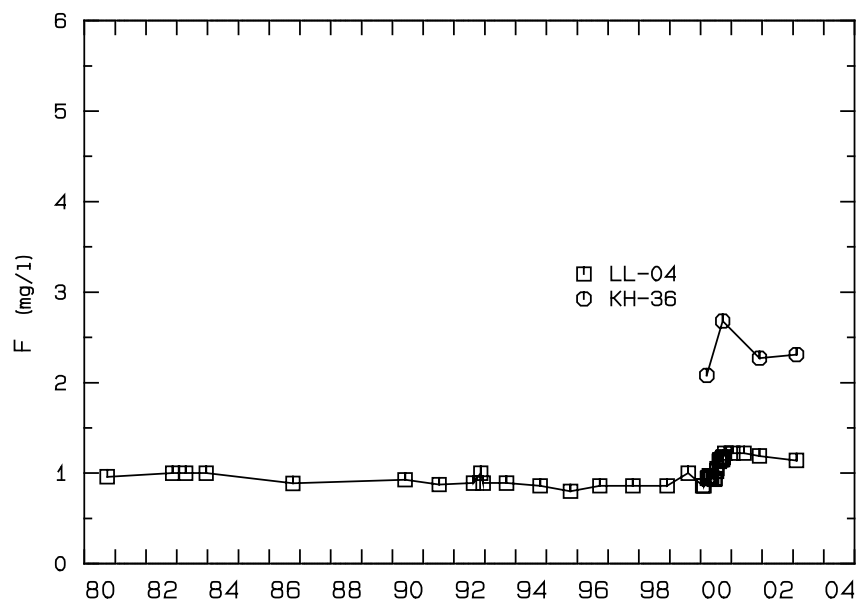
Mynd 8. Breytingar á styrk kísils með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.



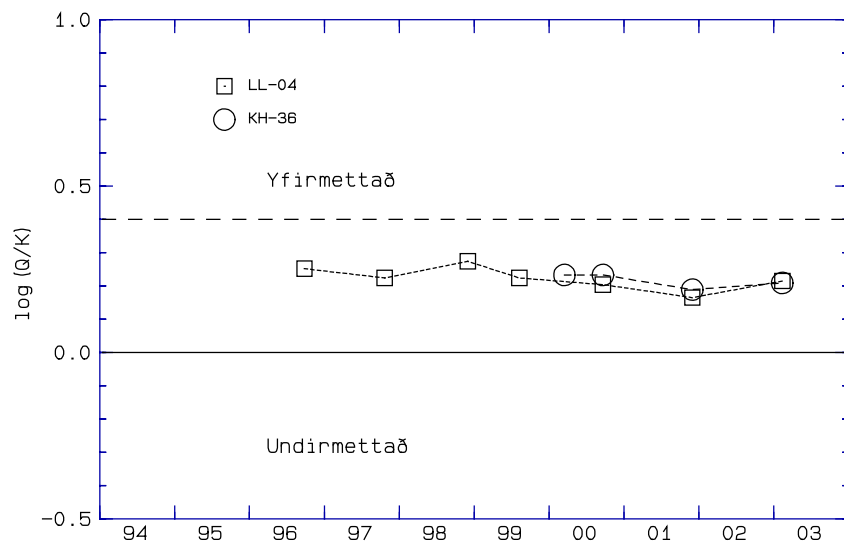
Mynd 9. Breytingar á styrk klóríðs með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.



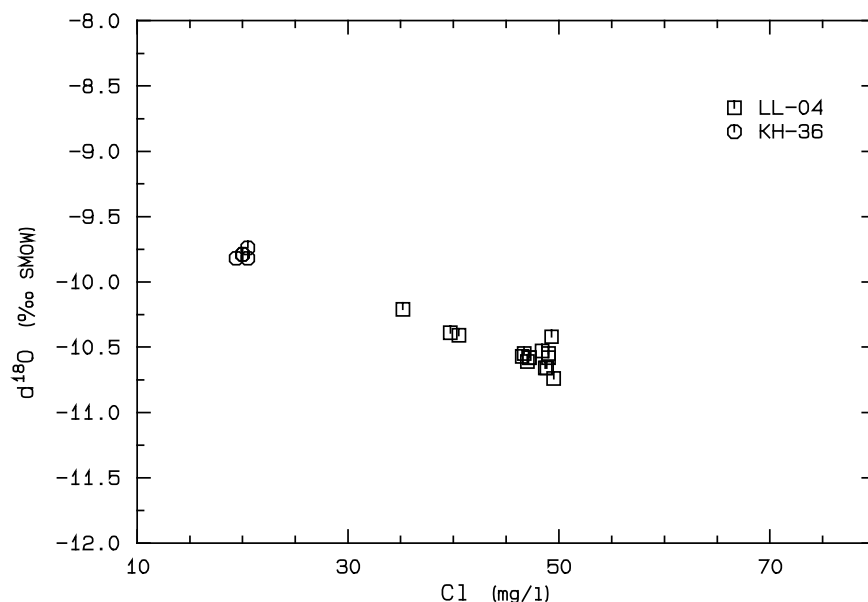
Mynd 10. Breytingar á styrk natríums með tíma í vatni í holum LWN-4 og KH-36.



Mynd 11. Breytingar á styrk flúors með tíma í vatni í holum LL-4 og KH-36.



Mynd 12. Kalkmettun vatns úr holum LL-4 og KH-36, 1995 – 2003.



Mynd 13. Samband klóríðs og súrefnissamsæta í vatni í holum LL-4 og KH-36.

Uppleyst súrefni í miðlunartankinum að Laugalandi mældist 30 ppb við sýnatöku í febrúar 2003, sem telst vera vottur af súrefni (til þess að vatn teljist súrefnislaust þarf niðurstaða greiningarinnar að vera innan 10 ppb). Í brunni 23 við Ytri Rangá mældist ekkert uppleyst súrefni.

3.2. Efnasamsending vatns í holu KH-36

Eins og fram hefur komið er vatnið úr holu KH-36 þó nokkuð kaldara og mun efna-snauðara (tafla 3) en vatnið í holu LL-4. Er þetta auðsætt á myndum 7 – 11. Aðeins er til ein heilgreining á vatninu úr þessari holu fyrir jarðskjálftana 2000, en út frá fyrir- liggjandi greiningum virðist sem flúor og ál séu að hækka, en styrkur járn s sé kominn í jafnvægi eftir að hafa hækkað eitthvað. Ekki er þó alveg hægt að slá þessu föstu þar sem vinnslusagan er stuttu og fáar greiningar til. Vert er þó að taka fram að ekki er ráðlagt að drekka þetta vatn vegna hás styrks flúors en leyfilegt magn flúors í drykkjar- vatni er ≤ 1,5 mg/l. Eins eru óljós merki þess að kísilstyrkur hafi lækkað lítið eitt, sem gæti bent til innstreymis kaldara vatns í jarðhitakerfið.

Uppleyst súrefni í miðlunartankinum mældist núll.

Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu KH-36.

Sýnanúmer	2000-0061	2000-0339	20010447	20030021
Dagsetning	00-03-16	00-09-20	01-11-30	2003-05-07
Hitastig °C	67,1	67,8*	66,8	66,9
pH/°C	10,36/23	10,32/23	10,29/22	10,28/23
Heildar karbónat (CO ₂)	12,2	12,5	11,9	13,1
Brennist. vetni (H ₂ S)	0,17	0,16	0,15	0,16
Bór (B) mg/l	0,12	0,14	0,15	0,12
Leiðni μS/cm	327	318	325	323
Kísill (SiO ₂) mg/l	89,9	89,2	88,4	88
Heildar uppl. mg/l	252	212	243	239
Súrefni O ₂ mg/l	0	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	63,2	64,2	64,0	64,5
Kalíum (K) mg/l	0,66	0,66	0,69	0,65
Magnesium (Mg) mg/l	0,007	0,001	0,015	0
Kalsíum (Ca) mg/l	2,71	2,75	2,76	2,66
Flúoríð (F) mg/l	2,17	2,21	2,27	2,31
Klóríð (Cl) mg/l	20,5	19,4	20,5	20
Súlfat (SO ₄) mg/l	26,2	25,5	25,8	25,2
Ál (Al) mg/l	0,0963	0,118	0,132	**
Járn (Fe) mg/l	0,0002	0,0032	0,0030	**
Mangan (Mn) mg/l	0,0064	0,003	<0,0005	**
δD ‰	-67,6	-68,0	-68,3	65,3
δ18O ‰	-9,82	-9,82	-9,74	-9,79

*Hanna-mælir. ** ógreint.

4. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður vinnslueftirlits ársins 2002 hjá Hitaveitu Rangæinga eru eftirfarandi:

1. Meðalvinnsla ársins 2002 á Laugalandi var 11,2 L/s, sem er tæplega 2/3 meðalvinnslunnar árið 1999, sem er síðasta árið áður en nýting Kaldárhólts hófst. Meðalvinnslan í Kaldárholti var 20,5 L/s. Nettóorkuvinnsla Hitaveitu Rangæinga (heildarvinnsla –4,0 GWh vegna niðurdælingar) var um 51 GWh árið 2001. Þetta er um 5% meiri jarðhitaorkuvinnsla en árið 2001, væntanlega vegna fjölgunar notenda. Orkuvinnslutölur árána 2001 og 2002 endurspeglar betur orkuframleiðslu hitaveitunnar en eldri tölur vegna þess að orkutap í aðveituæðum er nú aðeins smávægilegt og kyndistöðin á Hvolsvelli er ekki lengur notuð.
2. Í lok ársins 2002 var vatnsborð á 70 – 80 m dýpi í holu LWN-4, sem er nokkurn veginn sama dýpi í lok árs 2001. Mikil hækkun vatnsborðs frá því í byrjun árs 2000 er bæði vegna minni vinnslu á Laugalandi og niðurdælingar í holu GN-1.
3. Árið 2002 sveiflaðist vatnsborð í holu KH-36 í Kaldárholti milli 25 m dýpis og yfirborðs líkt og árið áður. Engin lækking vatnsborðs verður milli ára, en í mars og apríl 2003 fór vatnsborð í holunni reyndar niður í 30 m dýpi við 32 – 33 L/s við dælingu.
4. Niðurdæling í holu GN-1 var um 3,1 L/s að meðaltali árið 2002, eða um 27% þess sem upp var tekið á sama tíma. Áhrif niðurdælingarinnar á hita vatns úr holu LWN-4 er enn óverulegar og ljóst að kólnunarspár hafa verið of svartsýnar. Helst er talið að niðurdælingarvatnið hríslist betur um heitt bergið en ráð var fyrir gert í reikningunum og/eða að rennislíðir niðurdælingarvatnsins hafi breyst þegar vinnsla minnkaði eftir að Kaldárholt var tengt hitaveitunni og ekki síður við jarðskjálftana sumarið 2000 (nýjar leiðir hugsanlega opnast). Þó má telja öruggt að niðurdælingin muni valda einhverri kólnun er frá líður, vegna greinilegra ummerkja í efnainnihaldi vatns. Því er rétt að halda niðurdælingunni í hófi auk þess að fylgjast áfram vel með breytingum í vatnshita og efnainnihaldi.
5. Áhugavert er að endurskoða líkanið, sem notað hefur verið til hermireikninga fyrir jarðhitakerfið á Laugalandi og til þess að reikna vatnsborðsspár. Einnig er áhugavert að reikna nýjar vatnsborðsspár fyrir jarðhitakerfið í Kaldárholti nú þegar 3 ár af gögnum eru fyrirbyggjandi um viðbrögð kerfisins.
6. Nokkrar efnabreytingar hafa orðið í holu LWN-4 á Laugalandi síðan á árinu 2000, sem að mestu leyti má rekja til niðurdælingar efnasnaðara vatns frá Kaldárholti í holu GN-1. Örlítill hækkun á kísilstyrk er þó í mótsögn við þetta og gæti það verið fyrir áhrif jarðskjálftanna sumarið 2000 og/eða minni vinnslu síðan þá.
7. Ekki hafa orðið verulegar efnabreytingar í holu KH-36 í Kaldárholti á stuttri vinnslusögu hennar.
8. Minnt er á mikilvægi áframhaldandi nákvæms eftirlits á báðum vinnslusvæðunum, m.a. vegna hugsanlegrar kólnunar í Kaldárholti og ummerkja niðurdælingar á Laugalandi.

5. 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, 69s.
- Guðni Axelsson, 1998: Nýting vatns úr holu KH-34 í Kaldárholti. Um áhrif niðurdælingar í holu GN-1 í Götu. Orkustofnun, greinargerð GAx-98/06, 5s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Guðrún Sverrisdóttir, Magnús Ólafsson og Sverrir Þórhallsson, 1991. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1990-1991. OS-91050/JHD-29 B, 13s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992. OS-92060/JHD-33 B, 17s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1993. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1992-1993. OS-93076/JHD-38 B, 15s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1994. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1993-1994. OS-92058/JHD-34 B, 12s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1995. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1994-1995. OS-92063/JHD-42 B, 12s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Magnús Ólafsson, 1996. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1995-1996. OS-92072/JHD-41 B, 21s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1997. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992. Orkustofnun, OS-97070 15s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Kristján Sæmundsson, Halldór Ármannsson og Grímur Björnsson, 1998: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1997-1998 og staða vatnsöflunar. Orkustofnun, OS-98077, 86s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Vigdís Harðardóttir, 2000: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1999-2000. Orkustofnun, OS-2000/086, 21s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Vigdís Harðardóttir, 2002: Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu á vinnslusvæðum veitunnar á Laugalandi í Holtum og í Kaldárholti árið 2001. Orkustofnun, OS-2002/009, 21s.
- Magnús Ólafsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1990. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1989-1990. Orkustofnun, OS-90047/JHD-27 B, 17s.
- Vigdís Harðardóttir, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1999. Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1998-1999. Orkustofnun, OS-99116, 17s.