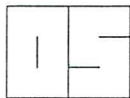


Um breytingar á jarðhitasvæðinu við
Þorleifskot eftir jarðskjálfta sumarsins 2000

**Magnús Ólafsson,
Guðni Axelsson,
Grímur Björnsson**



Um breytingar á jarðhitasvæðinu við Þorleifskot eftir jarðskjálfta sumarsins 2000

1. Inngangur

Við jarðskjálftann 17. júní 2000 urðu verulegar breytingar á þrýstingi í jarðhitakerfum víðs vegar um Suðurland. Þetta endurtók sig síðan í minna mæli eftir seinni stórskjálfta sumarsins, þann 21. júní. Áhrif jarðskjálftanna á jarðhitakerfin urðu þó mjög misjöfn. Á mörgum stöðum féll þrýstingur og hitaveitur urðu vatnslausar, en á öðrum stöðum jókst þrýstingur. Sums staðar þar sem þrýstingur jókst flæddi heitt vatn út um allt og olli nokkrum skemmdum. Þorleifskot er eitt þeirra jarðhitasvæða þar sem þrýstingur jókst. Þorleifskot er jafnframt eitt af tveimur jarðhitasvæðum á Suðurlandi þar sem nákvæm tölvuvædd sískráning fer fram á þrýstingi og fleiru sem tengist ástandi og nýtingu jarðhitasvæðisins.

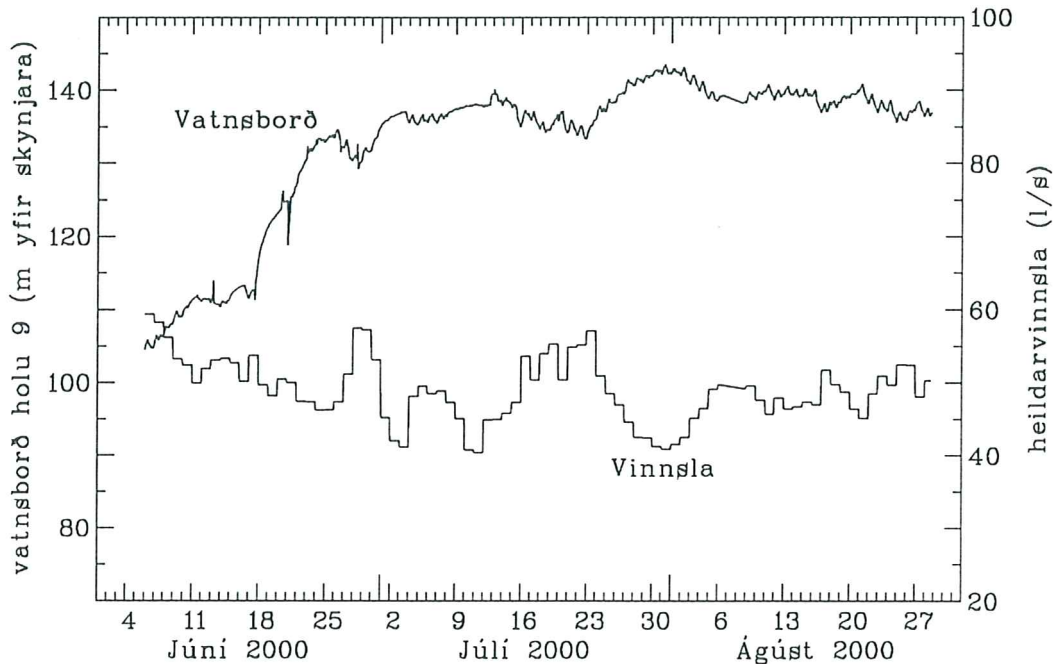
Ljóst er að í kjölfar skjálftanna urðu einnig breytingar á vatnshita og efnainnihaldi í jarðhitakerfinu við Þorleifskot. Hér á eftir verður fjallað stuttlega um þessar breytingar.

2. Þrýstings- eða vatnsborðsbreytingar

Þrýstingur í jarðhitakerfinu við Þorleifskot endurspeglast í dýpi á vatnsborð í borholum á svæðinu. Mynd 1 hér á eftir sýnir vatnsborðsmælingar í holu 9, sem notuð hefur verið til eftirlits með þrýstingi í jarðhitakerfinu, sumarið 2000. Vatnsborðsbreytingarnar endurspeglar auðvitað breytilega dælingu úr svæðinu, sérstaklega minni dælingu yfir sumarmánuðina, en greinileg hækkun sést þó í kjölfar skjálftans 17. júní. Hækkun er einnig greinileg eftir seinni skjálftann, en strax eftir báða skjálftana fellur vatnsborð snögglega, en hækkar svo aftur. Hækkunin eftir fyrri skjálftann virðist vera a.m.k 10 m, ef ekki meiri. Ekki er hægt að svo stöddu að greina hve lengi vatnsborðið er að hækka eftir skjálftana, en það er a.m.k. í nokkrar vikur. Þessi vatnsborðshækkun virðist ekki hafa gengið varanlega til baka, því samkvæmt upplýsingum Selfossveitna hefur vatnsborð staðið óvenju hátt í jarðhitakerfinu nú í vetur.

Hærrí þrýstingur í jarðhitakerfinu þýðir í raun aukin afköst þess. Jafnframt er hugsanlegt að lekt bergsins í kerfinu hafi eitthvað aukist í kjölfar skjálftanna, sem einnig bætir afköst þess. Þetta er þó ekki hægt að meta nákvæmlega nema með nákvæmum samanburði við breytingar síðustu ára. Gögn um vinnslu, vatnsborð og vatnshita síðustu ára eiga að vera tiltæk í tölvukerfi Selfossveitna. Slík úrvinnsla

getur einnig skorið úr um hvort þrýstingshækkunin sem varð s.l. sumar hafi gengið til baka, eða sé að því hægt og rólega.



Mynd 1. Vatnsborð í holu 9, sýnt sem metrar yfir skynjara í holunni, og heildarvinnsla úr jarðhitasvæðinu við Þorleifskot sumarið 2000, sem sýnir greinilega áhrif skjálftans 17. júní.

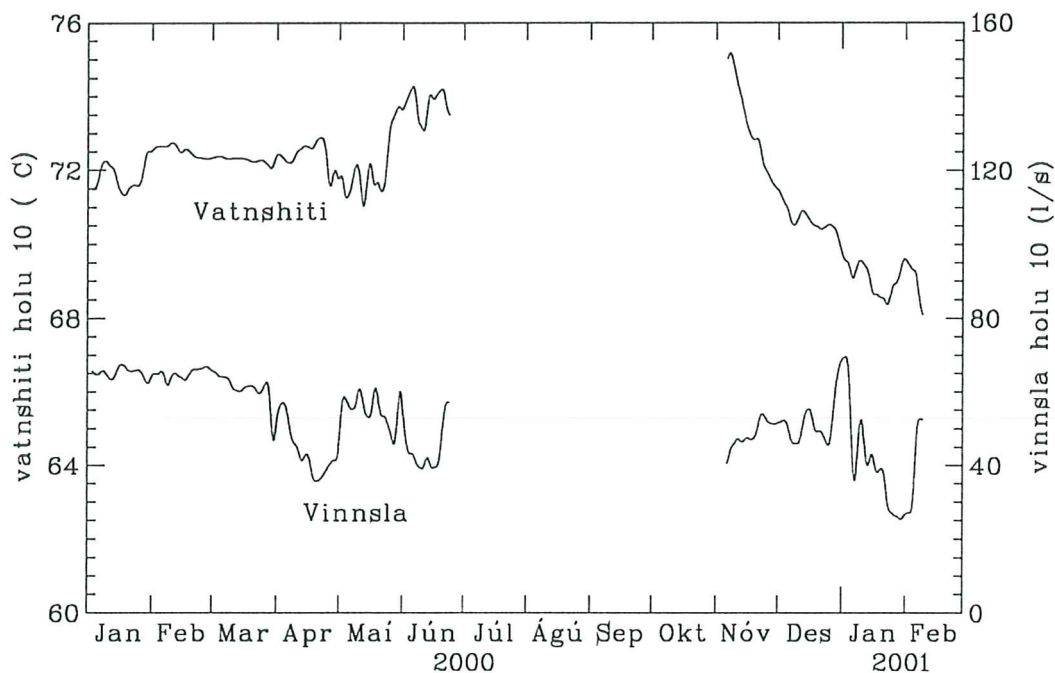
Þrýstingur breyttist einnig talsvert í nýrri borholu Selfossveitna í Ósabatnum. Svo virðist sem lekt í jarðhitakerfunum norðan Selfoss sé spennuháð og batni við það að spenna minnki, líkt og gerðist í skjálftunum tveimur.

3. Breytingar í vatnshita

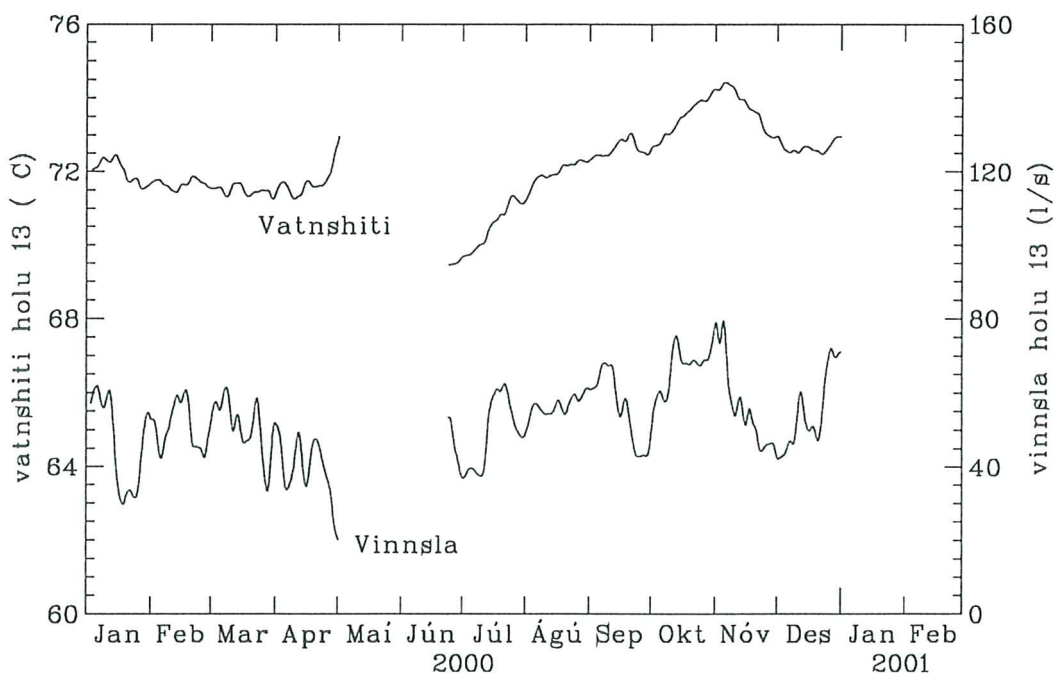
Síðustu mánuði hafa einnig orðið breytingar á hita vatns, sem dælt er úr holum 10 og 13, en það eru aðalvinnsluholur Selfossveitna á svæðinu. Talið er mögulegt að hér sé einnig um áhrif jarðskjálftanna að ræða. Hér er rétt að hafa í huga að hitabreytingar í jarðhitakerfum gerast mun hægar en þrýstingsbreytingar, þótt fylgni geti verið þar á milli. Þess vegna voru gögn síðasta árs um vatnshita og vinnslu úr þessum holum skoðuð nánar. Myndir 2 og 3 sýna þessi gögn uppteiknuð. Það truflar úrvinnsluna nokkuð, að vatnshiti í báðum holunum er háður vinnslunni. Er þetta vegna mismunandi vægis misheitra æða holnanna eftir því hver vinnslan er úr viðkomandi og nærliggjandi holum.

Tvennt vekur mesta athygli á myndunum. Í fyrsta lagi mikil kólnun vatns úr holu 10 eftir að hún er gangsett á ný í byrjun nóvember 2000, eftir sumar- og hausthlé. Þessi kólnun mælist vera um 7 – 8 °C, sem er meiri breyting en sést hefur áður á svo stuttum tíma. Í öðru lagi vekur athygli veruleg hækkun hita vatns úr holu 13 eftir skjálftana, sem nemur um 6 °C. Fjallað verður um hugsanlegar ástæður þessara

breytinga í lokaorðum hér á eftir, m.a. í ljósi breytinga á efnainnihaldi, en væntanlega er óhætt að fullyrða að hér sé um áhrif jarðskjálftanna að ræða. Þó væri ráðlegt að skoða eftirlitsgögn síðustu ára til að útiloka sambærilegar breytingar áður.

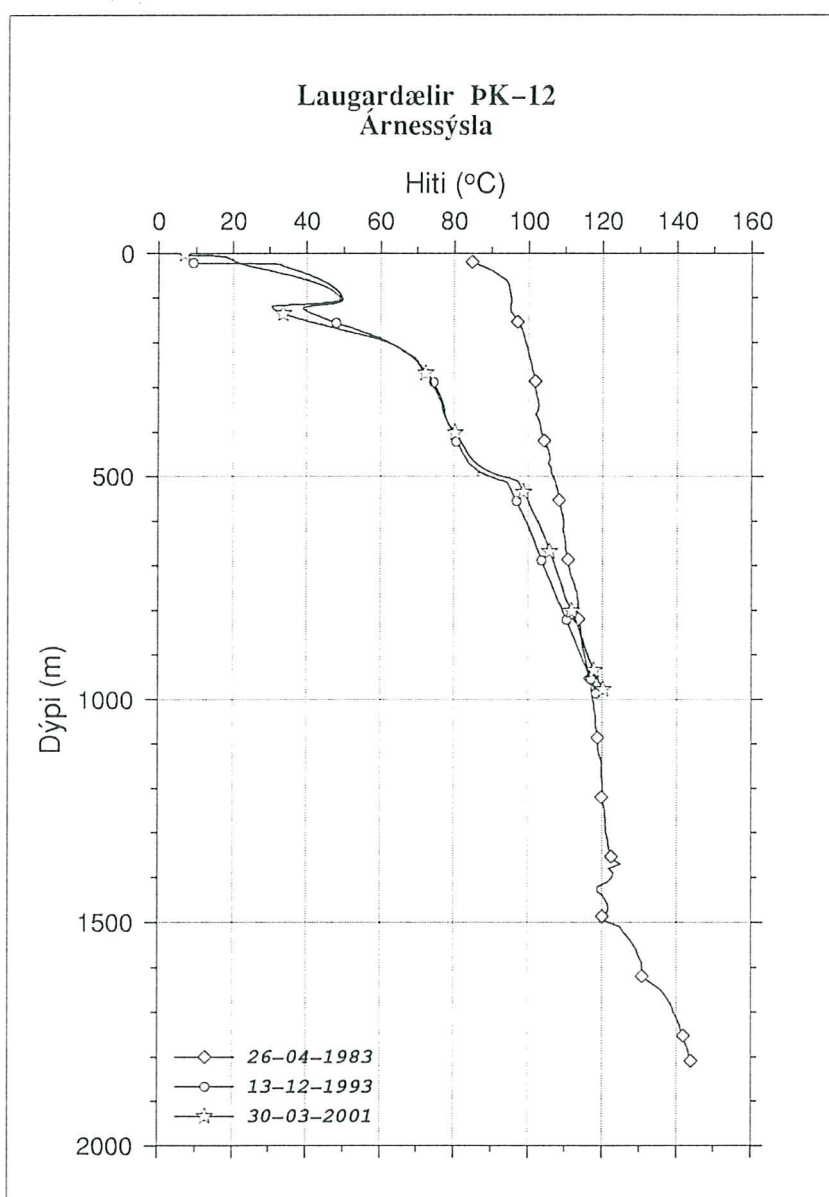


Mynd 2. Vinnsla úr holu 10 ásamt breytingum í vatnshita holunnar frá janúar 2000 fram í febrúarbyrjun 2001.



Mynd 3. Vinnsla úr holu 13 ásamt breytingum í vatnshita holunnar allt árið 2000.

Á liðnum vetri bilaði einnig dæla í holu ÞK-12, hugsanlega vegna aukins leirburðar í kjölfar skjálftanna. Þegar dælan hafði verið tekin upp úr holunni var tækifærið gripið og holan hitamæld, en það hafði ekki verið gert í rúm sjö ár. Þessi nýjasta hitamæling er sýnd á mynd 4, ásamt tveimur eldri mælingum. Annars vegar mælingu frá því skömmu eftir að borun holunnar lauk árið 1983 og hins vegar mælingu frá 1993. Nýrri mælingarnar tvær ættu að vera mjög sambærilegar, enda mældar við svipaðar aðstæður. Þær sýna að hitaástand holunnar hefur lítið breyst á þeim sjö árum sem liðu milli mælinganna. Mælingarnar sýna þó að efsti hluti holunnar hefur kólnað, einkum í kringum 150 m dýpi, líkt og sést almennt í öðrum holum á svæðinu. Þá sýnir nýjasta mælingin aðeins hærri hita neðan 500 m dýpis, en sá munur er þó á mörkum þess að geta talist marktækur. Þess ber að geta að aðeins var hægt að mæla holuna niður á tæplega eins km dýpi vegna fyrirstöðu sem þar er.



Mynd 4. Nýjasta hitamælingin úr holu ÞK-12 ásamt tveimur eldri mælingum til viðmiðunar.

Breytingar í efnainnihaldi vatns

Um langt árabil hefur Orkustofnun annast eftirlit með efnasamsetningu vatns úr vinnsluholum Selfossveitna. Sýni til efnagreininga eru tekin einu sinni á ári að jafnaði, oftast á tímabilinu janúar til mars og gerð grein fyrir þeim í vinnslueftirlitsskýrslum. Í kjölfar jarðskjálftans 21. júní voru tekin sýni af heitu vatni á nokkrum stöðum á Suðurlandi og þar á meðal úr holu 10 við Þorleifskot. Við athugun á niðurstöðum þessarar efnagreiningar kom í ljós að talsverðar breytingar höfðu átt sér stað milli sýna sem tekin vorur í mars annars vegar og júní hins vegar. Hér á eftir verður fjallað lauslega um þessar breytingar. Tafla 1 sýnir niðurstöður efnagreininga á vatni úr holum 10 og 13 frá þessu og síðasta ári. Einnig eru sýndar þar niðurstöður efnagreininga á sýni sem tekið var á 800 m dýpi í holu 10 haustið 1987.

Tafla 1. Efnasamsetning vatns úr holum 10 og 13 við Þorleifskot, fyrir og eftir skjálfta, (mg/l).

Staður	HOLA 10 Holutoppur			HOLA 10 800 m	HOLA 13 Holutoppur	
	2000.03.13	2000.06.21	2001.01.29	1987.11.11	2000.03.13	2001.01.29
Dags.	10:15	13:30	21:00		11:00	20:00
Tími	2000-0052	2000-0197	2001-0027	1987-0235	2000-0053	2001-0026
Númer						
Hiti (°C)	71,7	75,1	68,8	≈ 100	70,4	71,7
Sýrustig / °C	8,49 / 22,5	8,60 / 22,2	8,44 / 22,9	8,9 / 14,2	8,54 / 22,7	8,54 / 22,9
Leiðni (µS/cm) / °C	888 / 25	936 / 25	819 / 25	1936 / 20	905 / 25	938 / 25
Karboronat (CO ₂)	34,9	31,9	38,2	7,9	25,9	25,5
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,12	0,11	0,11	-	0,07	0,07
Kísill (SiO ₂)	63,7	71,8	58,3	106,5	55,5	59,8
Bór (B)	0,12	0,11	0,09	-	0,11	0,10
Natríum (Na)	146	157	135	309	144	152
Kalíum (K)	4,2	4,54	3,56	10,1	3,28	3,61
Magnesíum (Mg)	0,104	0,091	0,121	0,014	0,105	0,102
Kalsíum (Ca)	26,1	26,8	26,0	73,2	30,4	31,3
Flúoríð (F)	0,21	0,22	-	0,18	0,20	-
Klóríð (Cl)	210	224	-	497	219	-
Brómíð (Br)	0,73	0,83	-	-	0,80	-
Súlfat (SO ₄)	52,3	56,7	-	167	47,5	-
Ál (Al)	0,0197	0,0159	-	-	0,0148	-
Mangan (Mn)	0,0035	0,0039	-	-	0,0043	-
Járn (Fe)	0,0089	0,0145	-	<0,025	0,0031	-
Uppleyst efni	479	536	-	1258	473	-
δD (‰ SMOW)	-65,7	-66,2	-	-	-63,6	-
δ ¹⁸ O (‰ SMOW)	-9,39	-9,47	-	-10,1	-9,22	-

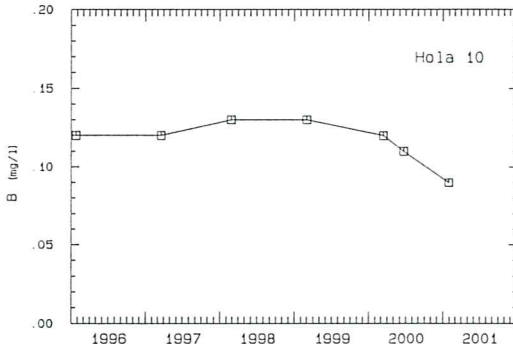
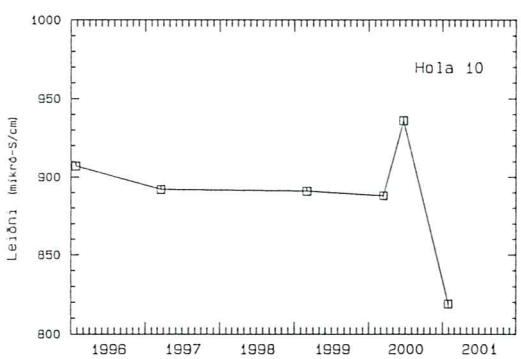
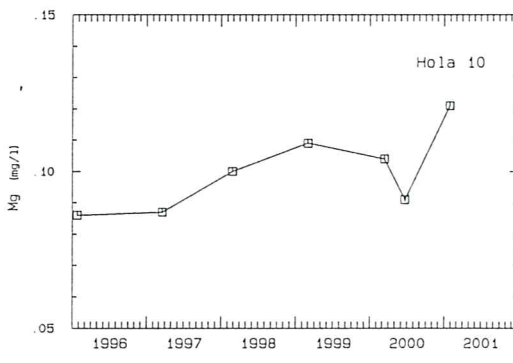
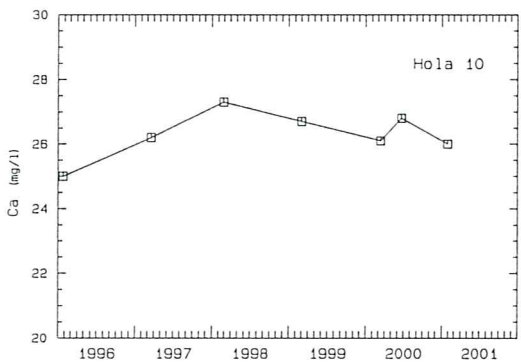
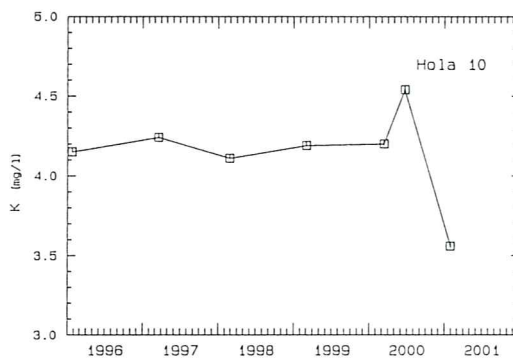
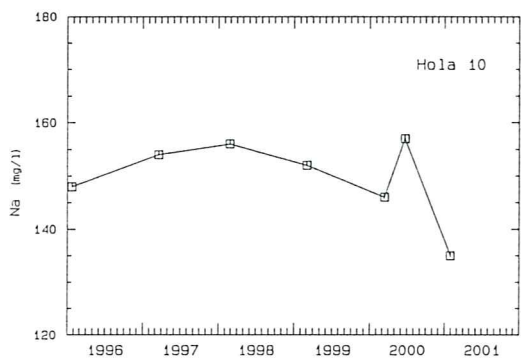
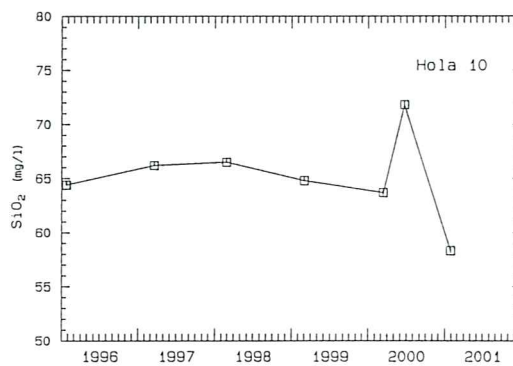
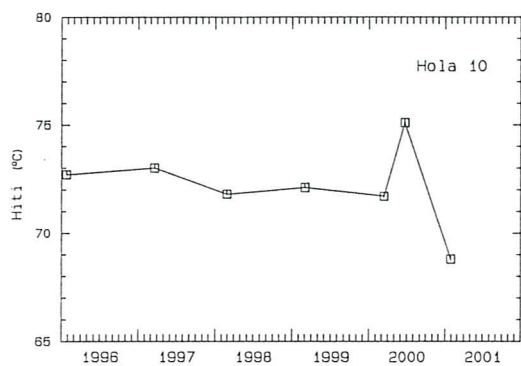
- : Greiningum ekki lokið

Í töflu 1 sést að talsverðar breytingar koma fram í sýni sem var tekið úr holu 10 þann 21. júní 2000, hálfum sólarhring eftir seinni Suðurlandsskjálftann. Hiti mældist óvenju hár og einnig styrkur t.d. kísils, natríums og kalíums. Einnig leiðni vatnsins, sem endurspeglar styrk klóríðs í vatninu. Aftur á móti hafði styrkur magnesíums lækkað. Þessar niðurstöður eru einnig sýndar á mynd 5. Myndin sýnir glögg þær breytingar sem hafa orðið á efnasamsetningu vatns úr holu 10 og tengja má við jarðskjálftana sumarið 2000. Hita- og efnabreytingar benda til aukins hluta vatns djúpt úr jarðhitakerfinu stax í kjölfar skjálftanna, en síðan hafi hlutur efnasnauðara og kaldara vatns í grynri hluta kerfisins aukist.

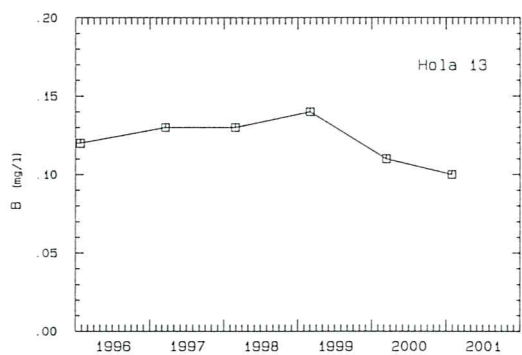
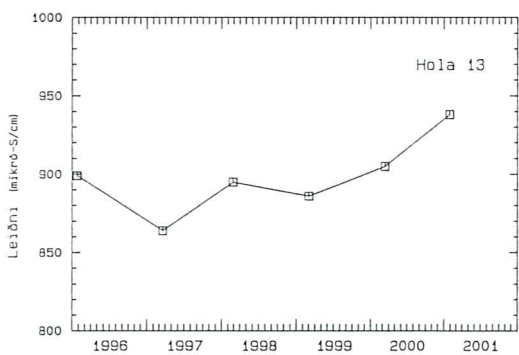
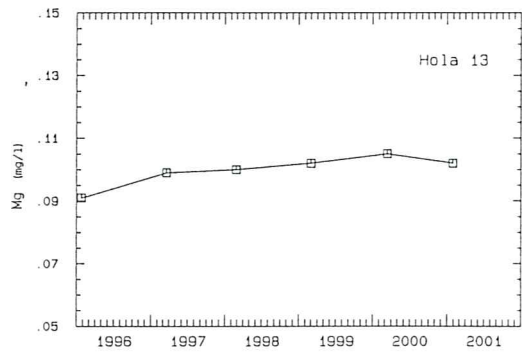
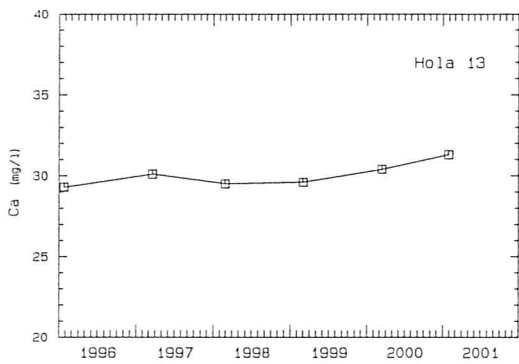
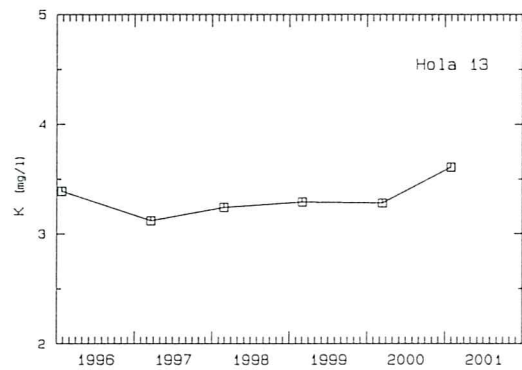
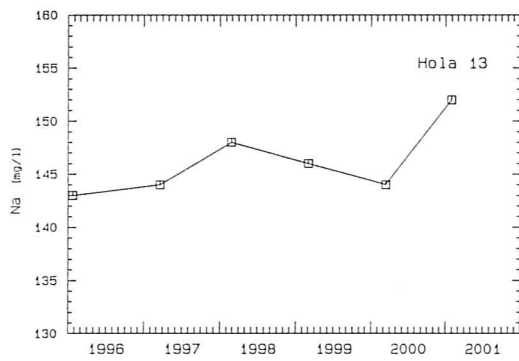
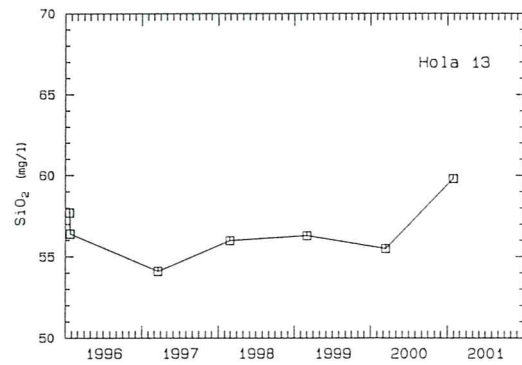
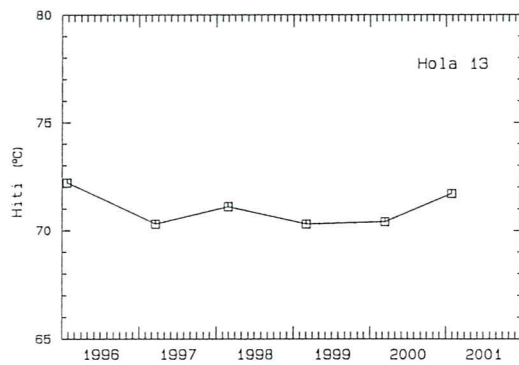
Á mynd 6 eru sýndar niðurstöður hita- og efnamælinga í vatni úr holu 13 á árabílinu 1996 til 2001. Sýni var ekki tekið úr henni sumarið 2000. Myndin sýnir að talsverðar breytingar fyrir og eftir skjálfta. Hiti hefur hækkað lítillega, og styrkur efna breyst á þann hátt að svo virðist sem hlutur "djúpvatns" hafi aukist.

Myndir 7 til 12 sýna hita og styrk nokkurra efna á móti styrk kísils í sýnum úr holu 10 og 13. Gögnin eru þau sömu og á myndum 5 og 6 og að auki þrjú djúpsýni úr holu 10 (tafla 1). Myndirnar sýna að hiti og efnastyrkur í sýninu úr holu 10, sem var tekið 21. júní 2000 (hringur), ber ýmiss merki þess að þar gæti áhrifa frá vatni úr dýpri æðum jarðhitakerfisins. Aftur á móti kemur vel fram á myndum 7 til 12 að sýnið frá því í byrjun þessa árs (tígull) ber merki þess að þær gæti áhrifa frá kaldara og efnasnauðara vatni. Hiti hafði þá lækkað og styrkur flestra efna einnig.

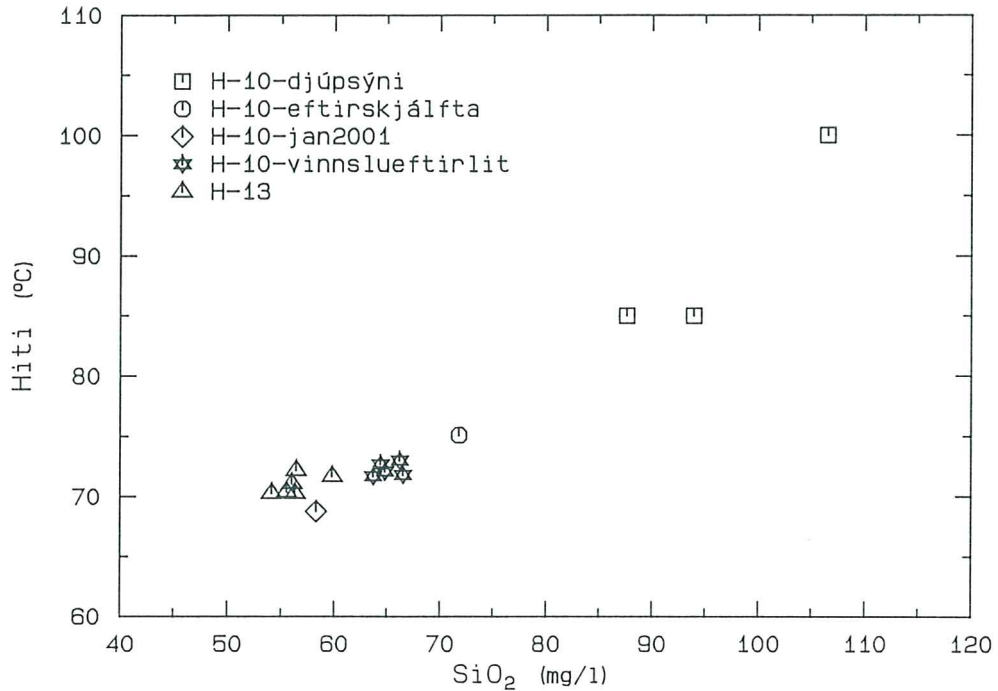
Niðurstöður efnagreininga á vatni úr þessum tveimur vinnsluholum Selfossveitna, holum 10 og 13, benda eindregið til þess að jarðskjálftarnir sumarið 2000 hafi haft umtalsverð áhrif á jarðhitakerfið í Þorleifskoti. Svo virðist sem við skjálftana hafi rennsli aukist úr dýpri upp í grynri hluta jarðhitakerfisins, a.m.k. tímabundið í holu 10, og þess virðist enn gæta í holu 13. Þegar hola 10 var tekin í notkun haustið 2000 kom fljótlega í ljós að hiti vatnsins lækkaði hratt (mynd 2). Hér getur gætt aukinnar lektar í efri hluta jarðhitakerfisins af völdum jarðskjálftanna, og þar með auknum hluta vatns úr efri hluta jarðhitakerfisins þar sem vatn er kaldara og efnasnauðara. Efnagreiningar á sýni frá því í janúar 2001 sýna þetta glögt, lækkaðan hita og lækkaðan efnastyrk flestra efna.



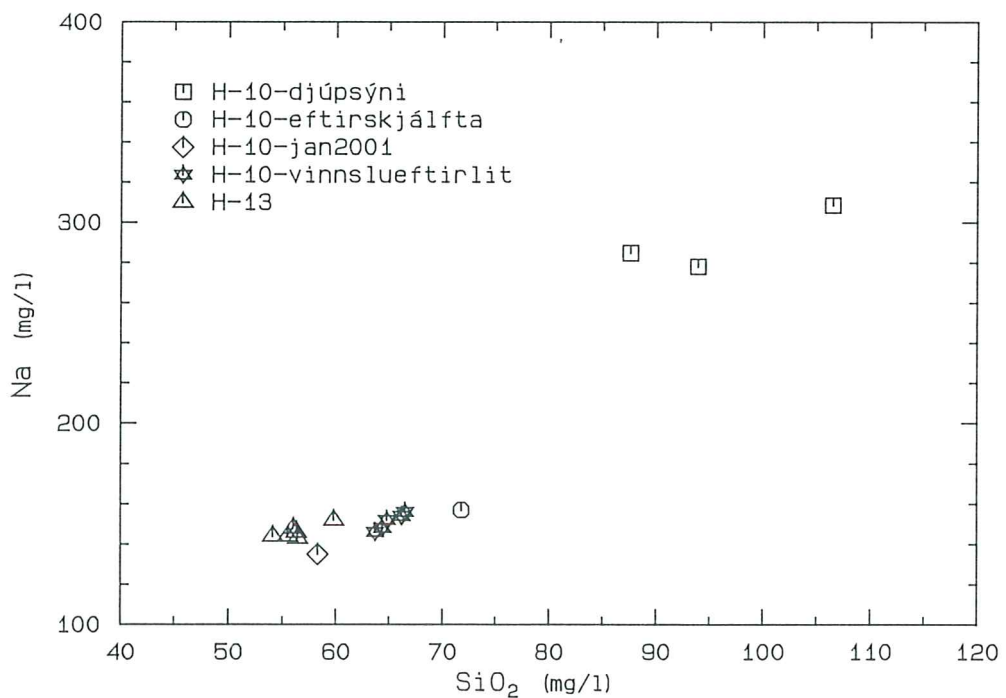
Mynd 5. Hiti og efnasamsetning vatns úr holu 10, 1996 til 2001.



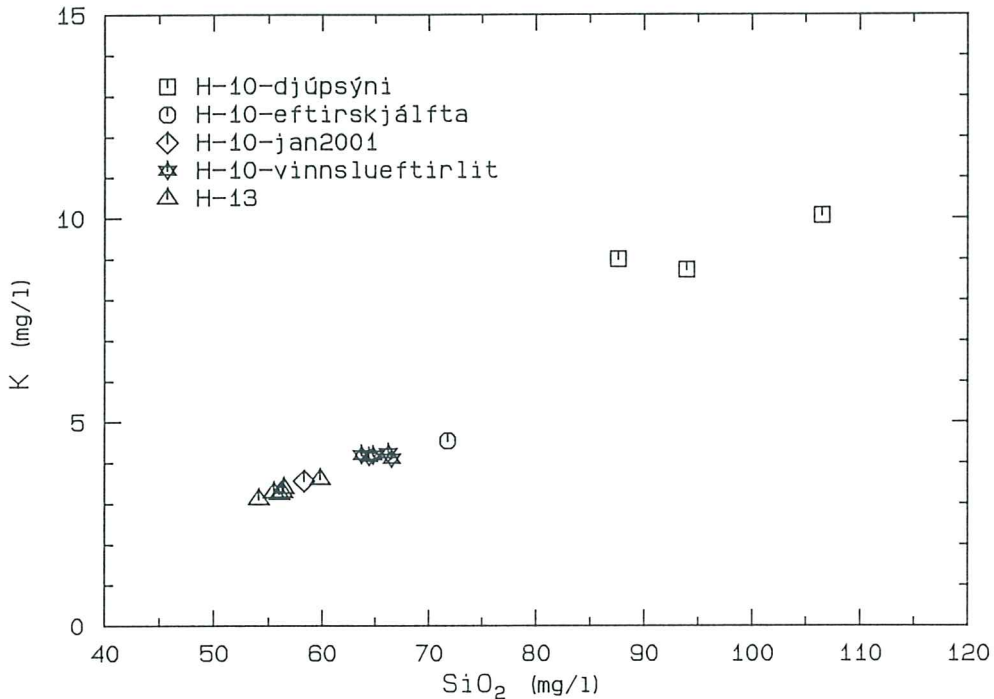
Mynd 6. Hiti og efnasamsetning vatns úr hól 13, 1996 til 2001.



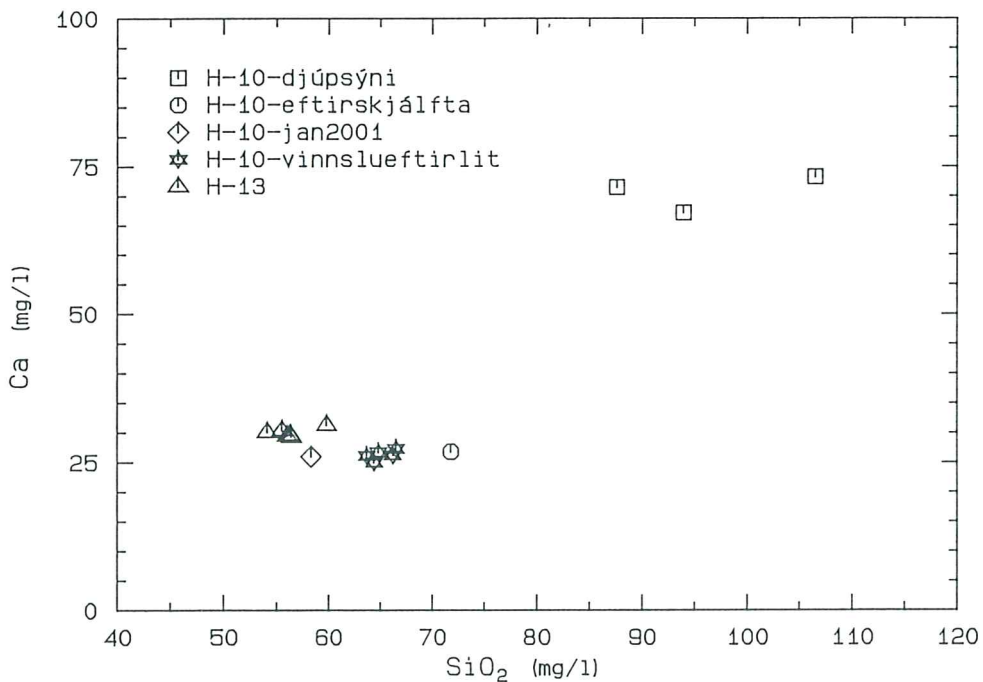
Mynd 7. Hitli vatns og styrkur kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknuð með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknuð með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknuð með þríhyrningum.



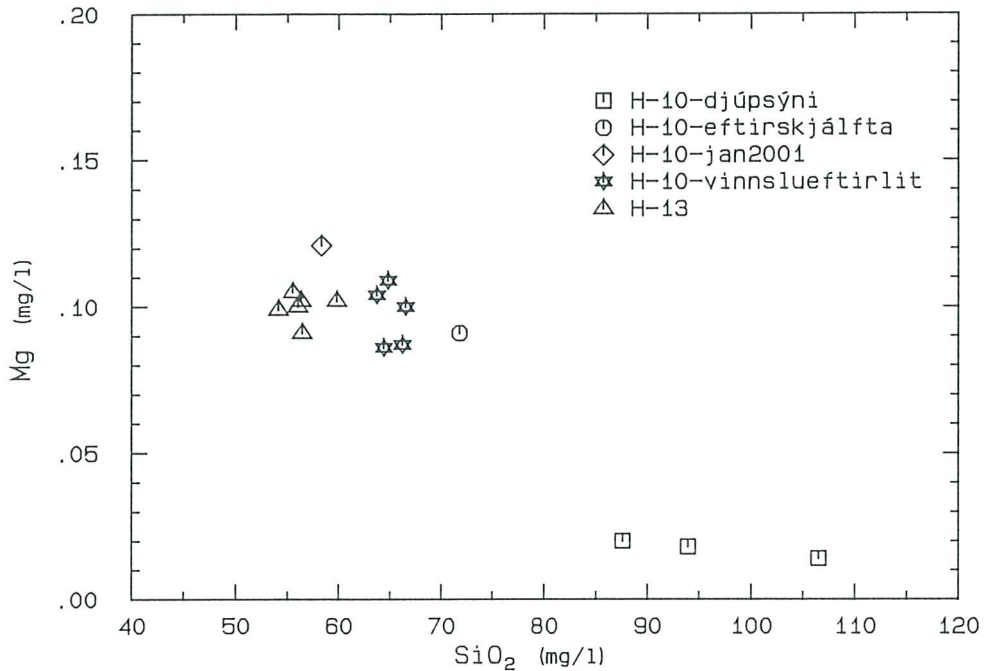
Mynd 8. Styrkur natriúms og kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknuð með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknuð með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknuð með þríhyrningum.



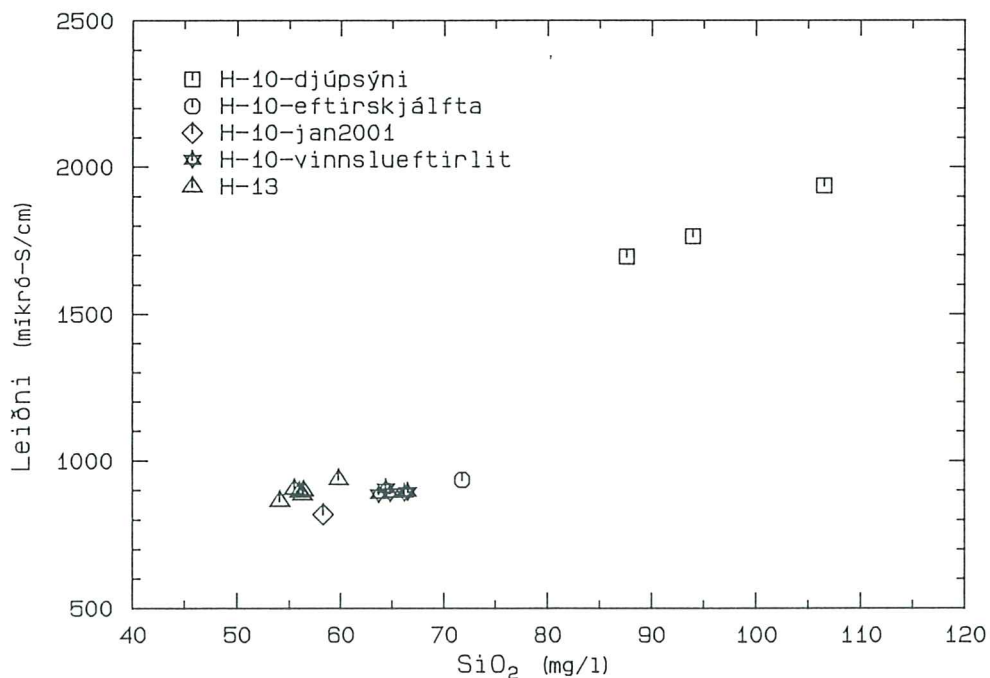
Mynd 9. Styrkur kalíums og kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknuð með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknuð með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknuð með þríhyrningum.



Mynd 10. Styrkur kalsíums og kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknuð með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknuð með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknuð með þríhyrningum.



Mynd 11. Styrkur magnesíums og kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknað með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknað með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknað með þríhyrningum.



Mynd 12. Leiðni vatns og styrkur kísils, holur 10 og 13. Á myndinni eru djúpsýni úr holu 10 táknað með ferhyrningum (3) og venjubundin vinnslueftirlitssýni úr holu 10 á árunum 1996 til 2000 eru táknað með stjörnum (5). Sýni úr holu 10 frá 21. júní 2000 er táknað með hring og vinnslueftirlitssýni frá 29. janúar síðastliðnum er táknað með tígli. Vinnslueftirlitssýni úr holu 13 eru táknað með þríhyrningum.

4. Lokaorð

Í kjölfar jarðskjálfta á Suðurlandi dagana 17. og 21. júní 2000, urðu töluverðar breytingar á jarðhitakerfi Selfossveitna í Þorleifskoti. Þrýstingur í jarðhitakerfinu hækkaði, hiti vatns úr vinnsluholum breyttist og efnasamsetning vatns einnig. Við athugun á gögnum hefur komið í ljós að ágætt samræmi er milli hita- og efnabreytinga og er talið líklegt að aukin lekt í jarðhitakerfinu í kjölfar skjálftanna valdi mestu um þessar breytingar. Í fyrstu virðist sem hlutur heitara vatns úr dýpri hluta jarðhitakerfisins hafa vaxið, en í kjölfarið virðist vægi kaldara vatns úr grynri hluta jarðhitakerfisins hafa aukist. Auk þess er mögulegt að hiti einstakra æða í mismunandi holum hafi breyst innbyrðis vegna lektarbreytinga.

Hér er sett fram sú tilgáta um eðli breytinganna að lekt jarðhitakerfanna í Þorleifskoti og Ósabatnum sé nátengd spennuástandinu í berginu. Þannig geti sama sprungan haldist opin og lek við eitt spennuástand, en nánast lokuð við annars konar spennuástand. Skjálftar sumarsins 2000 virðast þannig hafa aukið talsvert lekt í jarðhitakerfunum, bæði grunnt og djúpt. Hlutfallslega hærri þrýstingur í dýpri hluta jarðhitakerfisins við Þorleifskot verður svo til þess að í fyrstu einkennist vatn úr grynri hlutanum af djúpvatninu. Grunna kerfið er hins vegar langtum rýmdarmeira en það djúpa, þannig að eðlilega vex þáttur þess eftir því sem frá skjálftunum líður. Að þessu leyti teljast því áhrif skjálftanna neikvæð fyrir rekstur svæðisins (greiðara aðgengi kaldara vatns). En á móti kemur að vinnlugeta svæðisins hefur væntanlega vaxið talsvert.

Rætt hefur verið um þann möguleika að kólnun holi ÞK-10, sem er mest áberandi breytingin er orðið hefur á svæðinu, stafi af því að neðsti hluti holunnar hafi stíflast endanlega. Talið hefur verið að eitthvað af heitara vatni hafi komið upp í gegnum hruntappa (pakkari) í holunni á ~1000 m dýpi. Ekki er hægt að útiloka þennan möguleika, en lektarbreytingar (aukning) í kjölfar skjálftanna nægja þó einar sér til þess að skýra breytinguna.

Atburðir eins og Suðurlandsskjálftarnir sumarið 2000 sýna greinilega fram á mikilvægi nákvæmrar sískráningar á ýmsum þáttum er snerta vinnslu úr jarðhitakerfum. Til að ígrunda eðli breytinganna betur hefði þó verið gott að hafa fleiri efnasýni úr vinnsluholum veitunnar. Að þessu sinni hefur einungis verið unnið lauslega úr þeim gögnum sem tiltæk eru fyrir síðastliðið ár, en úr þeim má vinna mun betur en hér er gert. Sérstaklega má, með samanburði við undangengin ár, meta nákvæmlega áhrifin af skjálftunum á vatnsborð og hita. Þá má líka hugsa til þess hvort svæðið eigi eftir að breyta sér enn meira í framtíðinni sökum þess að vestasti hluti Suðurlandsskjálftabeltisins er enn "óbrotinn". Og þá í framhaldinu hvort Selfossveitur geti komið sér upp viðbragðsáætlun, sem grípa má til þegar skjálftar verða enn nær jarðhitakerfinu.

*Magnús Ólafsson
Guðni Axelsson
Grímur Björnsson*