



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

Hitaveita Seltjarnarness
Vinnslueftirlit
1998-1999

Hrefna Kristmannsdóttir
Sigvaldi Thordarson
Vigdís Harðardóttir

Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness

1999

OS-99107



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

Reykjavík - Akureyri

Verknr. 8-610111

Hrefna Kristmannsdóttir

Sigvaldi Thordarson

Vigdís Harðardóttir

Hitaveita Seltjarnarness

Vinnslueftirlit 1998-1999

Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness

OS-99107

Desember 1999

ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ

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

Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998

Netfang: os@os.is - Veffang: <http://www.os.is>



Skýrsla nr: OS-99107	Dags: Desember 1999	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
--------------------------------	-------------------------------	---

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: HITAVEITA SELTJARNARNESS Vinnslueftirlit 1998-1999	Upplag: 30
	Fjöldi síðna: 24

Höfundar: Hrefna Kristmannsdóttir Sigvaldi Thordarson Vigdís Harðardóttir	Verkefnisstjóri: Hrefna Kristmannsdóttir
---	--

Gerð skýrslu / Verkstig: Árlegt vinnslueftirlit	Verknúmer: 8-610111
---	-------------------------------

Unnið fyrir: Hitaveita Seltjarnarness

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Gerð er grein fyrir efnaeftirliti með jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi árið 1999, ásamt yfirliti um vatnsvinnslu og vatnsborðsmælingar á tímabilinu des. '98 til des. '99. Hitastig og rennsli úr öllum vinnsluholum, sem hægt er að mæla, er skráð sjálfvirkt, og vatnsborð ýmist sjálfvirkt eða handvirkt. Á þessu ári voru einu sinni (29. apríl) tekin sýni til heildarefnagreininga úr holum SN-04, SN-05 og SN-12, en u.þ.b. vikulega til mælinga á leiðni (sem mælikvarði á seltu) úr þeim holum sem eru í gangi hverju sinni. Hitastig vatns í holu SN-12 er nokkuð stöðugt og þar eru minni sveiflur í seltu en í öðrum holum. Selta virðist annars almennt ekki fara hækkandi í vatni úr vinnsluholum. Engar verulegar vatnsborðsbreytingar eru merkjanlegar á svæðinu. Útfellingahætta virðist hafa minnkað og ekki er lengur talin hætta á útfellingu í dreifikerfi. Vinnsla í ár nam um 1,5 Mtonn, og örlftil aukning virðist hafa orðið í vinnslunni frá fyrra ári.
--

Lykilorð: Seltjarnarnes, hitaveita, vinnsla, eftirlit, þrýstingur, hiti, efnastyrkur, útfellingar	ISBN-númer:
	Undirskrift verkefnisstjóra: <i>Hrefna Kristmannsdóttir</i>
	Yfirfarið af:

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. EFNAEFTIRLIT	5
3. ÚTFELLINGAHÆTTA	14
4. VINNSLUGÖGN	17
4.1. Vinnsla	17
4.2. Vatnshiti	21
4.3. Vatnsborð	21
5. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR	23
6. HEIMILDIR	24

TÖFLUR

Tafla 1. <i>Efnasamsetning vatns úr holu SN-04.</i>	7
Tafla 2. <i>Efnasamsetning vatns úr holu SN-05.</i>	9
Tafla 3. <i>Efnasamsetning vatns úr holu SN-12.</i>	11
Tafla 4. <i>Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-04.</i>	13
Tafla 5. <i>Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-05.</i>	13
Tafla 6. <i>Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-12.</i>	14
Tafla 7. <i>Vatnsvinnsla úr holum, tímabilið 1-des-1998 til 26-nóv-1999.</i>	18
Tafla 8. <i>Mánaðarmeðaltal heildarrennslis (l/s) áranna 1994 til 1999. Engin gögn eru til fyrir árið 1995.</i>	18

MYNDIR

Mynd 1. <i>Breytingar í leiðni með tíma, hola SN-04.</i>	8
Mynd 2. <i>Breytingar í styrk klóríðs með tíma, hola SN-04.</i>	8
Mynd 3. <i>Breytingar í styrk kísils með tíma, hola SN-04.</i>	8
Mynd 4. <i>Breytingar í leiðni með tíma, hola SN-05.</i>	10
Mynd 5. <i>Breytingar í styrk klóríðs með tíma, hola SN-05.</i>	10
Mynd 6. <i>Breytingar í styrk kísils með tíma, hola SN-05.</i>	10
Mynd 7. <i>Breytingar í leiðni með tíma, hola SN-12.</i>	12
Mynd 8. <i>Breytingar í styrk klóríðs með tíma, hola SN-12.</i>	12
Mynd 9. <i>Breytingar í styrk kísils með tíma, hola SN-12.</i>	12
Mynd 10. <i>Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-04.</i>	16

Mynd 11. <i>Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-05.</i>	16
Mynd 12. <i>Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-12.</i>	16
Mynd 13. <i>Sjálfvirkar rennslismælingar í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12.</i>	19
Mynd 14. <i>Heildarvatnsvinnsla í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12.</i>	20
Mynd 15. <i>Sjálfvirkar hitamælingar í holum SN-04 og SN-12.</i>	20
Mynd 16. <i>Vatnsborð í holum SN-01, SN-02 og SN-03.</i>	21
Mynd 17. <i>Vatnsborð í holum SN-05 og SN-12</i>	22

1. INNGANGUR

Í skýrslunni eru teknar saman niðurstöður vinnslueftirlits með jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi, samkvæmt samningi Hitaveitu Seltjarnarness og Orkustofnunar nr. 626011-1987. Frá 1988 hafa árlega verið gefnar út skýrslur um slíkt eftirlit. Teknar eru saman niðurstöður efnaeftirlits og gefið yfirlit yfir vatnsvinnslu og vatnsborðsmælingar á tímabilinu desember 1998 til desember 1999.

Jafnan hefur verið fylgst mjög vel með vinnslu úr jarðhitasvæðinu hjá Hitaveitu Seltjarnarness. Jarðhitakerfið er mjög flókið og holurnar taka vatn úr misheitum og söltum vatnskerfum og er því ekki nóg að fylgjast með einni vinnsluholu. Talsverð yfirmettun kalks hefur verið í vatninu og vegna rekstraröryggis þarf því að hafa gott eftirlit með þeim þætti svo unnt sé að bregðast strax við með aðgerðum ef á þyrfti að halda. Vatnið á Seltjarnarnesi var talsvert salt í upphafi og hefur orðið saltara með tímanum. Jafnframt hafa orðið aðrar breytingar á efnasamsetningu, sem geta haft áhrif á vinnslueiginleika vatnsins. Há selta örvar öll efnahvörf og því þarf að hafa vakandi auga fyrir hugsanlegri súrefnisupptöku og útfellingahættu. Efnasamsetning vatnsins gerir það óheppilegt til beinnar nýtingar í ofnakerfi og sem kranavatn, en vatnið tærir ekki stálleiðslur verulega. Eins og hitaveitukerfið á Seltjarnarnesi er uppbyggt og rekið ætti þó ekki að vera mikil hætta á að rekstrarvandamál komi upp óvænt.

Sjálfvirk skráning var þokkaleg fyrir árið 1999, en þannig var skráð rennsli í öllum vinnsluholum, auk hita í holum SN-04 og SN-12, en sjálfvirkar mælingar á hita í holum SN-05 og SN-06, og vatnsborði í holum SN-04 og SN-06 voru í ólagi allt árið, eins og síðasta ár. Þar sem mælirör er enn í sundur í holum SN-04 og SN-06 eru ekki heldur til handvirkar vatnsborðsmælingar í þeim holum, en ágætar mælingar eru til úr holum SN-01, SN-02 og SN-03 þannig að fylgjast má með svæðisbundnum niðurdrætti utan vinnsluholna.

Á árinu 1999 var byrjað að vinna úr gögnum frá borunum síðustu tveggja vinnsluholna og gerð um það áfangaskýrsla (Vigdís Harðardóttir og Hrefna Kristmannsdóttir 1999). Verður því verki lokið á næsta ári. Skrifað var handrit að grein á ensku um vinnslusögu veitunnar og verður það birt á næsta ári í ráðstefnuriti og flutt um það erindi á alþjóðþingi í Japan um jarðhitavinnslu og rannsóknir. Á næsta ári mun einnig verða hafist handa að gerð þrívíðs líkans af jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi og verður það verk unnið af verkfræðistofunni Vatnaskil hf. í samvinnu við Orkustofnun. Tilgangur líkangerðarinnar og annarra vinnslurannsókna er að leggja grundvöll að sem hagkvæmastri nýtingu jarðhitasvæðisins í framtíðinni.

2. EFNAEFTIRLIT

Sýni til heildarefnagreininga voru tekin 29. apríl úr holum SN-04, SN-05 og SN-12. Niðurstöður heildarefnagreininga sýna er að finna í töflum 1, 2 og 3. Jafnframt er leiðnimælingar að finna í töflum 4 til 6 og á myndum 1, 4 og 7. Hóla SN-05 var í notkun til 8. maí 29. október var tekið úr henni sýni til leiðnimælinga. Byrjað var á því fyrir þremur árum að mæla rafleiðni vatnsins í stað klóríðs í þeim sýnum sem starfsmenn hitaveitunnar safna vikulega til eftirlits með seltu vatnsins. Ástæðan er sú að

Þær mælingar eru helmingi ódýrari en klóríðgreiningar, en gefa nær sömu upplýsingar a.m.k. séu tengsl þessara þátta vel þekkt á viðkomandi svæði. Til að byrja með var klóríð mælt samhliða í hluta sýnanna en á árinu 1999 hefur einungis verið mæld rafleiðni í þessum sýnum.

Auk efnagreininga er í töflum 1, 2 og 3 settur inn útreiknaður kalsedónhiti, sem reiknað er út frá styrk kísils, pH og klóríðs í sýninu og er notað við samanburð á breytingum á vatninu. Hitastigskvörðunin byggist á því að styrkur kísils er hitastigsháður og við hita undir 180 °C er steindin kalsedón talin stjórna því jafnvægi. Þetta er jafnframt talið vera það lágmarkshitastig sem vatnið hafði þegar það var í jafnvægi við berggrunn í jarðhitakerfinu. Þegar misheitt vatn blandast saman fær blandan að sjálfsgöðu meðalkísilstyrk blöndunnar sem gefur heldur lægra hitastig en blöndunarhiti vatnsins.

Á sama hátt og breytingar í klóríðstyrk sýndu áður (myndir 2, 5, 8) þá sýna mælingar á leiðninni nú (töflur 4, 5, 6, myndir 1, 4, og 7) að selta vatnsins er mjög breytileg og verulega háð vinnslunni. Selta virðist nú almennt ekki hækka í vatni vinnsluholnanna. Einstakir háir toppar koma fram í mælingum og reyndar einnig lágir og er ekki lagt mikið upp úr slíkum afbrigðilegum gildum. Þau virðast flest vera í tengslum við gangsetningu eftir hvíld og stafa væntanlega af því að í stoppum er oft millirensli í holunum og sýnin væntanlega tekin áður en jafnvægi kemst á að nýju. Í holu SN-12, sem er nær alltaf í gangi, koma slíkir toppar nánast ekki fram. Tengsl seltu og vinnslu eru nokkuð flókin og ekki eins í öllum holum, enda þær misdjúpar og vinnslufóðring á mismiklu dýpi. Í stórum dráttum er jarðhitakerfið þannig uppbyggt (Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius, 2000) að ofarlega í kaldasta hluta þess (< 80 °C) er selta hæst, líklega með klóríðstyrk um og yfir 3000 mg/l. Síðan tekur við millikerfi sem er 80-100 °C heitt og selta þess er lægri, með u.þ.b. 900 mg/l af klóríði. Djúpkerfið neðan u.þ.b. 1500 m dýpis hefur svipaða seltu en er heitara, 120-140 °C. Ummerki hafa sést um enn heitara kerfi með yfir 150 °C hita (Hrefna Kristmannsdóttir, 1994) og er vatnið í því líklega mun ferskara (um 250 mg/l af klóríði) en fyrr hefur sést á svæðinu.

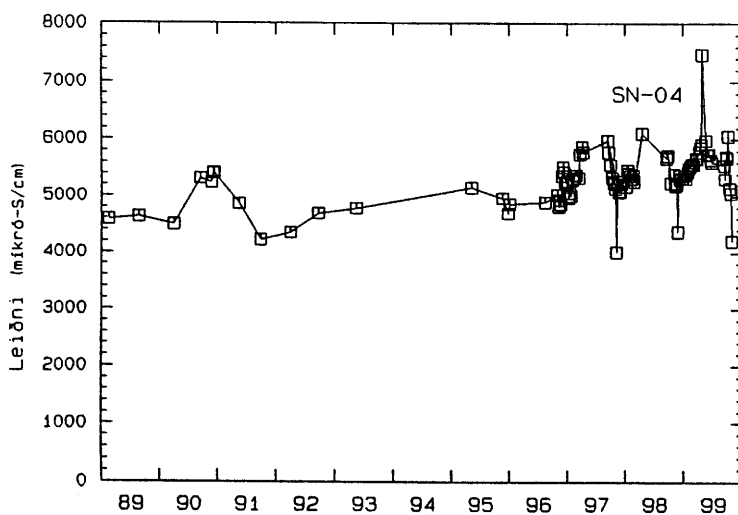
Í vinnsluvatninu er því yfirleitt neikvæð fylgni milli seltu og kísilstyrks, þ.e. kaldara vatnið er saltara. Þótt selta vinnsluvatnsins sé orðin nær 10% af sjávarseltu tærir vatnið ekki verulega stállagnir svo lengi sem súrefni kemst ekki inn í dreifikerfið og flestar gerðir forhitara endast sæmilega í þessu vatni. Selta er ekki beint tærandi heldur er hún hvati á öll efnahvörf. Þegar örlítið súrefni kemst inn í vatnið eins og gjarnan er í inntaksgrindum verður tæring verulega meiri í sölu vatni en fersku.

Eitt heilsýni var tekið úr holu SN-04 á árinu. Niðurstöður eru sýndar í töflu 1. Samanburður við fyrri sýni úr holunni (tafla 1 og myndir 1, 2 og 3) sýna verulega aðra efnasamsetningu nú en áður. Leiðni er mjög há, sömuleiðis styrkur klóríðs og styrkur kísils er jafnframt mun lægri en undanfarin ár. Athuga ber að síðasta heilsýnið frá holu SN-04 var tekið u.þ.b. 2½ klst. eftir að dæling hófst. Svo virðist sem vatnsæðar holunnar í grunna, salta og kalda hluta jarðhitakerfisins hafi hærri þrýsting en neðri æðar í henni og því sé niðurrensli í holunni þegar hún er í hvíld. Greinilegt er að holan hefur ekki náð jafnvægi þegar sýnið er tekið, og á þessu sýni sést greinilega að efra kerfið er mun saltara en það neðra, sem það lekur ofan í. Þetta sést meðal annars á styrk klóríðs sem nú er mun hærri en áður hefur fengist úr þessari holu og reyndar nokkurs staðar upp úr jarðhitakerfinu.

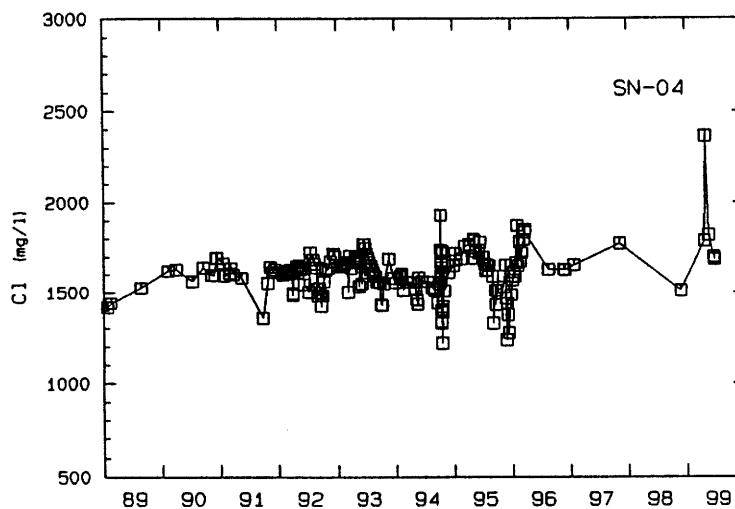
Tafla 1. Efnasamsetning vatns úr holu SN-04.

Sýnanúmer	19940082	19950077	19960529	19970681	19980597	19990127 ¹
Dagsetning	94-06-14	95-05-09	96-11-28	97-11-10	98-11-26	99-04-29
Hitastig °C	109,0	107,2	96,8	96,7	98,4	84,3
pH/°C	8,3/23	8,5/24	8,3/21	8,2/22	8,3/19	8,09/21,9
Heildar karbónat(CO ₂)	11,4	7,9	13,0	14,8	8,4	6,96
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,03	0,09	0,12	0,08	0,13	0,04
Bór (B) mg/l	0,23	0,22	0,25	0,25	0,23	0,32
Leiðni µS/cm	-	5150	-	5270	4370	7470
Kísill (SiO ₂) mg/l	104,8	97,7	108,7	102,0	112,9	93,8
Heildar uppl. mg/l	3428	3598	3445	3100	2966	4980
Súrefni O ₂ mg/l	0	0	0	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	615	633	633	668	622	842
Kalíum (K) mg/l	12,2	16,5	13,2	13,2	14,3	15,7
Magnesíum Mg mg/l	0,55	0,22	0,70	1,09	0,73	2,07
Kalsíum (Ca) mg/l	495	549	466	472	461	686
Fluoríð (F) mg/l	0,63	0,62	0,60	0,55	0,58	0,49
Klóríð (Cl) mg/l	1562	1691	1625	1774	1510	2362
Brómíð (Br) mg/l	-	-	5,4	-	5,2	-
Súlfat (SO ₄) mg/l	276	292	276	205	276	343
Ál (Al) mg/l	-	0,021	0,011	0,009	0,009	0,008
Járn (Fe) mg/l	-	0,0083	0,007	0,010	0,0078	0,014
Mangan (Mn) mg/l	-	0,007	0,011	0,012	0,0185	0,0283
δD ‰	-	-	-71,3	-73,1	-71,6	
δ18O ‰	-	-10,50	-10,40	-10,27	-10,44	-10,16
kalsedónhiti °C ²	112	106	114	110	117	105

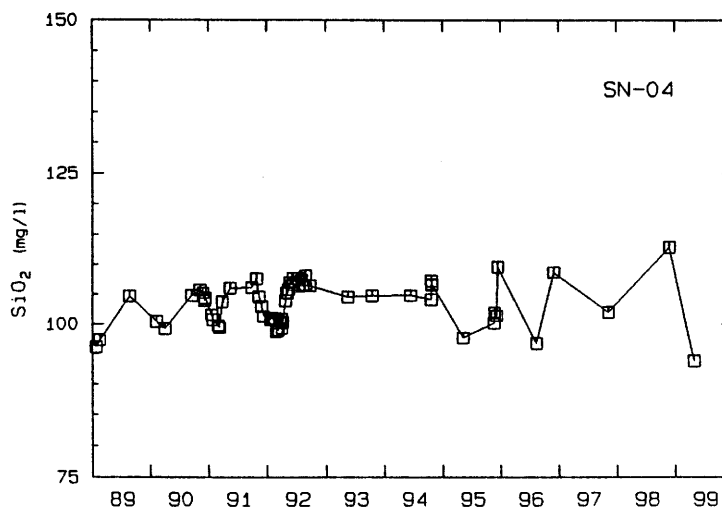
- ekki mælt ¹ Sýni tekið u.þ.b. 2½ klst. eftir að dæling hófst. ² Fournier, 1977.



Mynd 1. Breytingar í leiðni með tíma, hola SN-04.



Mynd 2. Breytingar í styrk klóríðs með tíma, hola SN-04.



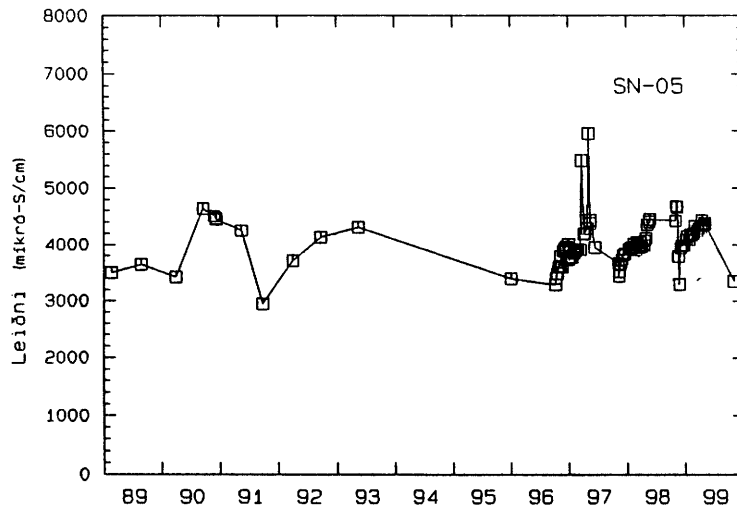
Mynd 3. Breytingar í styrk kísils með tíma, hola SN-04.

Eitt heilsýni var tekið úr holu SN-05 á árinu. Niðurstöður eru sýndar í töflu 2 og til samanburðar eru einnig sýndar niðurstöður greininga á sýnum frá 1993, 1997 og 1998. Sýni frá því haustið 1997 sýndi nokkuð aðra efnasamsetningu en fyrri sýni úr holu SN-05; lægri seltu og minna magn af uppleystum efnum almennt. Einnig var styrkur kísils óvenju hár. Í sýninu frá því nú í haust er efnasamsetning mjög svipuð og í eldri sýnum, en selta og heildarstyrkur uppleystra efna þó í hærri lagi og kísilstyrkur fremur lágur. Selta vatns í holu SN-05 hefur ávallt verið lægri en í hinum holunum, enda virðist holan vinna lítið úr efsta, kalda vatnskerfinu og reyndar lítið úr djúpkerfunum. Mest af vatninu virðist koma úr millikerfinu sem er um 100 °C og með klóríðstyrk um 900 mg/l, sbr. hér að framan. Styrkur kísils hefur hækkað lítillega í vatni úr holunni þegar lítið er yfir vinnslusöguna frá árinu 1989 (mynd 6) og var hæstur 1997 þegar hún var mjög lítið notuð. Árin 1998 og 1999 hefur hún verið notuð heldur meira og breytingar í kísilstyrk endurspeglar væntanlega hitabreytingar vegna vinnslu. Svipuð áhrif tengd vinnslu hafa sést greinilega áður í holu SN-05 (Hrefna Kristmannsdóttir o. fl. 1992).

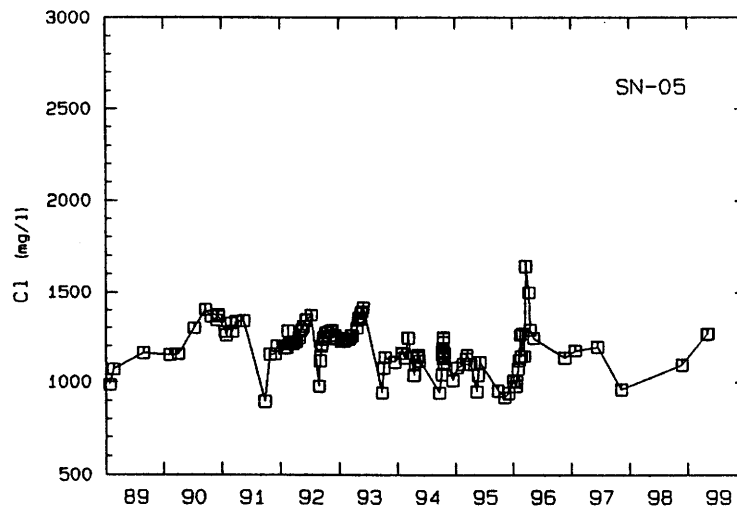
Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu SN-05.

Sýnanúmer	19930212	19970351	19970682	19980598	19990126
Dagsetning	93-10-18	97-06-12	97-11-10	98-11-26	99-04-29
Hitastig °C	99,4	99,6	91,6	102,2	99,2
pH/°C	8,4/24	8,5/22	8,5/22	8,5/21	8,5/22
Heildar karbónat(CO ₂)	11,3	8,5	17,1	8,3	6,4
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,13	0,21	0,25	0,27	0,17
Bór (B) mg/l	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21
Leiðni µS/cm	3650	3950	3440	3300	4340
Kísill (SiO ₂) mg/l	110,0	109,1	115,7	110,8	106,2
Heildar uppl. mg/l	2288	2320	1750	2322	2720
Súrefni O ₂ mg/l	0	0	0	0	0
Natríum(Na) mg/l	494	491	428	433	529
Kalíum (K) mg/l	10,0	10,4	9,5	11,3	11,0
Magnesium Mg mg/l	0,21	0,19	0,11	0,16	0,27
Kalsíum (Ca) mg/l	302	303	245	292	339
Flúoríð (F) mg/l	0,77	0,74	0,89	0,79	0,80
Klóríð (Cl) mg/l	1134	1194	961	1097	1265
Brómíð (Br) mg/l	-	3,8	-	3,6	-
Súlfat (SO ₄) mg/l	219	204	181	206	215
Ál (Al) mg/l	0,024	0,026	0,034	0,017	0,030
Járn (Fe) mg/l	0,010	0,015	0,005	0,005	0,006
Mangan (Mn) mg/l	0,008	0,005	0,003	0,007	0,005
δD ‰		-72,4	-74,5	-73,0	
δ18O ‰	-10,48	-10,50	-10,52	-10,46	-10,46
kalsedónhiti °C ¹	114	114	117	115	112

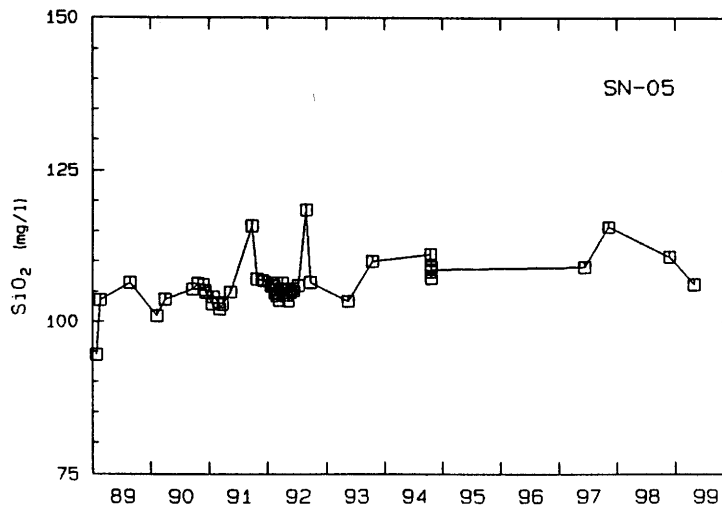
- ekki mælt ¹ Fournier, 1977.



Mynd 4. Breytingar í leiðni með tíma, hola SN-05.



Mynd 5. Breytingar í styrk klóríðs með tíma, hola SN-05.



Mynd 6. Breytingar í styrk kísils með tíma, hola SN-05.

Eitt heilsýni var tekin úr holu 12 á árinu. Niðurstöður eru sýndar í töflu 3 ásamt öðrum heilsýnum úr holunni. Efnasamsetning vatns hefur ekki breyst að marki milli ára 1998 og 1999 eins og sést á myndum 7, 8 og 9. Í upphafi vinnslu var vatnið úr holunni verulega saltara og kaldara. Þótt hola SN-12 hafi verið fóðruð í 800 m dugar það ekki til að koma í veg fyrir að vatn úr kaldari og saltari hluta vatnskerfisins leiti inn í holuna. Holan er í miðju uppstreymissvæðisins og því ekki ólíklegt að þar sé örari hringrás í kerfinu og þar með meira varmanám og meira innstreymi af söltu vatni og það nær því dýpra í kerfinu.

Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu SN-12.

Sýnanúmer	19950173	19960190	19970352	19970683	19980599	19990128
Dagsetning	95-10-13	96-08-02	97-06-12	97-11-10	98-11-26	99-04-29
Hitastig °C	95,5	108,8	106,8	107,8	107,2	108,4
pH/°C	8,3/22	8,4/23	8,4/22	8,3/22	8,4/22	8,4/23
Heildar karbónat(CO ₂)	7,8	10,4	12,2	14,1	7,7	5,3
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,11	0,11	0,11	0,18	0,14	0,15
Bór (B) mg/l	0,26	0,24	0,26	0,17	0,18	0,21
Leiðni µS/cm	5320	5080	5650	5420	4640	5470
Súrefni O ₂ mg/l	0	0	0	0	0	0
Kísill (SiO ₂) mg/l	98,9	101,4	99,9	105,0	101,0	104,6
Heildar uppl. mg/l	3908	3700	4030	2800	3370	3240
Natríum(Na) mg/l	723	630	634	601	612	607
Kalíum (K) mg/l	14,8	12,4	12,5	12,1	12,8	12,6
Magnesium Mg mg/l	0,51	0,25	0,18	0,27	0,29	0,27
Kalsíum (Ca) mg/l	594	506	523	491	524	500
Flúoríð (F) mg/l	0,51	0,63	0,61	0,68	0,64	0,78
Klóríð (Cl) mg/l	1930	1696	1723	1683	1626	1630
Brómíð (Br) mg/l		-	5,7	-	5,5	-
Súlfat (SO ₄) mg/l	310	283	285	221	293	286
Ál (Al) mg/l	0,007	0,016	0,029	0,022	0,015	0,028
Járn (Fe) mg/l	0,037	0,004	0,006	0,064	0,007	0,003
Mangan (Mn) mg/l	0,014	0,007	0,008	0,011	0,011	0,009
δD ‰	-	-	-72,5	-73,7	-72,6	
δ18O ‰	-10,37	-10,42	-10,40	-10,53	-10,44	-10,47
kalsedónhiti °C ¹	108	109	108	112	109	111

¹ Fournier, 1977.

Tafla 4. Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-04.

Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1998-11-26	1998-0597	4370	1999-04-16	1999-0221	5860
1998-12-04	1998-0666	5310	1999-04-23	1999-0222	5920
1998-12-11	1998-0669	5370	1999-04-29	1999-0127	7470
1998-12-18	1998-0673	5320	1999-05-21	1999-0223	5990
1998-12-28	1998-0676	5330	1999-05-28	1999-0224	5740
1999-01-08	1999-0011	5380	1999-06-04	1999-0225	5750
1999-01-15	1999-0014	5320	1999-06-10	1999-0226	5750
1999-01-25	1999-0017	5420	1999-06-21	1999-0227	5650
1999-01-29	1999-0020	5450	1999-06-25	1999-0228	5610
1999-02-05	1999-0091	5500	1999-09-13	1999-0444	5550
1999-02-11	1999-0094	5530	1999-09-17	1999-0445	5310
1999-02-19	1999-0097	5570	1999-09-24	1999-0446	5700
1999-02-26	1999-0100	5580	1999-09-30	1999-0447	5680
1999-03-05	1999-0103	5560	1999-10-08	1999-0448	6060
1999-03-18	1999-0106	5680	1999-10-15	1999-0449	5150
1999-03-26	1999-0109	5670	1999-10-22	1999-0450	5060
1999-04-09	1999-0220	5790	1999-10-29	1999-0451	4210

Tafla 5. Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-05.

Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1998-12-04	1998-0667	3940	1999-02-26	1999-0101	4200
1998-12-11	1998-0671	3970	1999-03-05	1999-0104	4330
1998-12-18	1998-0674	3980	1999-03-18	1999-0107	4240
1998-12-28	1998-0677	3980	1999-03-26	1999-0110	4280
1999-01-08	1999-0012	4090	1999-04-09	1999-0215	4300
1999-01-15	1999-0015	4140	1999-04-16	1999-0216	4430
1999-01-25	1999-0018	4090	1999-04-23	1999-0217	4330
1999-01-29	1999-0021	4090	1999-04-29	1999-0126	4340
1999-02-05	1999-0092	4180	1999-05-03	1999-0218	4380
1999-02-11	1999-0095	4160	1999-05-07	1999-0219	4360
1999-02-19	1999-0098	4190	1999-10-29	1999-0466	3350

Tafla 6. Mælingar á leiðni vatns úr holu SN-12.

Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dagsetning	Númer	Leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1998-12-04	1998-0668	5620	1999-05-21	1999-0209	5980
1998-12-11	1998-0672	5580	1999-05-28	1999-0210	5810
1998-12-18	1998-0675	5610	1999-06-04	1999-0211	5780
1998-12-28	1998-0678	5570	1999-06-10	1999-0212	5760
1999-01-08	1999-0013	5600	1999-06-21	1999-0213	5740
1999-01-25	1999-0019	5580	1999-06-25	1999-0214	5690
1999-01-29	1999-0022	5570	1999-08-03	1999-0452	5790
1999-02-05	1999-0093	5650	1999-08-06	1999-0453	5790
1999-02-11	1999-0096	5670	1999-08-13	1999-0454	5730
1999-02-19	1999-0099	5680	1999-08-20	1999-0455	5730
1999-02-26	1999-0102	5670	1999-08-30	1999-0456	5660
1999-03-05	1999-0105	5680	1999-09-06	1999-0457	5580
1999-03-18	1999-0108	5730	1999-09-13	1999-0458	5450
1999-03-26	1999-0111	5700	1999-09-17	1999-0459	5470
1999-04-09	1999-0204	5650	1999-09-24	1999-0460	5540
1999-04-16	1999-0205	5710	1999-09-30	1999-0461	5490
1999-04-23	1999-0206	5620	1999-10-08	1999-0462	5370
1999-04-29	1999-0128	5470	1999-10-15	1999-0463	5470
1999-05-03	1999-0207	5820	1999-10-22	1999-0464	5520
1999-05-07	1999-0208	5900	1999-10-29	1999-0465	5180

3. ÚTFELLINGAHÆTTA

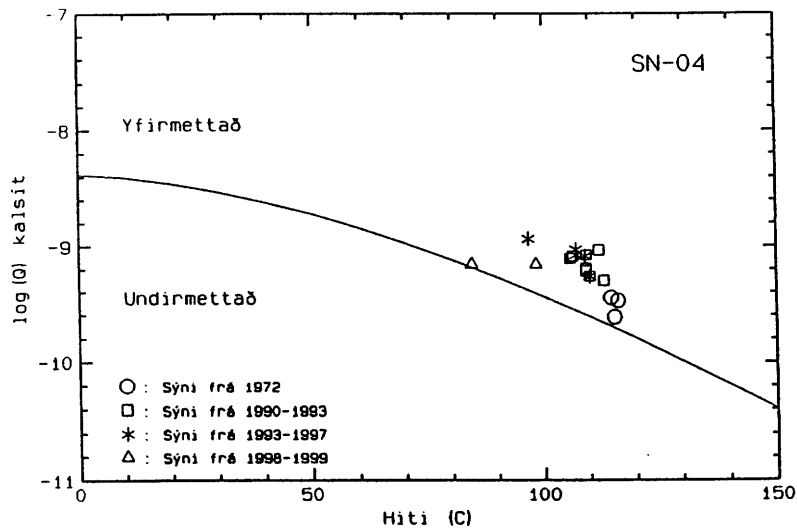
Eins og bent hefur verið ítrekað á þá var kalkmettunargráða vinnsluvatnsins á Seltjarnarnesi stöðugt að aukast á tímabilinu frá 1990-1997 (Hrefna Kristmannsdóttir o. fl., 1992, 1993, 1994, 1995, 1997). Jarðhitavatn á Íslandi er yfirleitt nákvæmlega kalkmettað þar sem kalksteindin kalsít stjórnar efnajafnvægjum í vatninu. Við blöndun misheits vatns í borholu raskast þessi jafnvægi og í söltu vatni getur reyndar verið eðlilegt að það reiknist svolítið yfirmettað án þess að hætta sé á útfellingu. Yfirmettunargráða í vinnsluvatni borholna á Seltjarnarnesi, einkum SN-04, SN-06 og SN-12, var lengi um og jafnvel hærri en þau mörk, sem útfellingar hafa orðið við annars staðar og því var vel fylgst vel með þróuninni. Vegna seltu vatnsins og hvetjandi áhrifa hennar á efnahvörf og þar með útfellingar þarf að hafa enn meiri aðgæslu. Þegar hola SN-12 var boruð var með mjög djúpri vinnslufóðringu, í 800 m dýpi, leitast við að koma í veg fyrir blöndun mjög misheitra æða. Í holunni kom þó fram æð úr kaldari hluta jarðhitakerfisins neðan fóðringar, en hún er þó um 90°C. Mun minni hætta ætti að vera á útfellingu þar sem allt vatn er yfir 90°C heitt, en þar sem hiti köldustu æðanna fer allt niður í 70°C eins og í hinum holunum. Síðustu tvö ár hefur kalkmettunargráðan í

vinnsluvatni á Seltjarnarnesi staðið í stað eða jafnvel minnkað örlítið (Hrefna Kristmannsdóttir o. fl., 1998).

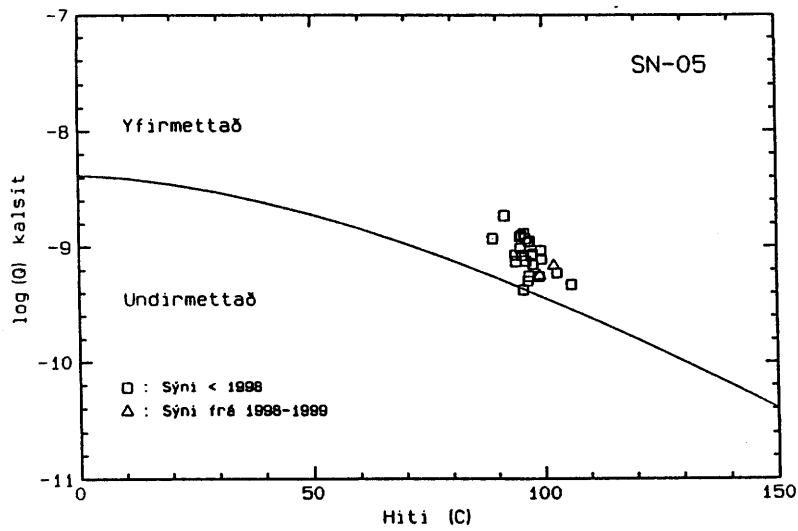
Eins og fram kom í síðasta kafla reiknast vatn holu SN-04 nú nákvæmlega kalkmettað, eins og reyndar er algengast í jarðhitavatni á Íslandi. Á mynd 10 er sýnd útreiknuð kalkmettunargráða vinnsluvatns úr holu SN-04 í nokkrum sýnum frá því vinnsla hófst. Kalkmettunargráðan hefur verið mjög há á síðari árum, en hefur þó nær staðið í stað í 2-3 ár og í sýninu í fyrra í ár lækkaði hún talsvert og liggur nú á mettnarferlinum. Í holum SN-05 og SN-12 (myndir 11 og 12) hefur kalkmettunargráða einnig verið há, en þó breytilegri í SN-05. Mettnargráðan hefur lækkað nokkuð í báðum þessum holum á undanförunum tveimur árum og er nú vel neðan við þau mörk sem talin eru hættuleg vegna útfellingar. Það þýðir að ekki er lengur talin hætta á útfellingu í dreifikerfi veitunnar.

Lækkun á reiknaðri kalkmettun í vatni stafar af því að virkni kalsíums og/eða karbónats hefur breyst eða að breytingar hafa orðið á sýrustigi en þessir þættir ráða kalkmettun vatnsins. Styrkur karbónats hefur lækkað í öllum vatnssýnunum og sýrustig lækkað í vatni holu SN-04. Ástæðan til þess að einhver þessara þátta breytist í vinnsluvatni getur stafað af því að blöndunarhlutföll mismunandi æða breytist. Einnig getur orðið útfelling niðri í holunum og þá reiknast að sjálfsögðu minni yfirmettun í vatninu sem upp kemur. Þótt það sé ánægjulegt að kalkmettunargráða lækki, þá vekur a.m.k. gildið í holu SN-04 nokkra athygli og áhyggjur í ljósi þess að í því sýni er væntanlega um að ræða vatn sem hefur runnið um holuna úr efri æðum niður í þær neðri. Það að gildið fellur nákvæmlega á mettnarferil gæti bent til að útfelling hafi orðið í þeirri holu og náðst jafnvægi. Eins er hugsanlegt að útfelling verði í berginu umhverfis holuna þegar niðurrennsli er. Ekki er mögulegt að komast að því að skoða þetta nema með því að taka upp dælu úr holunni og mæla og virðist ekki ástæða til að efna til slíks kostnaðar að svo stöddu. Þótt kalk falli út úr holunni þarf það ekki að skapa alvarleg vandamál, en lagt til að fylgjast með þróuninni. Til að byrja með mætti athuga kalkmettun í sýnum úr holunni við mismunandi aðstæður.

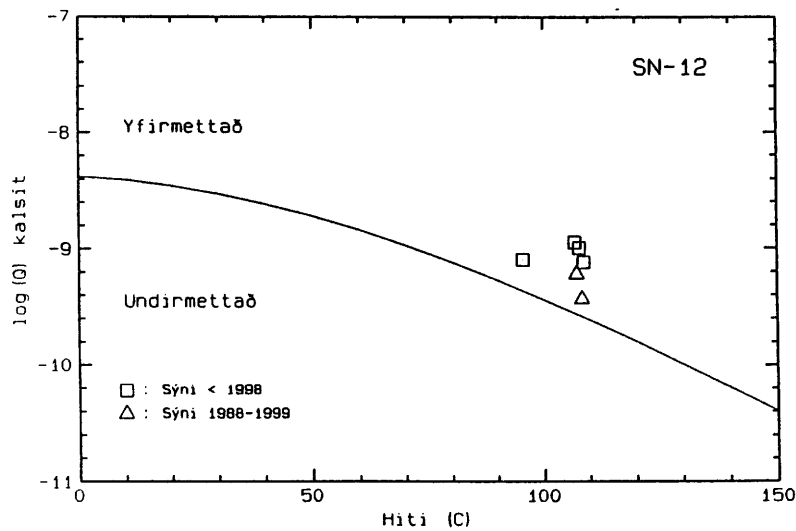
Búnaður til útfellingaprófunar hefur verið settur í aðveitulagnir frá holum SN-04, SN-05 og SN-06 til að sjá strax ef kalkútfellingar verða í vatninu og grípa til mótvægisáðgerða. Starfsmenn hitaveitunnar sjá um að skoða plöturnar af og til og er mælt með að það sé gert u.þ.b. annan hvern mánuð þrátt fyrir að útfellingahætta í dreifikerfi virðist nú lítil.



Mynd 10. Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-04.



Mynd 11. Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-05.



Mynd 12. Kalkmettun vinnsluvatns úr holu SN-12.

4. VINNSLUGÖGN

Vinnslugögnin eru með sama sniði og undanfarin ár (t.d. Hrefna Kristmannsdóttir og fl., 1998). Bjarni Bjarnason hjá Rafteikningu hefur séð um að útvega þau sjálfvirku gögn sem notast er við, en að auki er notast við vatnsborðsgögn sem skráð eru handvirkt af starfsmönnum hitaveitunnar.

Í heildina virðist sjálfvirka skráningin nokkuð góð, en fáeinar gloppur eru þó í henni. Sjálfvirku mælingarnar eru sýndar á myndum 13–15, en sjálfvirk skráning er í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12, og er mælt á klukkutíma fresti.

Árið 1999 voru holur SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12 í notkun, þó aðallega SN-12 eins og hin fyrri ár, og eru til þökkalegar rennslismælingar úr þeim. Eins og áður hefur verið bent á (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1997) þá fer rennslið ekki niður í núll þegar holurnar eru teknar úr notkun, og gæti hér verið um núllstillivandamál að ræða, en einnig er vatn frá dælustöð látið leka ofan í holurnar þegar þær eru ekki í notkun. Þetta hefur einnig áhrif á hitamælingar í holunum og eru því engin sjálfvirk gögn sýnd fyrir þau tímabil sem viðkomandi hola er ekki í notkun. Þegar heildarrennsli í holunum er reiknað, er þeim skráningum sleppt þar sem rennslið er undir 10 tonnum/klst, þar sem þá er líklegt að holan sé ekki í notkun. Hitamælar í holum SN-05 og SN-06 virðast vera í ólagi allt árið, eins og það síðasta.

Mælirör í holum SN-04 og SN-06 hafa verið í sundur undanfarin ár, og því ekki hægt að mæla vatnsborð í þeim, hvorki sjálfvirkt né handvirkt. Því eru einungis til handvirkar vatnsborðsmælingar í holum SN-01, SN-02, SN-03, SN-05 og SN-12 og eru þær sýndar á myndum 16 og 17.

4.1. Vinnsla

Á mynd 13 eru rennslismælingar úr vinnsluholunum sýndar, en tafla 7 sýnir hvenær dælt var úr hverri holu fyrir sig. Eins og undanfarin ár er vinnslan langmest úr holu SN-12, en holur SN-04, SN-05 og SN-06 eru notaðar eftir vatnsþörf, og því ekki notaðar yfir sumarmánuðina.

Tafla 8 sýnir reiknað meðalrennsli hvers mánaðar árin 1994 til 1999 (engin gögn árið 1995). Í meginráttum má segja að vinnslan hafi verið svipuð og síðasta ár, heldur meiri vinnsla er fyrstu mánuði ársins, en aðeins minni síðari mánuði ársins miðað við vinnsluna 1998. Sá munur sem sést fyrir einstaka mánuði milli ára, er líklega vegna mismunandi lofthita. Æskilegt væri að rennslismælar yrðu kvarðaðir reglulega, til að hægt væri að fara í nákvæmari útreikninga á heildarvatnsvinnslu svæðisins, og tengja breytingar á henni við umhverfisþætti.

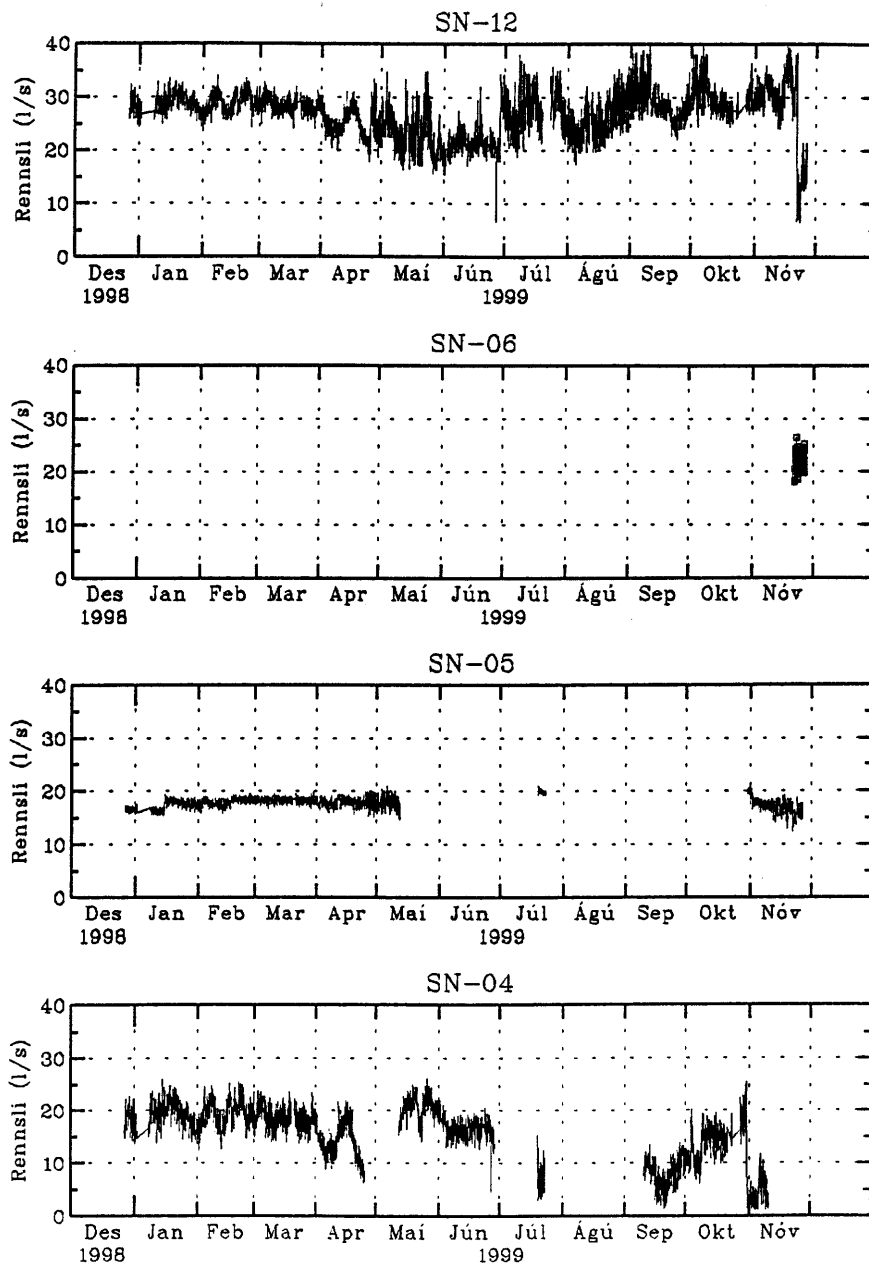
Tafla 7. Vatnsvinnsla úr holum, tímabilið 1-des-1998 til 26-nóv-1999.

Hola	Athugasemdir
SN-01	Ekki í notkun
SN-02	Ekki í notkun
SN-03	Ekki í notkun
SN-04	Í notkun 01.12.98 – 25.04.99, 12.05.99 – 28.06.99, 19.07.99 – 23.07.99 og 10.09.99 – 10.11.99
SN-05	Í notkun 01.12.98 – 12.05.99, 19.07.99 – 23.07.99 og 30.10.99 – 26.11.99
SN-06	Í notkun 21.11.99 – 26.11.99
SN-12	Í notkun 01.12.98 – 19.07.99 og 23.07.99 – 26.11.99

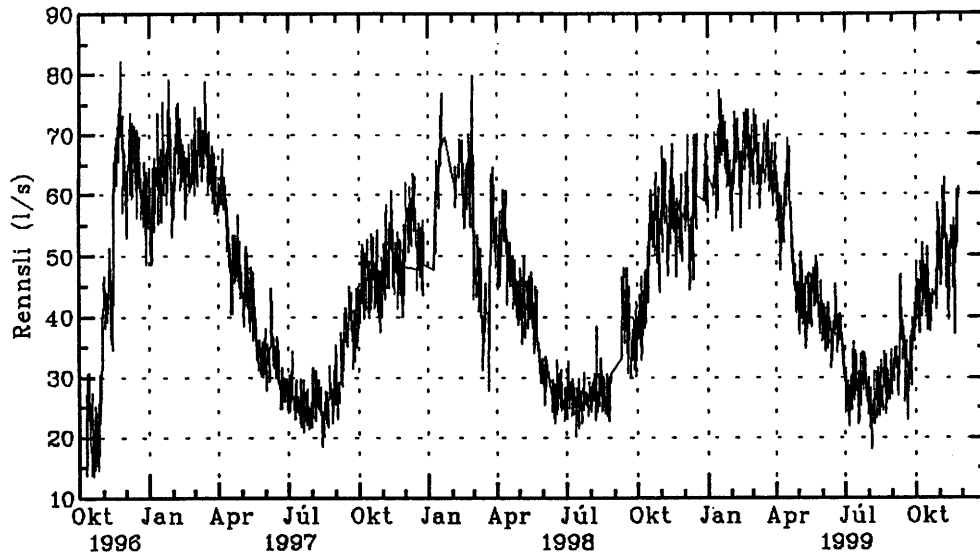
Tafla 8. Mánaðarmeðaltal heildarrennslis (l/s) áráanna 1994 til 1999. Engin gögn eru til fyrir árið 1995.

Mánuður	Meðal- rennsli 1994	Meðal- rennsli 1996	Meðal- rennsli 1997	Meðal- rennsli 1998	Meðal- rennsli 1999
Janúar			62.3	63.1	65.4
Febrúar			65.3	62.8	66.4
Mars			65.0	60.9	64.9
Apríl			53.0	49.0	54.1
Mái	20.6		39.1	39.7	42.9
Júní	20.9	28.3	31.2	27.3	37.1
Júlí	17.9	24.7	24.8	26.2	28.5
Ágúst	20.1	25.5	25.9	27.4	27.5
September	23.0	30.1	35.6	38.6	34.7
Október	25.1		45.3	49.2	44.2
Nóvember		55.6	48.8	56.1	51.7
Desember		62.4	53.5	58.7	

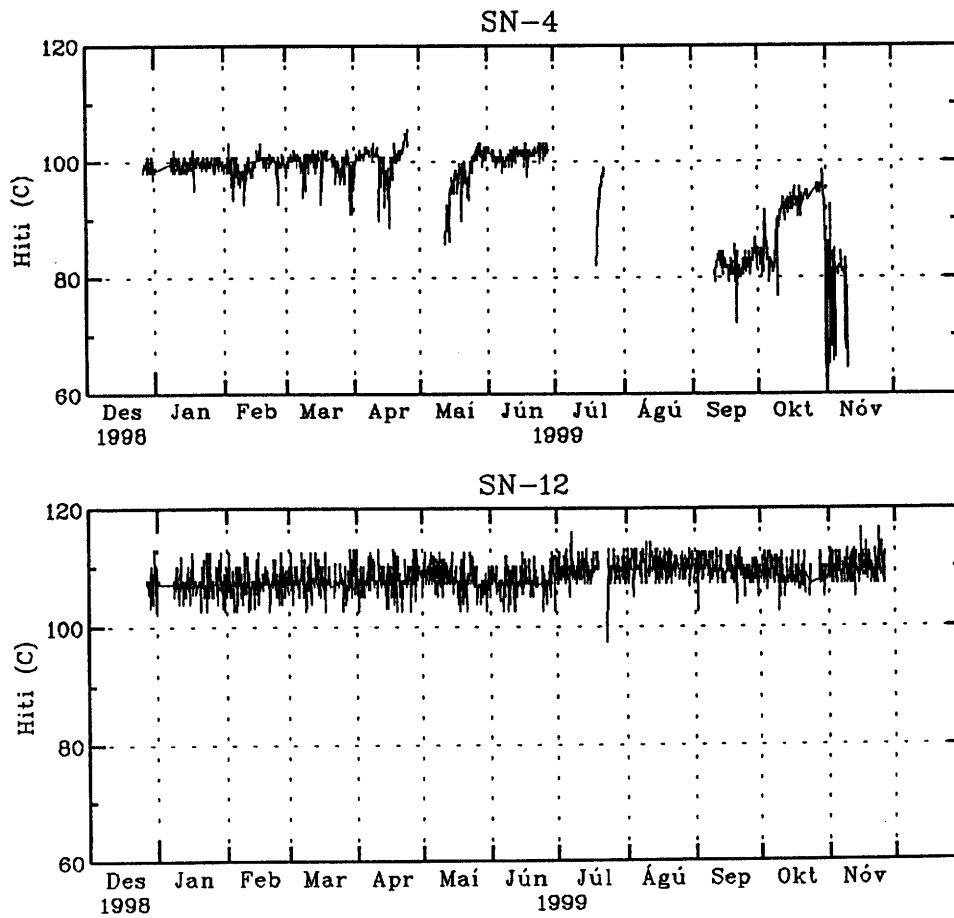
Mynd 14 sýnir heildarvinnslu úr holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12 samkvæmt sjálfvirku skráningunni. Ef vatnsnám úr einhverri holunni er minna en 10 tonn/klst þá er þeirri mælingu sleppt í samtölunni, þar sem þá er líklegt að holan sé ekki í notkun, en eins og bent er á hér að framan þá fer rennslið ekki niður í núll þó holan sé tekin úr notkun. Á mynd 14 sést vel munurinn á vatnsnámi yfir sumar- og vetrarmánuðina, en meðalrennsli fyrir síðustu 3 ár er um 45,9 l/s, en er um 46,7 l/s árið 1999 (reiknað milli 27. des. 1998 og 26. nóv. 1999). Ef um 150.000 tonn eru áætluð fyrir desembermánuð, reiknast heildarvatnsnám fyrir árið 1999 nálægt einni og hálfri milljón tonna.



Mynd 13. Sjálfvirkar rennslismælingar í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12.



Mynd 14. Heildarvatnsvinnsla í holum SN-04, SN-05, SN-06 og SN-12.



Mynd 15. Sjálfvirkar hitamælingar í holum SN-04 og SN-12.

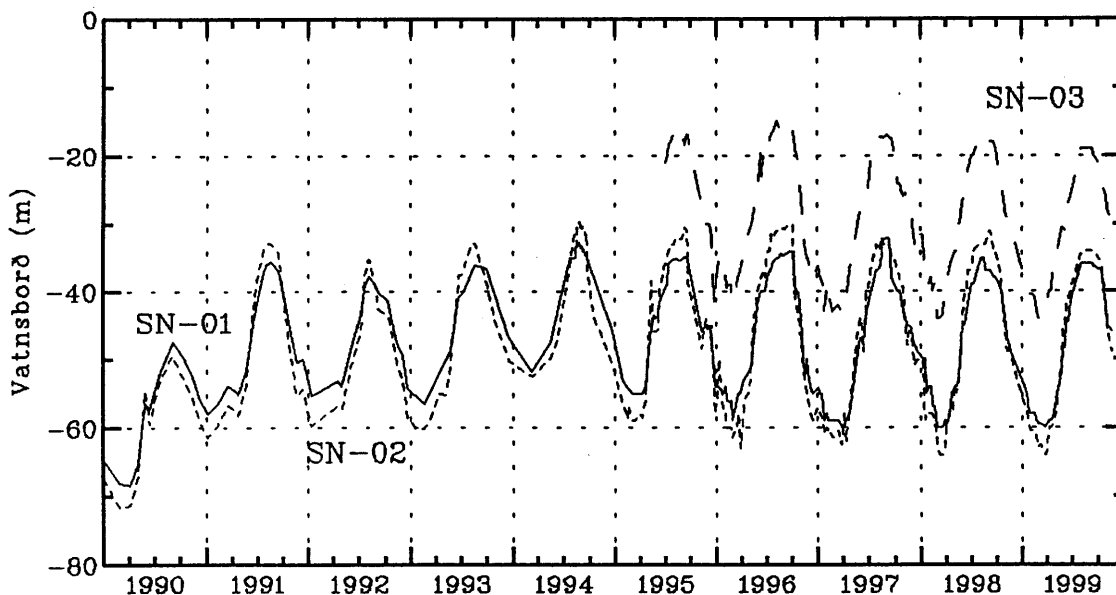
4.2. Vatnshiti

Á mynd 15 eru sjálfvirkar hitamælingar í holum SN-04 og SN-12 sýndar, en hitamælir var ekki í lagi í holum SN-05 og SN-06. Eins og fyrr er hitinn í holu SN-04 nokkuð breytilegur, er lágur fyrst eftir að hún er tekin í notkun eftir hlé, um 80°C, og virðist halda þeim hita þangað til rennslið er komið yfir 10 l/s, en þá hækkar hitinn og verður hæstur rúmlega 100°C. Væntanlega er ástæðan sú að dýpri og heitari æðar verða sýnilegri eftir því sem rennslið eykst. Um mánaðamótin október-nóvember er töluvert flökt á hitastiginu í holu SN-04, en þá var vinnslan úr holunni mjög lítil, sem skýrir þessar hitasveiflur. Hitinn í holu SN-12 er mun stöðugri en í SN-04, er um 108,4°C að meðaltali yfir árið.

4.3. Vatnsborð

Handvirkar vatnsborðsmælingar síðustu ára í holum SN-01, SN-02 og SN-03 eru sýndar á mynd 16, og vatnsborðsmælingar í holum SN-05 og SN-12 á mynd 17. Engar sjálfvirkar vatnsborðsmælingar eru til fyrir þetta tímabil.

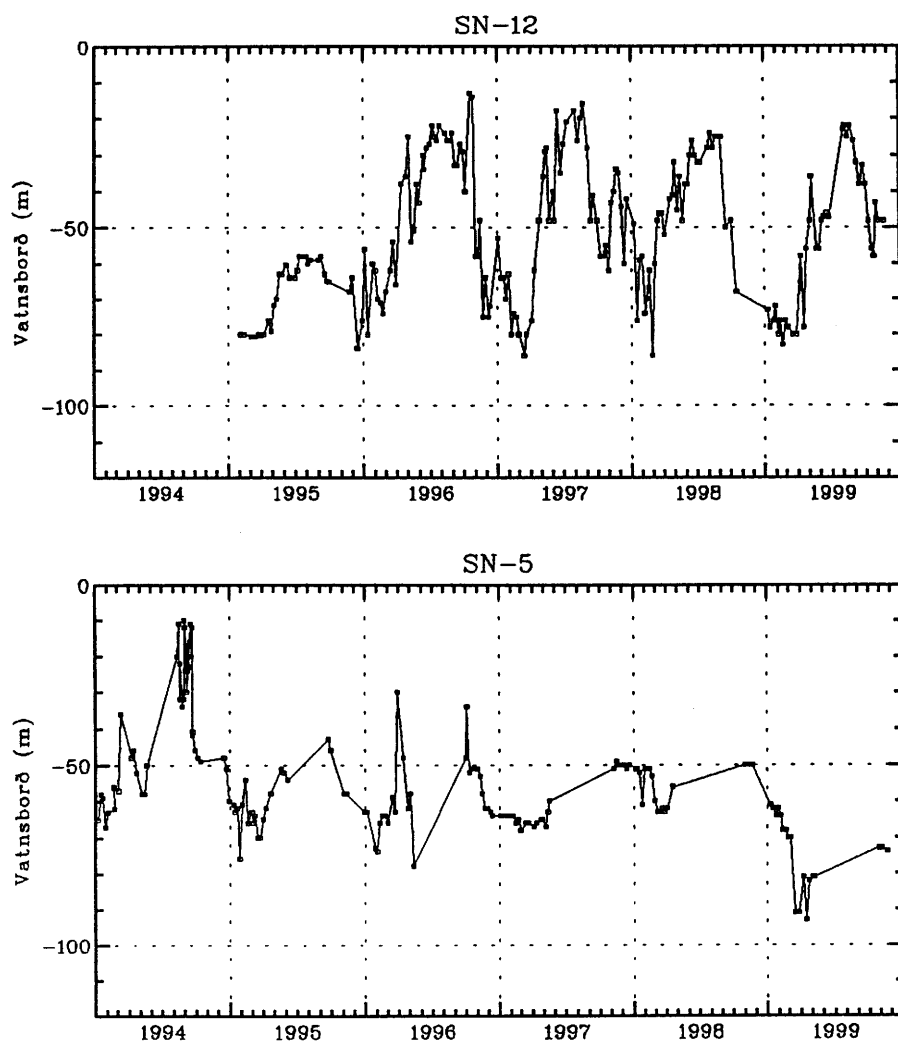
Vatnsborðið í holum SN-01, SN-02 og SN-03 sýnir mjög svipaða hegðun og undanfarin ár, sem gæti bent til þess að vatnsvinnslan hafi verið álíka mikil þessi ár. Vatnsborðið í þessum holum sýnir mikla fylgni með vatnsvinnslu, er hátt yfir sumarmánuðina þegar vinnslan er lítil, en lækkar síðan yfir vetrarmánuðina þegar vinnslan eykst.



Mynd 16. Vatnsborð í holum SN-01, SN-02 og SN-03.

Vatnsborðsmælingar í holu SN-05 eru nokkuð stopular, sjá mynd 17, ekkert var mælt í holunni þegar hún var ekki í notkun, og þyrfti helst að bæta úr því. Töluvert stökk í mældu vatnsborði varð í mælingunni 18. mars 1999, og var þá skipt um þrýstiskynjara. Hafði það sáralítill áhrif á vatnsborðsmælinguna og verða mælingar á vatnsborði eftir þennan dag að teljast varasamar. Hugsanlega er einhver leki í kerfinu og þyrfti að yfirfara það hið fyrsta. Því er nú sérstaklega erfitt að bera vatnsborðsmælingar í holunni saman milli ára, auk þess sem erfitt er að skoða hvernig vatnsborðið breytist með vatnsvinnslu á svæðinu þegar engar mælingar eru til fyrir þau tímabil sem holan er ekki í notkun.

Nokkuð góðar handvirkar vatnsborðsmælingar eru til úr holu SN-12, sjá mynd 17, en hún var í notkun mestallt árið 1999 (sjá töflu 7). Vatnsborðið í holu SN-12 sýnir sömu hegðun og í holum SN-01, SN-02 og SN-03, þ.e. hátt vatnsborð þegar heildarvinnslan er lítil, og lágt vatnsborð þegar heildarvinnslan er mikil, en vatnslám í holu SN-12 er nokkuð stöðugt yfir árið ($26,8 \pm 4$ l/s) og breytingar í heildarvatnslámi því stjórnað af mismunandi vinnslu í hinum holunum.



Mynd 17. Vatnsborð í holum SN-05 og SN-12

5. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Sveiflur í seltu vatnsins voru talsverðar eftir vinnslu úr holunum, en minnstar í holu SN-12. Neikvæð fylgni virðist vera á milli seltu og kísilstyrks, þ.e. kaldara vatnið er saltara.

Mælingar á rafleiðni vatnsins eru notaðar sem mælikvarði á seltu og þar með sjómengun vinnsluvatnsins, þar sem þær mælingar eru helmingi ódýrari en mælingar á klóriði gefa nær sömu upplýsingar.

Eitt sýni ársins úr holu SN-04 er saltasta vatn sem mælst hefur til þessa upp úr jarðhitasvæðinu. Það var tekið eftir langa hvíld holunnar og talið að millirennisli hafi þá verið frá efri æðum niður í neðri æðar og ekki verið komið á jafnvægi þegar sýnið var tekið.

Selta virðist annars almennt ekki fara hækkandi í vatni vinnsluholnanna.

Þótt selta vinnsluvatnsins sé nær 10% af sjávarseltu tærir vatnið ekki verulega stállagnir svo lengi sem súrefni kemst ekki inn á dreifikerfið og flestar gerðir forhitara endast sæmilega í þessu vatni.

Yfirmettun kalks í vinnsluvatni úr öllum holunum reiknast nú mjög lítil og er ekki talin hætta á kalkútfellingu í dreifikerfi.

Hugsanlegt er að kalkútfelling sé í holu SN-04, einkum þegar hún er ónotuð og niðurrennisli er úr efri æðum.

Sjálvirk skráning á rennsli úr vinnsluholunum var nokuð heilleg fyrir árið 1999, en hún var í gangi u.þ.b.95% ársins. Hins vegar er enn ólag á hitamælingum í holum SN-05 og SN-6, og vatnsborðsmælingum í holum SN-04 og SN-06, en þar er mælirör í sundur og því ekki heldur hægt að mæla vatnsborðið þar handvirkt.

Vatnsborð í holum SN-01, SN-02, SN-03 og SN-12 er svipað og undanfarin ár, en handvirkar mælingar í holu SN-05 voru mjög stopular, auk þess sem leki virðist hafa komið í kerfið og þyrfti að yfirfara það fljótlega. Æskilegt væri að handvirkar vatnsborðsmælingar í vinnsluholunum yrðu gerðar reglulega, jafnvel þó þær séu ekki í notkun, t.d. á sömu tímum og í holum SN-01, SN-02 og SN-03.

Vinnsla árið 1999 gæti hafa verið örlítið meiri en árið 1998, eða um 1,5 Mtonn. Gott væri að rennismælar yrðu kvarðaðir svo hægt sé að staðfesta hversu mikið vatn er unnið úr jarðhitakerfinu.

Hitastig í holu SN-12 er nokkuð stöðugt og hefur ekki breyst verulega hin síðari ár en hitastig í holu SN-04 er mun sveiflukenndara eftir vinnslunni.

6. HEIMILDIR

Fournier, R. O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5, 41-50.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Niðurstöður mælinga og prófana í holu SN-06. Orkustofnun, Greinargerð HK-94/07.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Dæluþrófun holu SN-12 á Seltjarnarnesi. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, Greinargerð HK-95/10.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1992. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1991-1992. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-93061/JHD-34 B.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1993. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1992-1993. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-93077/JHD-39 B.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Guðrún Sverrisdóttir, 1994. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1993-1994. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-94062/JHD-36 B.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius, Guðrún Sverrisdóttir og Sverrir Hákonarson, 1995. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1994-1995. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-95061/JHD-40 B.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Magnús Ólafsson 1996. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1995-1996. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-96083/JHD-48 B.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sigvaldi Thordarson og Magnús Ólafsson 1997. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1996-1997. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-96078.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sigvaldi Thordarson og Magnús Ólafsson 1998. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1997-1998. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-98076.

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius, 2000. The development of the Seltjarnarnes geothermal field, SW Iceland during thirty years exploitation. Proceedings of the WGC in Japan, í prentun.

Vigdís Harðardóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1999. Hóla SN-12 á Seltjarnarnesi. Borun, prófanir og vinnslueiginleikar. Greinargerð, VH/HK-1999/01, 7 bls auk mynda.