



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

SÝNIEINTAK
-má ekki fjarlægja

REYKJANES HOLA RN-11

**Efnahvörf kísils og málm-silíkata
í jarðsjó á hitabilinu 50 til 240°C
Tilraunir í háþrýstihylki**

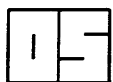


**Trausti Hauksson, Kemía sf.
Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun**

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

2003

OS-2003/012



ORKUSTOFNUN
Rannsóknasvið

Trausti Hauksson, Kémía sf.
Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun

REYKJANES HOLA RN-11

**Efnahvörf kísils og málmsilíkata í
jarðsjó á hitabilinu 50 til 240°C
Tilraunir í háprýstihylki**

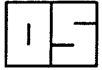
Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

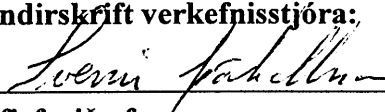
OS-2003/012

Mars 2003

ISBN 9979-68-116-0

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ
Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896
Akureyri: Háskólinn á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.
Sími: 463 0559 – Fax: 463 0560
Netfang: os@os.is – Veffang: <http://www.os.is>



Skýrsla nr.: OS-2003/012	Dags.: Mars 2003	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: REYKJANES – HOLA RN-11 Efnahvörf kísils og málm silíkata í jarðsjó á hitabilinu 50-240°C. Tilraunir í háþrýstihylki	Upplag: 30	
	Fjöldi síðna: 34	
Höfundar: Trausti Hauksson, Kemía sf Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun	Verkefnisstjóri: Sverrir Þórhallsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Áfangaskýrsla. Rannsóknir 2002.	Verknúmer: 8-630-243	
Unnið fyrir: Hitaveitu Suðurnesja		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Tilraunir voru gerðar í sérsmíðuðu háþrýstihylki, þar sem jarðsjór úr borholu RN-11 á Reykjanesi var geymdur undir þrýstingi og við stöðugt hitastig, allt að 240°C, og fylgst með efnahvörfum kísils og annarra steinefna. Markmið tilraunanna var að kanna við hvaða hitastig og hversu hratt útfellingar myndast. Niðurstaðan var m.a. að fyrir neðan 200°C skiljuhita (15,5 bar-abs) er jarðsjórinn yfirmettaður með tilliti til kísils. Skeljunarhraðinn var mjög breytilegur og mestur eftir kælingu úr 200°C í 100°C eða um 33 mm/á ári. Skeljun var minni við 50°C. Í tilraunum, sem gerðar voru við yfir 200°C hita, minnkaði styrkur áls, magnesíum, járn og mangans í jarðsjónum. Styrkminnkunin samsvaraði samtals um 1,4 mm skeljunarhraða á ári miðað við að málmarnir falli út sem siliköt. Tilraunirnar eru liður í fjöþættum rannsóknnum á aðferðum til draga úr áhrifum útfellinga og nýtast við hönnun virkjunar.		
Lykilorð: Kísill, leysni kísils, kísilútfellingar, jarðsjór, útfelling, útfellingarhraði, súlfíð, snefilefni í útfellingu, Reykjanes, Hitaveita Suðurnesja.	ISBN-númer: 9979-68-116-0	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: HÁ, SP	

EFNISYFIRLIT

1.	INNGANGUR	5
2.	FRAMKVÆMD TILRAUNA	6
	2.1 Tilraunabúnaður	6
	2.2 Framkvæmd	7
	2.3 Efnagreiningar	7
3.	NIÐURSTÖÐUR TILRAUNA	8
	3.1 Breytilegur skiljuþrýstingur	8
	3.2 Kæling jarðsjávar	13
	3.3 Jafnvægisstyrkur kísils	17
4.	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	20
5.	HEIMILDIR	21
	VIÐAUKI 1 Niðurstöður efnagreininga á kísli og sýrustigi	23
	VIÐAUKI 2 Niðurstöður efnagreininga á aðal- og aukaefnum	29

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1	Samsetning útfellinga .	12
----------------	--------------------------------	-----------

MYNDASKRÁ

Mynd 1	Háþrýstihylki, tengimynd.	6
Mynd 2	Styrkur kísils í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	8
Mynd 3	Styrkur natríums í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	9
Mynd 4	Styrkur magnesíums í tilraunahylki við 200, 220 og 240.	9
Mynd 5	Styrkur járns í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	10
Mynd 6	Styrkur mangans í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	10
Mynd 7	Styrkur áls í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	11
Mynd 8	Styrkur molybdenums í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.	12
Mynd 9	Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 180 °C.	13
Mynd 10	Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 150 °C.	14
Mynd 11	Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 100 °C.	14
Mynd 12	Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 50 °C.	15
Mynd 13	Skeljunarhraði á móti hitastigi.	16
Mynd 14	Styrkur einliða kísils í tilraunahylki eftir kælingu.	17
Mynd 15	Log(SiO ₂ -m) á móti 1/T (T: hitastig K).	17
Mynd 16	Jafnvægisstyrkur kísils í jarðsjó.	18
Mynd 17	Kísilstyrkur í jarðsjó á Reykjanesi.	19

1. INNGANGUR

Áformuð er virkjun jarðhita á Reykjanesi til raforkuvinnslu og iðnaðar. Boraðar hafa verið nokkrar holur til þess að rannsaka nýtingarhæfni gufunnar og jarðsjávarins.

Reynsla af rekstri borhola á Reykjanesi hefur sýnt að útfellingar kísils, málmsilikata og súlfíða geta verið til trafala í rekstrinum. Vegna þessa þótti rétt að kanna með skipulögðum tilraunum við hvaða þrýsting útfellingar byrja að myndast og útfellingarhraða við breytilegt hitastig. Einnig var áætlað að kanna ýmsar leiðir til þess að hindra eða hægja á útfellingunum.

Í þessari skýrslu er lýst tilraunum sem gerðar voru í háþrýstihylki, þar sem jarðsjór var geymdur undir þrýstingi og við stöðugt hitastig og fylgst með efna- hvörfum kísils og annarra steinefna. Slíkar tilraunir voru gerðar árið 1994 í Svartsengi (Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995) og á Nesjavöllum (Trausti Hauksson 1996), og gáfu góðar upplýsingar um eiginleika kísils í jarðhitavatni. Með tilraununum átti að varpa ljósi á eða staðreyna eftirfarandi:

1. Jafnvægisstyrk kísils og annarra uppleystra steinefna í jarðsjónum.
2. Hraða kísilútfellingar og fjölliðunar.
3. Hraða útfellingar málmsilikata/súlfíða.
4. Áhrif segulmeðhöndlunar á útfellingarhraða kísils.
5. Áhrif kísileðju á útfellingarhraða kísils.
6. Áhrif þynnigar með þéttivatni og sýru á útfellingarhraða kísils.

Markmið tilraunanna var að kanna hvort og þá hversu hratt kísill fellur út eða fjölliðast þegar jarðsjórinn fer niður fyrir metnunarmörk ókristallaðs kísils. Einnig var áætlað að skoða myndun málmsilikata og súlfíða í sama búnaði. Þær tilraunir þurfti að gera við háan hita, allt að 250 °C. Búnaður sá sem notaður var í Svartsengi og á Nesjavöllum hentaði ekki til tilrauna við svo háan hita og þurfti því að smíða nýjan, sem samanstóð af háþrýstiskilju, þrýstihylki með hrærubúnaði. Var hann gerður til þess að þola allt að 64 bar-abs þrýsting og 250 °C hita.

Hér eru teknar saman helstu niðurstöður tilrauna með jarðsjó úr holu RN-11 á Reykjanesi, sem gerðar voru í október árið 2002. Aðeins tókst að ljúka fyrri hluta tilraunanna, þ.e. liðum 1, 2 og 3 hér á undan, vegna þess að loka þurfti holunni til viðgerðar.

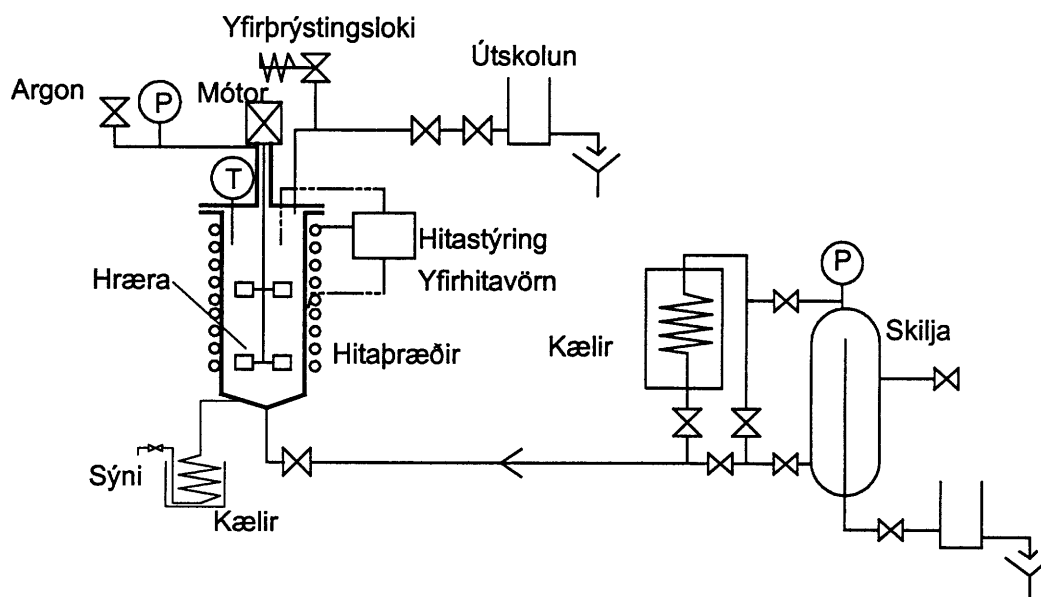
Yfirumsjón með tilraununum var í höndum Sverris Þórhallssonar hjá Orkustofnun og Alberts Albertssonar hjá Hitaveitu Suðurnesja. Hönnun og umsjón með smíði tilraunabúnaðar var í höndum Jónasar Matthíassonar hjá Varmaverki hf og Geirs Þórhallssonar hjá Hitaveitu Suðurnesja. Trausti Hauksson, Kemíu sf, sá um framkvæmd tilrauna og efnagreiningar á staðnum. Efnagreiningar snefilefna í sjósýnum voru í umsjón Vigdísar Harðardóttur hjá Orkustofnun.

Samhliða voru gerðar aðrar tilraunir þar sem útfellingu súlfíða, silikata og oxíða var safnað á útfellingaplötur í sístreymi jarðsjávar úr holu við mismunandi þrýsting. Orkustofnun sá um þær tilraunir og verður niðurstöðum lýst í sér skýrslu (Vigdís Harðardóttir og Halldór Ármannsson, í undirbúningi).

2. FRAMKVÆMD TILRAUNA

2.1. Tilraunabúnaður

Mynd 1 er kerfismynd af tilraunabúnaðnum. Hann samanstendur af háþrýstiskilju, kælibúnaði og 25 lítra þrýstihylki. Hylkið er úr samskonar stáli og notað hefur verið í holutoppa og lagnir á Reykjanesi og þolir 64 bar-abs þrýsting og 250 °C hita.



Mynd 1 Háþrýstihylki, tengimynd

Í hylkinu var hraðastýrður hrærubúnaður sem virkar við háan þrýsting og hita. Hrærubúnaðurinn var smíðaður úr Hastelloy C276 og var með segultengsl við rafmótorinn. Rafmótornum var hraðastýrt með riðstraumbreyti. Hámarkshraði rafmótorsins við 50 rið er 840 snúningar á mínútu. Við 30 rið, sem flestar tilraunirnar voru gerðar við, er hraðinn um 504 snúningar á mínútu.

Við hylkið var tengt Argon-gas úr þrýstiflösku til þess að halda þrýstingi yfir suðuprýstingi jarðsjávarins. Jafnframt var það tengt við öryggisloka og þrýstimæli.

Hylkið var einangrað og rafhitað og með nákvæmri hitastýringu. Hitastigið var að auki mælt með sérstökum hitamæli.

Neðst á hylkinu var úttak sem tengt var við meterslangan kælispiral úr ryðfríu stálröri (OD 1/8") til sýnatöku.

Hylkið tengdist háþrýstiskilju sem skilur að jarðsjó og gufu. Sjóúttak skiljunnar tengdist hylkinu og var mögulegt að kæla jarðsjóinn í ryðfríum rörakæli áður en hann streymdi inn í hylkið. Gufuúttak skiljunnar var leitt út í stromp.

Á úttakslögn hylkisins voru tveir lokar annar til þess að stilla flæðið og hinn til þess að loka því. Úttakið var leitt út í gufustromp þar sem mögulegt var að mæla rennsli sjávarins í gegnum hylkið.

2.2. Framkvæmd

Framkvæmdin var í stórum dráttum þannig að hylkið var fyllt með jarðsjó úr skilju ýmist beint eða eftir kælingu í rétt hitastig. Hrærubúnaðurinn sá um að halda iðustreymi í hylkinu til þess að líkja eftir ástandi í pípum og öðrum tækjabúnaði. Hræringin var stillt á 30 Hz sem samsvarar um 504 snúningum á mínútu.

Innra þvermál hylkisins er 200 mm og samsvara 500 snúningar á mínútu því um 5 m/s streymishraða við útveg hylkisins.

Jarðsjórinn var látinn streyma í gegnum hylkið þangað til komið var á hitajafnvægi og hylkið nægilega skolað. Haldið var við rennslið með úttaksloka og jafnframt var argoni blætt inn á legur hrærumótors til þess að verja þær. Rennsli jarðsjávar inn í hylkið var yfirleitt um 15 til 20 l/mín, sem samsvaraði um einnar til tveggja mínútna dvalartíma í hylkinu áður en fyrsta sýni var tekið. Þess var jafnan gætt að jarðsjór streymdi út úr skiljunni til þess að tryggja að vatnsborð í henni væri nægilega hátt og að engin gufa bærisk með jarðsjónum inn í hylkið.

Þegar jafnvægi var komið á var fyrsta sýnið tekið og hylkinu lokað. Eftir það voru tekin sýni með reglulegu millibili til efnagreininga. Þrýstingur argons var stilltur um 2 bör yfir suðuprýstingi við tilraunahitastig.

2.3. Efnagreiningar

Fyrst var tekið síað sýni og það sýrt með salpéturssýru til þess að mæla í aðalefni og snefilefni. Við upphaf og lok hværrar tilraunar var tekið sýni til þess að mæla brennisteinsvetni og koldíoxíð. Þá var tekið sýni til þess að mæla sýrustig. Að lokum voru 10 ml af jarðsjó síaðir með 0,2 μm síu og þynntir u.þ.b. 1:10 með afjónuðu kísilfríu vatni.

Þynningarlutfallið var ákvarðað nákvæmlega með vigtun. Jafnframt var sýrustig vatnsins ákvarðað strax eftir kælingu við um 25 °C..

Einliðaður kísill var mældur strax að tilraun lokinni með litmælingu sem gulur mólybdatkísill.

Heildarkísill og fastur kísill, sem safnaðist á síur, var efnagreindur eftir niðurbrot með flúorsýru. Í skammt af sýni var bætt flúorsýru og sýnið hitað í örbylgjuofni í 70 °C. Þá var bætt í sýnið álsúlfati til þess að binda ofgnótt flúorjóna. Kísillinn sem þannig leystist upp var síðan greindur á sama hátt og einliðaður kísill.

Einnig voru greind á staðnum koldíoxíð og brennisteinsvetni.

Önnur aðalefni s.s. natríum og klóríð og snefilefni s.s. járn, blý, zink, ál o.fl. voru greind í sýnum að tilraunum loknum.

3. NIÐURSTÖÐUR TILRAUNA

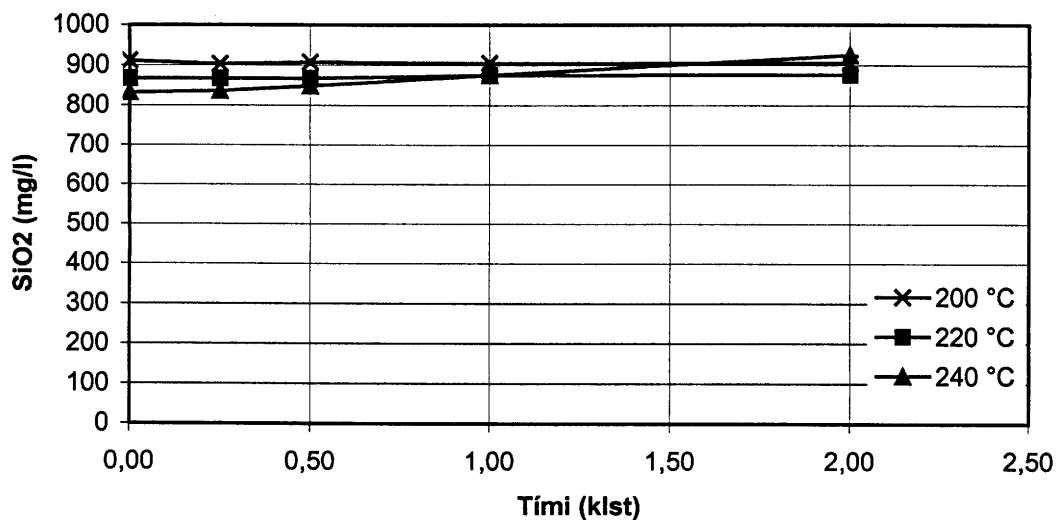
3.1 Breytilegur skiljuþrýstingur

Samtals tókst í þessum áfanga að ljúka 9 tilraunum og voru 5 þeirra gerðar við mismunandi skiljuþrýsting þ.e. 180 °C (10 bar-abs), 200 °C (15,5 bar-abs, tvítekin), 220 °C (23,2 bar-abs) og 240 °C (33,5 bar abs).

Tekin voru 5 sýni til efnagreininga á málmsamböndum í jarðsjónum þ.e. í upphafi, eftir kortér, hálf tíma, eina klukkustund og tvær klukkustundir. Niðurstöður efnagreininganna eru birtar í viðauka 1 og 2.

Sýrustig jarðsjávarins mældist um pH 5,7 í byrjun tilrauna en hækkaði meðan á tilraununum stóð vegna afgösunar koldíoxíðs úr jarðsjónum í hylkinu. Koldíoxíð og brennisteinsvetni mældust í minni styrk í lok hverrar tilraunar en í byrjun (sjá viðauka 1).

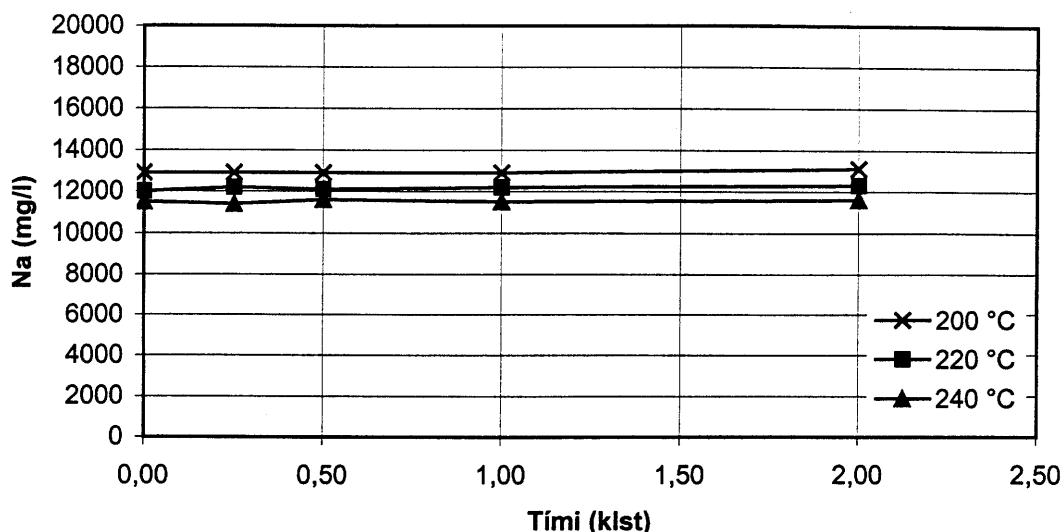
Styrkur uppleysts kísils ($\text{SiO}_2\text{-m}$) í jarðsjó í þessum tilraunum er sýndur á mynd 2.



Mynd 2 Styrkur kísils í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

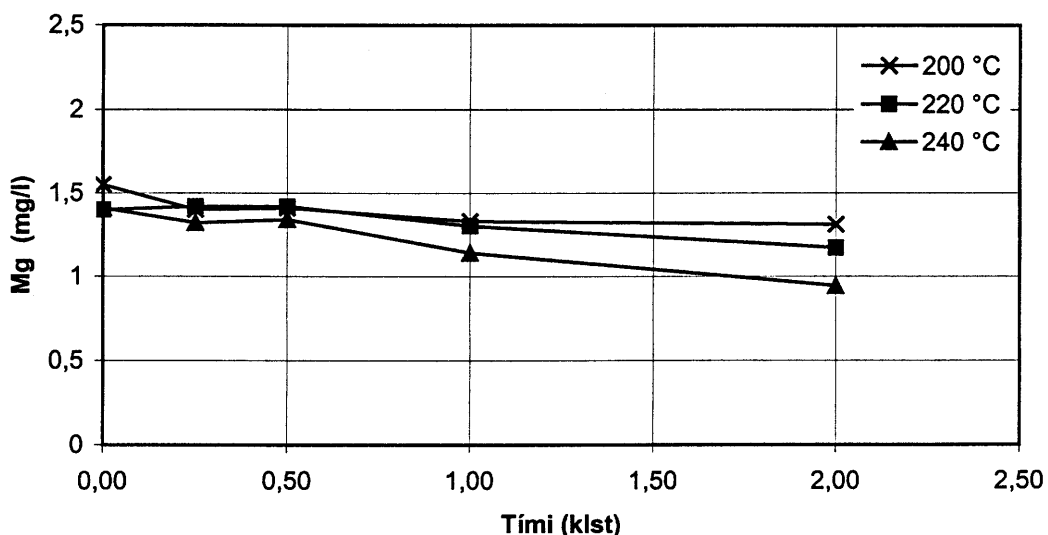
Styrkur kísils breyttist ekki við 200 og 220 °C því að jarðsjórinn var undirmettaður eða rétt við metnun. Í tilraun við 240 °C jókst styrkurinn. Líkleg skýring á styrk aukningu við 240 °C er að kísill sem féll út í tilraun, sem gerð var á undan henni við 180 °C, hafi leyst upp því að leysni ókristallaðs kísils er mun meiri við 240 °C en upphafsstyrkurinn við þennan skiljuþrýsting.

Styrkur aðalefna eins og natríums, klóríðs, kalíums og kalsíums var mældur í sýnunum og var hann mestur við 200 °C en minnstur við 240 °C, sem er eðlilegt vegna mismunandi afsuðu í skiljunni. Styrkurinn breyttist ekki marktækt í tilraununum sem er til marks um það að enginn gufa hafi sloppið úr hylkinu á tilraunatímanum. Styrkur natríums er sýndur á mynd 3 (sjá einnig styrk annarra aðalefna í viðauka 2).



Mynd 3 Styrkur natriúms í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

Styrkur magnesíums (Mg) er nokkuð mikill í jarðsjó samanborið við styrk þess í jarðhitavatni. Styrkur magnesíums var um 1,5 mg/l í jarðsjónum þegar hann streymdi inn í hylkið. Breytingar á styrk magnesíum eru sýndar á mynd 4.



Mynd 4 Styrkur magnesíums í tilraunahylki við 200, 220 og 240

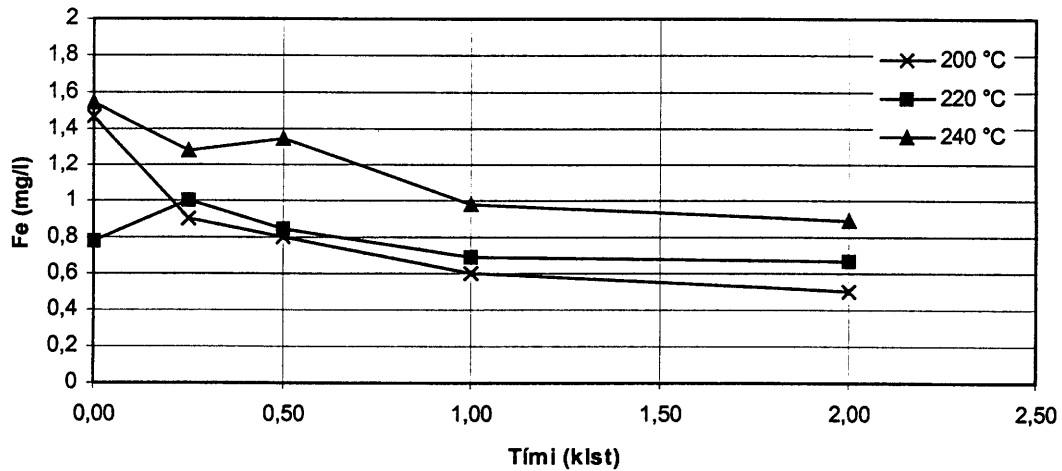
Styrkurinn minnkaði við öll hitastig. Hröðust minnkun var við 240 °C eða um 0,25 mg/l/klst. Ef við gerum ráð fyrir að magnesíum falli út sem ókristallað magnesíumsilíkat í hlutföllunum $MgO:SiO_2$ einn á móti einum þá samsvarar minnkunin um 1 mg/l/klst af $MgSiO_3$.

Flatarmál veggyfirborðs í hylkinu er um 0,5 m² og rúmmál hylkisins 25 lítrar. Útfellingarhraði magnesíumsilíkats var því 50 mg/m²/klst, sem samsvarar (miðað við eðlisþyngd 2,5 g/ml) um 0,2 mm á ári.

Lögun ferlanna bendir til þess að ekki hafi verið komið á fullkomið jafnvægi þegar síðasta sýnið var tekið.

Járnstyrkur (Fe) er einnig meiri í jarðsjónum en gengur og gerist í jarðhitavatni. Hann mældist í upphafssýnum um 1,5 mg/l nema við 220 °C. Líklegast

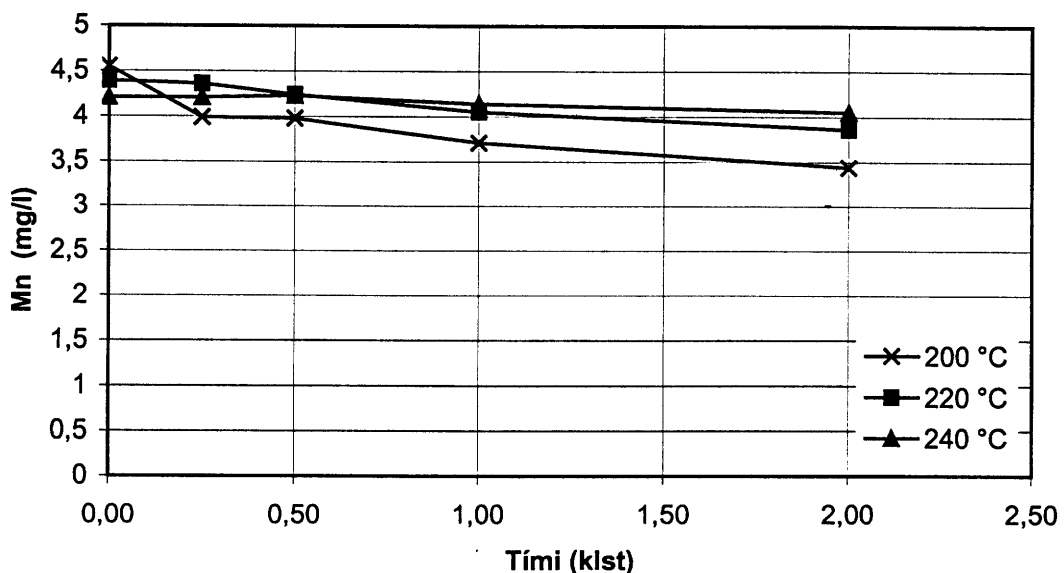
er þar um að ræða skekkju í efnagreiningu eða sýnatöku. Breytingar á styrk járn í tilraununum er sýndur á mynd 5.



Mynd 5 Styrkur járn í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

Styrkur járn minnkaði hraðast við 200 °C. Styrkminnkunin var mest fyrst eða um 2 mg/l/klst. Líklegast er hér einnig um að ræða útfellingu silikata en einnig getur járn fallið út sem súlfíð. Miðað við að útfellingin sé járn-sílikat og að járn-taki með sér kísil 1:1 samsvarar þetta útfellingarhraða um 0,5 mm/ár. Samkvæmt lögun ferlanna er járnstyrkurinn ekki langt frá jafnvægi eftir 2 klukkustundir í hylkinu.

Annað efni sem er í meiri styrk í jarðsjónum en almennt í jarðhitavatni er mangan (Mn). Upphafsstyrkur þess var um 4,5 mg/l. Styrkbreytingar mangans eru sýndar á mynd 6.



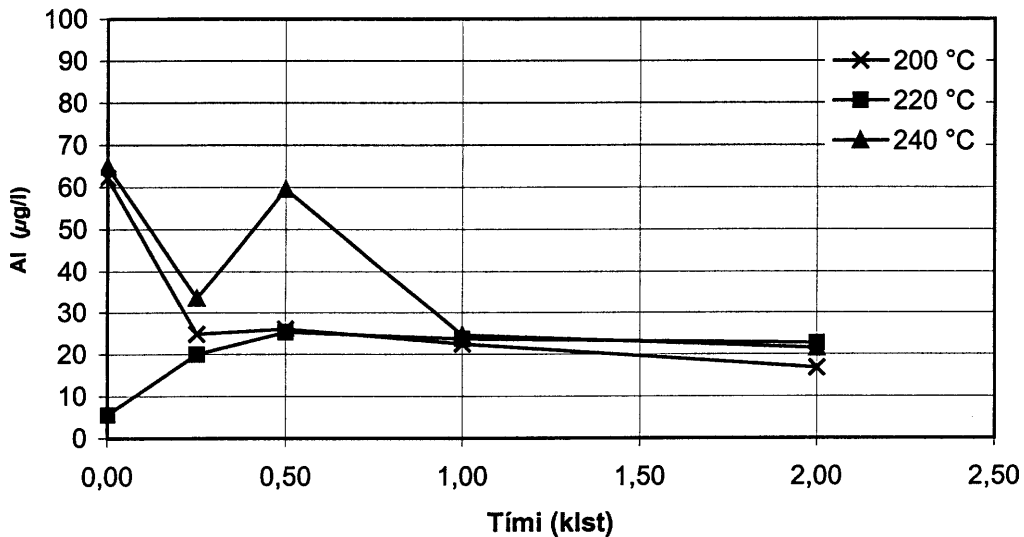
Mynd 6 Styrkur mangans í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

Styrkur mangans minnkaði við öll þrjú hitastigin og mestur hraði var við 200 °C. Samskonar reikningur fyrir mangan og gerður var fyrir járn gaf svipaðan útfellingarhraða eða um 0,5 mm/ár við 200 °C.

Breytingin var minnst við 240 °C og virðist manganstyrkurinn vera nálægt jafnvægi við það hitastig.

Styrkur snefilefna, þ.e. efna sem mælast innan við 1 mg/l, var mældur í sýnunum og er styrkurinn sýndur í Viðauka 2. Í mögum tilfellum var styrkurinn innan mælinákvæmni eða breytingar svo óreglulegar að ekki er hægt að sjá hvort þau efni eru að falla út eða ekki.

Ál styrkur mælist um 65 µg/l í jarðsjónum þegar hann streymir inn í hylkið, og er hann svipaður og mældist í sýni sem tekið var við holutopp. Styrkbreytingarnar í tilraunahylkinu eru sýndar á mynd 7.



Mynd 7 Styrkur áls í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

Álstyrkurinn minnkaði við 200 °C í um 20 µg/l á 15 mínútum. Ef ál sameindin tekur með sér eina og hálfu kísilsameind ($\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$) samsvarar þessi styrkminnkun um 1 mg/l/klst eða um 0,2 mm/ár.

Upphafsstyrkur áls var lítill við 220 °C og jókst í fyrstu. Hugsanlega hefur álið fallið út í skiljunni áður en sjórinn streymdi inn í hylkið eða að einhvað misförst í sýnatöku eða efnagreiningu. Eftir 2 klukkustundir var styrkurinn kominn í um 20 µg/l og samkvæmt lögum ferlanna var lokastyrkurinn ekki fjarri jafnvægi í öllum þremur tilraunum.

Styrkur áls í sýnum við 180 °C var innan mælinákvæmni bæði í upphafi og í lokin. Þetta bendir til þess að ál falli allt úr lausn um leið og kísill byrjar að falla út sem ókristallað efni.

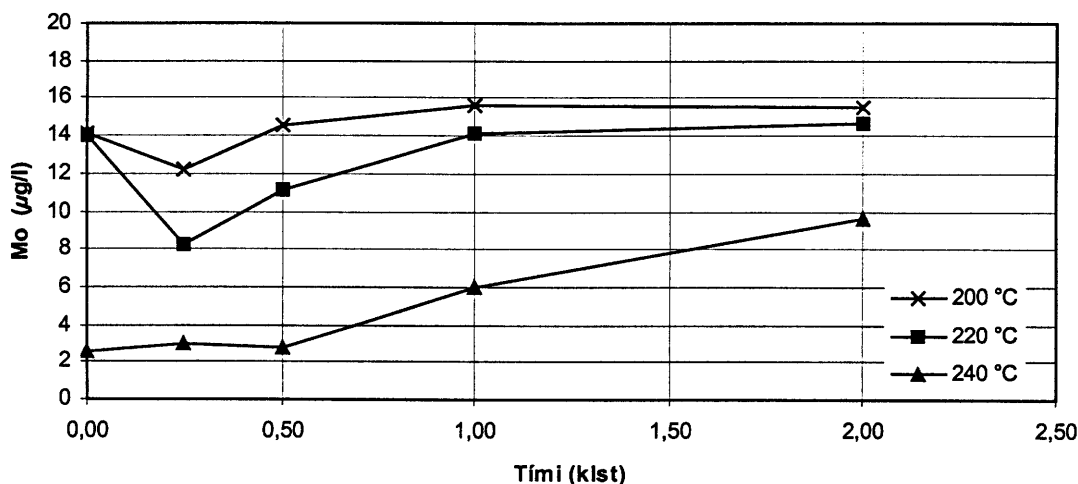
Styrkur blýs var yfirleitt innan mælinákvæmni í sýnunum úr hylkinu eða jókst með tíma. Styrkur sinks var mjög breytilegur og ekki hægt að sjá styrkminnkun í sýnunum. Í sýni teknu við holutoppsprýsting var styrkur blýs innan við mælinákvæmni (<0,3 µg/l) en sinkstyrkur mældist um 26 µg/l.

Sink og blý mældist á sínum tíma í útfellingum í blásturslegg frá holu RN-9 eða um 20 % af útfellingunni við holutopp (Harðardóttir o.fl., 2001).

Líklegt er að blý og sink hafi fallið út sem súlfíð, annaðhvort í holutoppnum eða sýnatökuskiljunni áður en sjórinn streymdi inn í hylkið og að þau efni mælist því ekki í sýnum sem tekin eru úr því.

Sýnin voru síuð með $0,2 \mu\text{m}$ síu og er ekki heldur útilokað að útfellingar súlfíða hafi síast úr vatninu og því ekki mælst í sýnunum.

Styrkur mólybdens (Mo) jókst lítillega á tilraunatímanum eins og sýnt er á mynd 8. Líklega stafar það af tæringu hylkisins því hágæðastál inniheldur jafnan nokkurt mólybden.



Mynd 8 Styrkur molybdenums í tilraunahylki við 200, 220 og 240 °C.

Samtals mældist útfellingarhraði Al, Mg, Fe og Mn silikata um 1,4 mm/ár. Samsetning útfellingarinnar ætti að vera nálægt því sem sýnt er í eftirfarandi töflu en þó einhvað breytileg eftir suðuþrýstingi og því hversu langur tími hefur liðið frá því að afsuða á sér stað í skilju. Eins má búast við að einhvað falli út af súlfíðum, sem breyta samsetningunni. Sérstaklega á þetta við nálægt holutoppi því súlfíðin falla hratt út. Silikötin falla hægar úr lausn og má búast við slíkum útfellingum í allri veitunni.

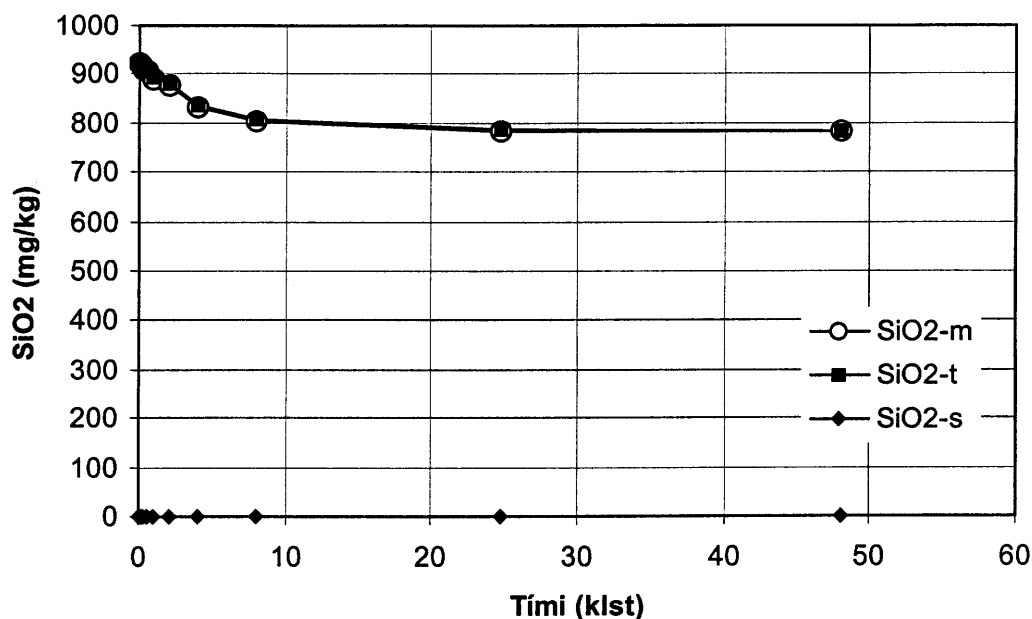
Tafla 1 Samsetning útfellinga

Steind	% w/w
MgO	4
Al ₂ O ₃	2
FeO	27
MnO	24
SiO ₂	43

3.2 Kæling jarðsjávar

Gerðar voru 4 tilraunir þar sem jarðsjór, skilinn við 15,5 bar-abs þrýsting ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$), var kældur niður fyrir metnunarmörk kísils. Fylgst var með styrk kísils í hylkinu og þannig var hægt að mæla útfellingarhraða hans.

Fyrsta tilraunin var gerð með jarðsjó sem kældur hafði verið í $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ eða um $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Á mynd 9 er mældur kísilstyrkur í sýnum, sem tekin voru úr hylkinu sýndur á móti tíma. Styrkur einliðaðs kísils ($\text{SiO}_2\text{-m}$), heildarkísils ($\text{SiO}_2\text{-t}$), og kísils á föstu formi ($\text{SiO}_2\text{-s}$) er sýndur á grafinu.



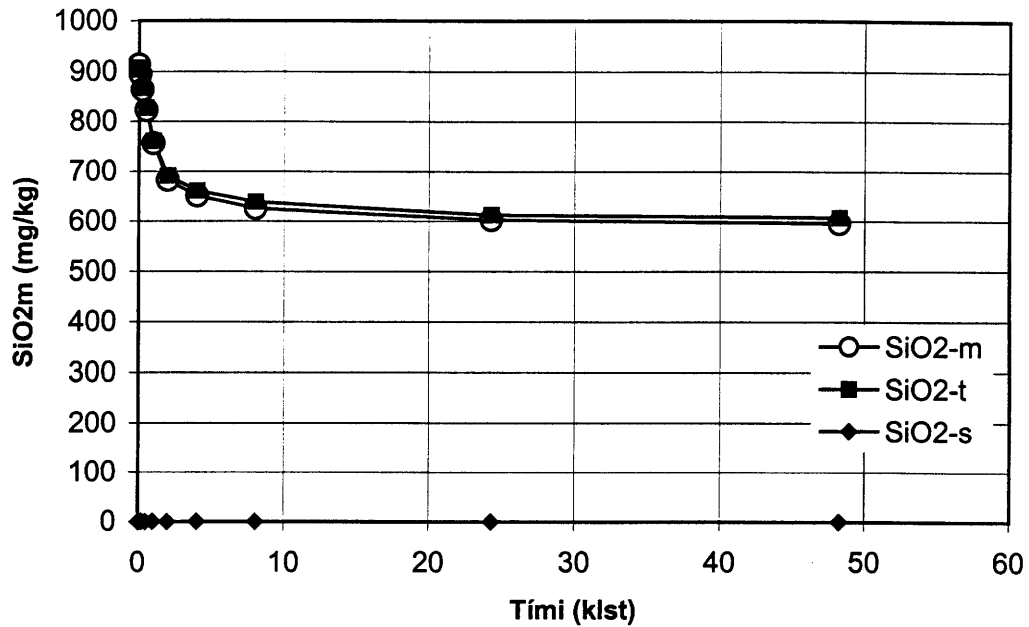
Mynd 9 Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í $180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kísilstyrkur minnkaði hratt fyrstu tímana. Styrkur heildarkísills og einliðaðs kísills minnkaði jafn hratt. Það þýðir að allur kísillinn, sem féll út, settist innan á hylkið og myndaði skel innan á vegg hylkisins. Engar kísilfjölliður mynduðust í sjónum og enginn kísill síaðist frá sem agnir stærri en $0,2\text{ }\mu\text{m}$.

Til þess að meta skeljunarhraða er hraði styrklækkunarinnar fyrstu mínúturnar lesinn af grafinu. Í þessari tilraun var hraðinn 20 mg/l/klst . Hylkið tekur 25 lítra þannig að magn útfellds kísils úr lausn á klukkustund var 500 mg. Veggyfirborð hylkisins er um $0,5\text{ m}^2$ og því falla 1000 mg/klst kísils á hvern fermetra eða um 9 kg á ári. Miðað við að eðlisþyngd kísilsins sé $2,3\text{ kg/m}^3$ þá samsvarar það um 4 mm kísilskel á ári.

Hraðinn á hrærunni í hylkinu var um 50 snúningar á mínútu, og samsvarar um 5 m/s streymishraða út við hylkisvegginn. Í einni tilraun við $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ var hraðinn um 1 m/s og í þeirri tilraun minnkaði styrkur kísilsins hægar og skeljunarhraðinn var um $2,5\text{ mm/ár}$. Hræringin hefur því nokkur áhrif á skeljunarhraðann.

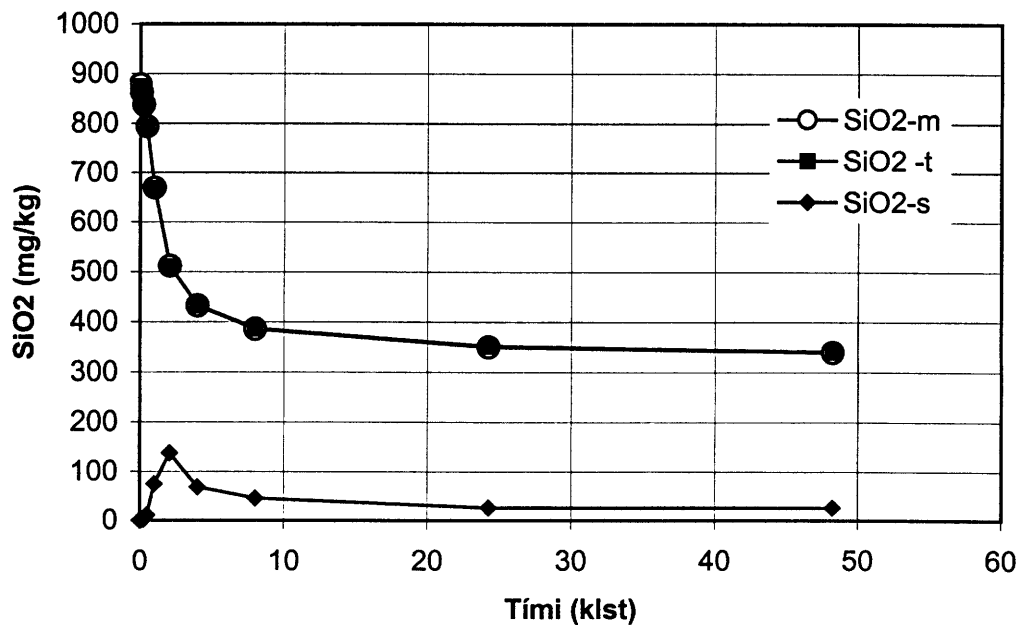
Mynd 10 sýnir styrkbreytingar kísils í tilraun sem gerð var eftir kælingu í $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Mynd 10 Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 150 °C.

Styrkbreytingar einliðaðs og heildarkísils við 150 °C fylgjast að eins og við 180 °C og engin föst efni safnast á síur. Samskonar reikningar og lýst var fyrir tilraunina við 180 °C gefa skeljunarhraða 22 mm/ár við 150 °C.

Mynd 11 sýnir styrkbreytingar kísils í tilraun sem gerð var eftir kælingu í 100 °C.

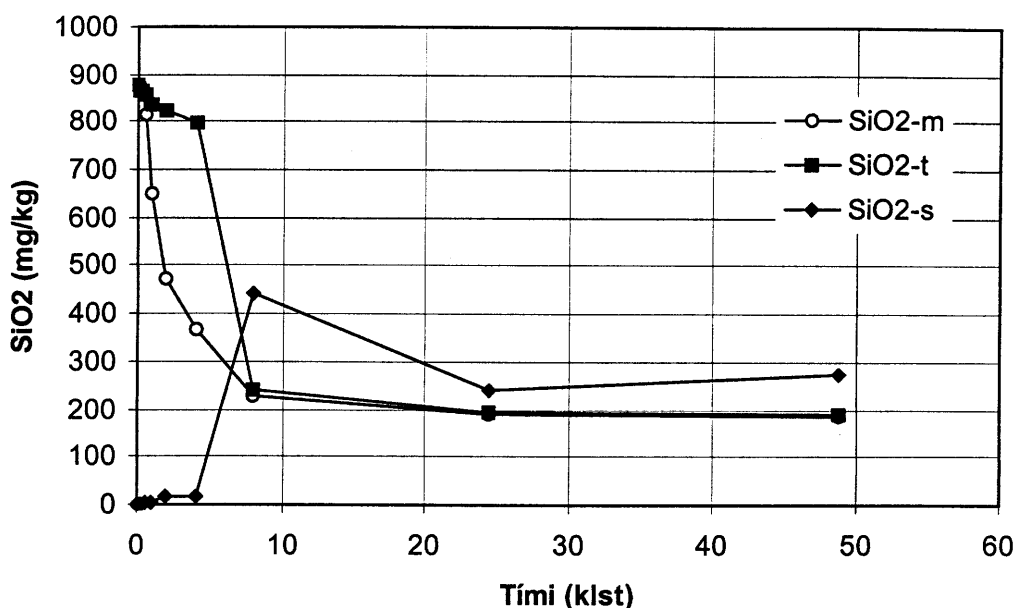


Mynd 11 Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 100 °C.

Styrkbreytingar einliðaðs og heildarkísils við 100 °C fylgjast einnig að eins og við 150 og 180 °C en aftur á móti safnast föst efni á síur. Útfellingarhraðinn er svo mikill að útfellingin nær ekki öll að festast innan á hylkisvegginn og smáar kísilagnir ná að myndast. Mest mælist af kísilögnum eftir um 2 klukkustundir. Eftir það hægir á

útfellingunni vegna minni yfirmettunar og agnirnar setjast á veggyfirborðið en þó ekki allar. Skeljunarhraði í upphafi, þ.e. þegar uppleystur kísill er um 900 mg/l, reiknast 33 mm/ár við 100 °C.

Að síðustu var gerð tilraun eftir kælingu jarðsjávarins í 50 °C. Mynd 12 sýnir styrkbreytingar kísils í þeirri tilraun.



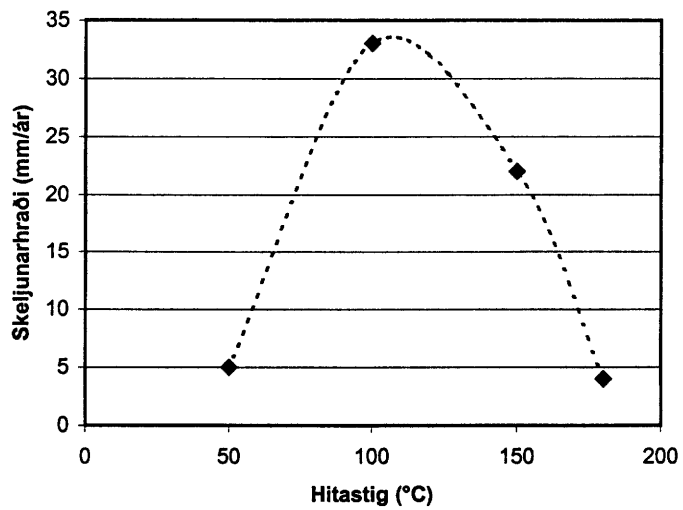
Mynd 12 Styrkur kísils í tilraunahylki eftir kælingu í 50 °C.

Styrkur heildarkísils minnkaði í fyrstu hægar við 50 °C en einliða kísils. Samkvæmt því fjölliðaðist þó nokkur hluti kísilsins við þetta hitastig og myndaði stórar kísilsameindir sem þó komast í gegnum síur. Eftir um 8 klst virtist fjölliða kísillinn falla skyndilega út og setjast á síuna sem kísilgel. Eftir það fylgdist styrkur einliða og heildarkísils að en kísilgelið settist að hluta á veggi hylkisins.

Til þess að reikna skeljunarhraðann er miðað við styrkminnkun heildar uppleysts kísils ($\text{SiO}_2\text{-t}$). Samkvæmt henni reiknast skeljunarhraðinn 5 mm/ár strax eftir að sjórinn var kældur í 50 °C.

Niðurstaða þessarrar tilraunar gefur fyrirheit um að hægt sé að mynda óvirkar fjölliður í jarðsjónum t.d. með því að láta jarðsjóinn bíða í 2 klst eftir snögga kælingu í 50°C eða lægri hita og þynna síðan með þéttivatni niður fyrir metunarmörk einliða kísils. Þá verða fjölliðurnar smáar (sol ástand) en ná ekki að mynda gel en reynslan sýnir að smáar fjölliður mynda síður skel en einliða kísill.

Skeljunarhraðinn var mjög breytilegur í tilraununum og mestur eftir kælingu í 100 °C en minni við 150 og 180 °C vegna minni yfirmettunar en einnig við 50 °C vegna þess að hraði útfellingarefnahvarfanna minnkar við lægra hitastig. Mynd 13 sýnir skeljunarhraðann á móti hitastigi.

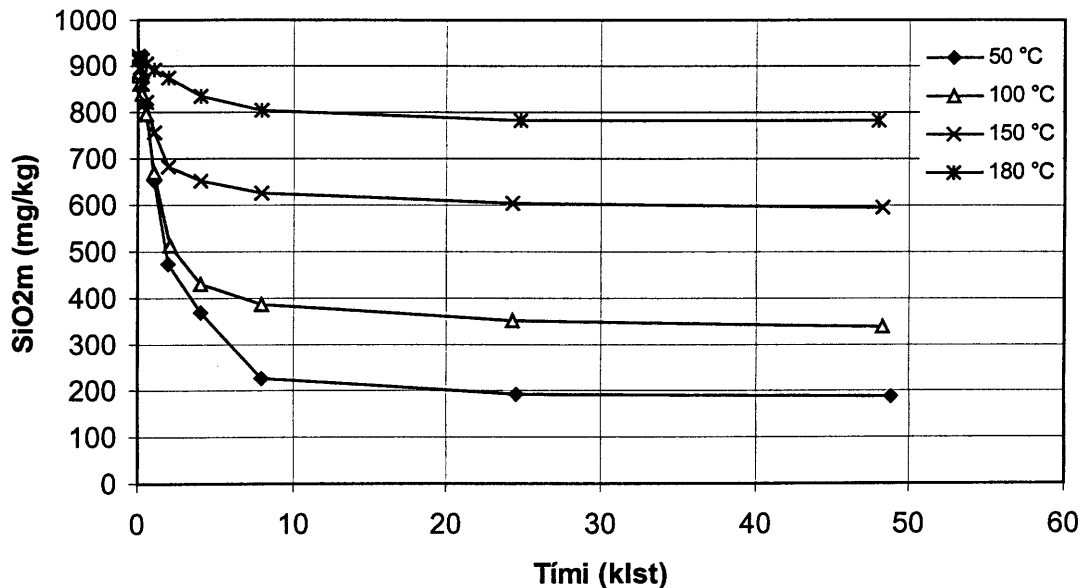


Mynd 13 Skeljunarhraði á móti hitastigi.

3.3 Jafnvægisstyrkur kísils

Eitt helsta markmið tilraunanna var að ákvarða leysni kísils í jarðsjónum. Leysnin hefur verið mæld í vatnslausnum og í jarðhitavatni en rétt þótti að mæla hana við raunaðstæður í jarðsjónum á Reykjanesi. Jarðsjórinn var því geymdur í 48 klukkustundir eftir að útfellingarhraði kísilsins hafði verið mældur en til þess nægir að gera tilraunir í 2 til 4 klukkustundir.

Jafnvægi í styrk einliða kísils ($\text{SiO}_2\text{-m}$) náðist eftir 48 klst í öllum tilraunum eins og sést á mynd 6.



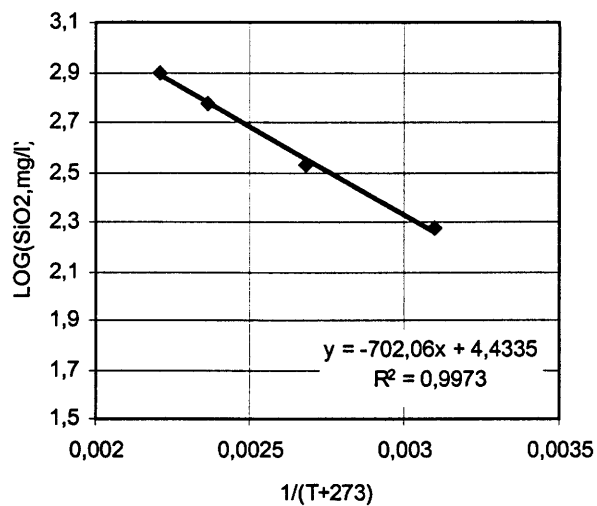
Mynd 14 Styrkur einliða kísils í tilraunahylki eftir kælingu.

Til þess að fá jöfnu fyrir samband hitastigs og jafnvægisstyrks kísils var $\text{Log}(\text{SiO}_2\text{-m})$ teiknað á móti $1/T$ (T: hitastig K) og fékkst þá bein lína, sjá mynd 15. Besta nálgun þessarar línu gefur eftirfarandi samband á milli leysni kísils í jarðsjónum og hitastigs.

$$\log(cs) = 4,43 - 702 / T \quad [1]$$

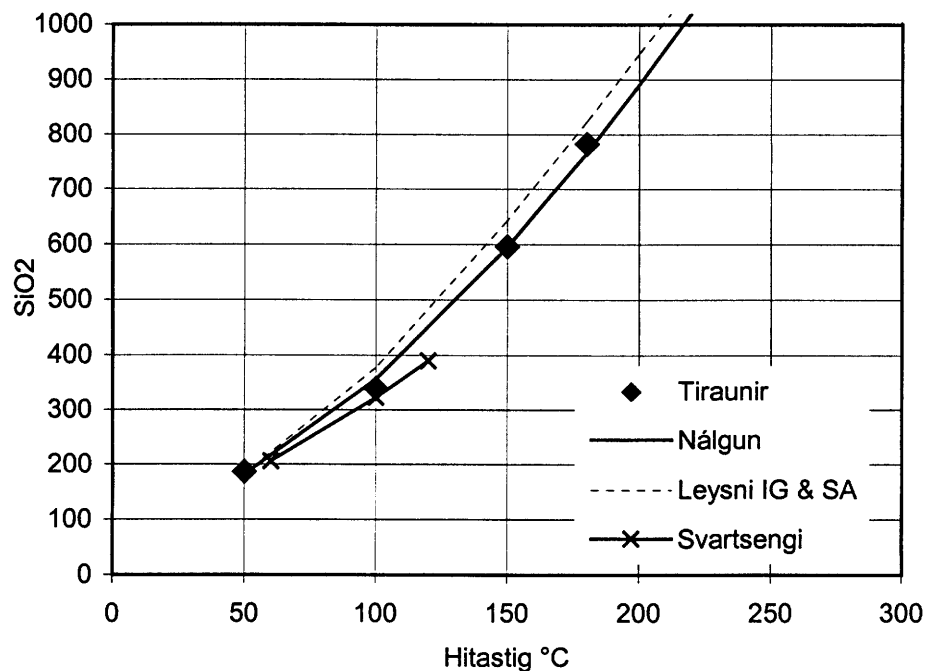
cs: Leysni kísils (mg/l)

T: Hitastig Kelvin (K)



Mynd 15 $\text{Log}(\text{SiO}_2\text{-m})$ á móti $1/T$ (T : hitastig K).

Kísilstyrkur samkvæmt tilraununum eftir 48 klukkustundir er teiknaður á móti hitastigi á mynd 16. Jafnframt er dreginn ferill samkvæmt jöfnu [1].

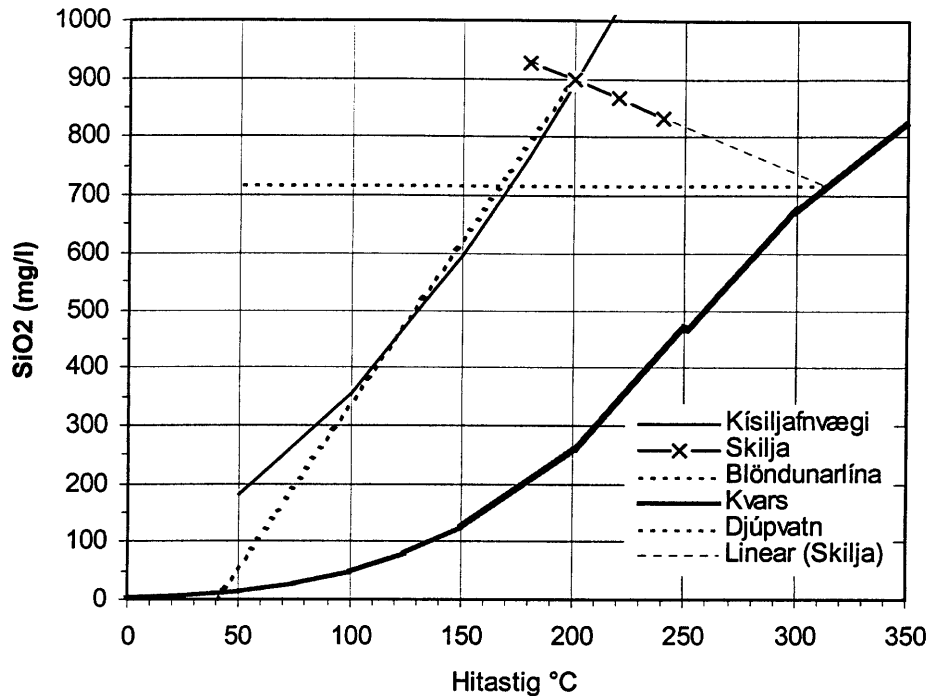


Mynd 16 Jafnvægisstyrkur kísils í jarðsjó.

Leysni kísils í jarðsjónum er nokkuð minni en leysni kísils samkvæmt ferli sem Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson (2000) hafa sett fram, en hann gildir fyrst og fremst fyrir ósalt vatn. Munar þar um 50 mg/l við 200 °C.

Hugsanlegt er að þessi munur stafi af áhrifum seltu.

Leysni kísils í jarðsjónum úr holu RN-11 mældist hinsvegar meiri en í jarðsjónum í Svartsengi í tilraunum á hitabilinu 60 til 120 °C. Ekki er nein skýring á þessu en þess ber að geta að þær tilraunir voru á takmörkuðu hitabili og því ekki eins áreiðanlegar.



Mynd 17 Kísilstyrkur í jarðsjó á Reykjanesi.

Á mynd 17 er sýndur, ásamt leysniferli kísils, ferill um upphafsstyrk í tilraunum, sem gerðar voru við breytilegan skiljuþrýsting. Suðuferill jarðsjávarins sker leysniferillinn við um 200 °C, þar sem styrkur kísils er um 900 mg/l. Það eru metnunarmörk kísils fyrir holu RN-11. Ef skiljuhitastig verður lægra en 200 °C (15,5 bar-abs) verður jarðsjórinn yfirmettaður kísli en undirmettaður ef hitastigið er hærra en 200 °C.

Á myndinni er einnig brotin lína sem sýnir blöndunarferil 40 °C heits þéttivatns og jarðsjávar, sem skilinn hefur verið frá gufunni við 200 °C. Samkvæmt blöndunarferlinum virðist lítill ávinningur af því að þynna jarðsjóinn því hann verður yfirmettaður vegna kælingaráhrifa þéttivatnsins. Ef ávinningur á að vera af slíkri þynningu þarf þéttivatnið að vera heitara en það minnkar nýtni raforkuvinnslunar og er því ólíklegt að það sé raunhæfur kostur.

Ef suðuferillinn er framlengdur að leysniferli kvarts fæst kísilhiti um 317 °C við kísilstyrk 717 mg/l. Það er sá kísilstyrkur sem reikna má með að fáist ef allt þéttivatn sem fæst úr eimsvolum væntanlegrar virkjunar verður notað til þess að þynna jarðsjóinn. Ef slík blanda er kæld verður hún strax yfirmettuð þó að meiri yfirmettun verði ef óþynntur jarðsjór er kældur niður eins og í tilraunum sem lýst er hér að framan. Þynningin getur samt sem áður haft jákvæð áhrif og minnkað útfellingarhraða kísils, sérstaklega ef snöggkælt er. Áætlað er að kanna það frekar í framhaldstílaunum.

4. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Kísilstyrkur náði jafnvægi við geymslu í lokuðu hylki í 48 klukkustundir og fékkst eftirfarandi samband milli leysni kísils í jarðsjónum og hitastigs.

$$\log(cs) = 4,43 - 702/T$$

cs: Leysni kísils (mg/l)

T: Hitastig Kelvin (K)

Leysni kísils í jarðsjónum mældist nokkuð minni en leysni kísils samkvæmt ferli sem Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson (2000) hafa sett fram um leysni kísils í fersku vatni. Munar þar um 50 mg/l við 200 °C.

Leysnin mældist meiri en mældist í samskonar tilraunum með jarðsjó í Svartsengi á hitabilinu 60 til 120 °C.

Suðuferill jarðsjávarins sker leysniferilinn við um 200 °C, þegar styrkur kísilsins verður meiri en um 900 mg/l. Fyrir ofan 200 °C skiljuhita (15,5 bar-abs) er jarðsjórinn undirmettaður. Þegar suðuhitstigið fer niður fyrir 200 °C verður hann kísilyfirmettaður.

Ef suðuferillinn er framlengdur að leysniferli kvarts fæst kísilhiti um 317 °C við kísilstyrk 717 mg/l.

Skeljunarhraðinn var mjög breytilegur í tilraununum og mestur eftir kælingu úr 200 °C í 100 °C eða um 33 mm/á ári. Skeljun var minni við 50 °C. Við það hitastig fjölliðaðist hluti kísilsins en hélst í lausn og safnaðist ekki á síur.

Í tilraunum, sem gerðar voru undir mettunarmörkum kísils, þ.e. yfir 200 °C hita, minnkaði styrkur áls, magnesíum, járns og mangans í jarðsjónum. Styrkminnkunin samsvaraði samtals um 1,4 mm skeljunarhraða á ári miðað við að málmarnir falli út sem siliköt.

Styrkur blýs var yfirleitt innan mælinákvæmni í sýnunum úr hylkinu eða jókst með tíma. Styrkur sinks var mjög breytilegur og ekki hægt að sjá styrkminnkun í sýnunum.

Sink og blý mældist í útfellingum í holu RN-9 og mátti því búast við því að styrkur þessarra efna minnkaði með tíma í hylkinu. Líklegasta skýring á því að svo var ekki er að nær allt sink og blý falli út sem súlfíð, annaðhvort í holutoppnum eða skiljunni áður en það sreymir inn í hylkið.

5. HEIMILDIR

Harðardóttir V., Kristmannsdóttir H., Ármannsson H. 2001 : *Scale formation in wells RN-9 and RN-8 in the Reykjanes geothermal field Iceland. Í R.Cidu (ritstjóri). Water-Rock Interaction 2001. Swets & Zeitlinger, Lisse, 851-854.*

Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson (2000). Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of $\text{H}_2\text{SiO}_4^\circ$ in the range of 0° to 350°C at P_{sat} . *Geochim. Cosmochim. Acta* 64. 2295-2307.

Trausti Hauksson (1996). *Kísilútfellingar úr háhitavatni. Rannsóknir á hraða kísilútfellinga í iðustreymi.* Hitaveita Reykjavíkur, Reykjavík 1996, 47 bls.

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995. *Kísilútfellingar úr jarðsjó. Áhrif þéttvatnsíblöndunar á magn og hraða kísilútfellinga í iðustreymi.* Orkustofnun, Jarðhitadeild. OS-95011/JHD-01. Reykjavík febrúar 1995. 44 bls.

VIÐAUKI 1

Niðurstöður efnagreininga á kísli og sýrustigi

Tilraun 1, RN-11, skilja 9 bar-y, hitastig 180 °C, hræra 170 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO2-m (mg/l)	SiO2-t (mg/l)	SiO2-s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO2 (mg/l)	H2S (mg/l)
6001	0,00	181,9	930	928	0,6	6,02	35,8	65,5	1,80
6002	0,08	180,3	923	928	0,7	6,13	27,9		
6003	0,27	178,9	921	923	0,4	6,13	29,0		
6004	0,50	181,0	914	924	0,7	6,25	23,5		
6005	1,00	179,0	910	910	0,3	6,24	21,3		
6006	2,00	179,5	907	897	0,6	6,33	20,4		
6007	4,00	184,6	880	882	0,3	6,38	25,5		
6008	8,00	179,9	858	858	0,1	6,29	22,2	82,2	0,69
6009	21,50	180,0	821	820	0,2				

Tilraun 2, RN-11, skilja 14,5 bar-y, hitastig 200 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO2-m (mg/l)	SiO2-t (mg/l)	SiO2-s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO2 (mg/l)	H2S (mg/l)
6010	0,00	199,6	760		0,1	5,85	26,7	68,9	2,99
6011	0,08	205,6	859			5,96	27,4		
6012	0,25	205,4	896			5,94	32,8		
6013	0,50	201,4	876			5,95	37,2		
6014	1,00	200,7	879			5,98	32,7		
6015	1,50	197,3	879			6,08	26,3		
6016	2,00	202,4	885			6,25	30,2		
6017	3,00	199,2	899			6,43	22,9		
6018	4,00	199,3	896			6,27	30,1		
6019	5,00	203,5	894			6,32	31,2		
6020	6,00	203,9	895			6,37	30,8	67,3	0,95
6021	8,00	199,7	894			6,42	28,3		

Tilraun 3, RN-11, skilja 23,0 bar-y, hitastig 220 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO2-m (mg/l)	SiO2-t (mg/l)	SiO2-s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO2 (mg/l)	H2S (mg/l)
6022	0,00	220,6	868			5,45	21,3	82,9	3,48
6023	0,25	219,5	867			5,36	23,1		
6024	0,50	221,3	867			5,46	22,9		
6025	1,00	221,1	875			6,18	20,5		
6026	2,00	221,2	876			6,65	19,2	76,7	0,77

Tilraun 4, RN-11, skilja 35,0 bar-y, hitastig 240 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6027	0,00	241,6	832			5,26	25,9	112,8	5,10
6028	0,25	240,0	836			5,32	21,0		
6029	0,50	238,9	848			5,35	18,6		
6030	1,00	239,5	875			5,49	24,3		
6031	2,00	240,0	925			5,70	23,4	88,1	2,56

Tilraun 5, RN-11, skilja 15,0 bar-y, hitastig 200 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6032	0,00	199,9	911			5,84	22	78,6	2,07
6033	0,25	199,3	903			6,03	26		
6034	0,50	200,1	907			6,16	22		
6035	1,00	200,6	904			6,63	32		
6036	2,00	200,4	905			6,71	28	59,2	0,44

Tilraun 6, RN-11, skilja 15,0 bar-y, hitastig 180 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6037	0,00	180,3	921	923	0,3	5,83	18,5	81,9	2,11
6038	0,08	180,4	918	919	0,2	5,90	17,1		
6039	0,25	179,6	912	910	0,6	5,92	18,2		
6040	0,50	179,6	904	908	0,7	5,89	25,0		
6041	1,00	179,4	891	895	0,5	6,21	21,7		
6042	2,00	179,8	876	881	0,8	6,64	23,1		
6043	4,00	179,9	834	837	0,6	6,73	18,5		
6044	8,00	180,6	803	808	1,3	6,74	27,9		
6045	24,75	180,4	783	785	0,3	6,84	23,2		
6046	48,00	180,2	782	781	0,3	6,72	22,7	35,0	1,05

Tilraun 7, RN-11, skilja 15,0 bar-y, hitastig 150 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6047	0,00	150,9	913	907	0	5,77	23,7	82,5	2,24
6048	0,08	149,9	894	903	0	5,88	21,5		
6049	0,25	150,2	863	866	0	5,90	23,5		
6050	0,50	151,3	822	827	0	5,93	25,8		
6051	1,00	149,6	756	761	0	6,73	17,0		
6052	2,00	150,3	682	691	0	7,25	15,8		
6053	4,00	151,3	650	661	0	7,04	17,9		
6054	8,00	150,7	625	638	1	7,08	17,1		
6055	24,25	150,2	602	612	0	7,19	14,5		
6056	48,25	149,9	596	607	0	7,22	14,0	37,9	0,07

Tilraun 8, RN-11, skilja 15,0 bar-y, hitastig 100 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6057	0,00	101,6	878	874	0	5,66	24,7	81,8	1,91
6058	0,08	103,1	862	862	0	5,80	18,8		
6059	0,25	104,6	838	835	1	5,85	16,6		
6060	0,50	103,9	794	794	11	5,85	17,5		
6061	1,00	102,1	669	668	75	5,86	17,3		
6062	2,08	100,7	512	511	137	5,91	18,1		
6063	4,00	99,8	432	432	68	5,91	21,7		
6064	8,00	99,8	386	387	46	6,04	20,5		
6065	24,25	99,7	351	352	26	6,14	17,5		
6066	48,25	99,7	340	341	26	6,34	13,5	47,3	0,08

Tilraun 9, RN-11, skilja 15,0 bar-y, hitastig 50 °C, hræra 500 RPM

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	SiO ₂ -m (mg/l)	SiO ₂ -t (mg/l)	SiO ₂ -s (mg/l)	pH	t-pH (°C)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
6067	0,00	49,7	875	878	1	5,70	23,0	84,5	1,79
6068	0,08	51,1	875	867	0	5,67	20,5		
6069	0,25	51,6	865	866	1	5,69	19,3		
6070	0,50	51,2	816	855	2	5,69	19,5		
6071	1,00	50,2	650	837	6	5,70	18,9		
6072	2,00	50,0	473	823	15	5,72	19,7		
6073	4,00	49,8	368	798	18	5,75	20,0		
6074	8,00	50,1	228	241	441	5,78	18,9		
6075	24,50	50,1	192	195	239	5,87	16,0		
6076	48,75	50,2	187	188	274	5,86	22,8	56,2	0,11

VIÐAUKI 2

Niðurstöður efnagreininga á aðal- og aukaefnum

Reykjanes RN-11 Tíllraunir 1-5 helstu efni.

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	Cl mg/l	Br mg/l	S04 mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	Ba mg/l	Sr mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
Tíllraun 1													
6001	0,00	181,9	25200	95	20,8	2170	1930	1,5	13600	11	10,4	0,6	4,13
6008	8,00	179,9				2170	1950	1,46	13600	11	10,6	0,384	3,53
Tíllraun 2													
6010	0,00	199,6	24600	92,4	20,7	2030	1720	1,41	12600	10	9,44	0,353	3,76
6020	6,00	203,9				2020	1740	1,32	12700	10	9,55	0,429	3,62
Tíllraun 3													
6022	0,00	220,6	23350	87,2	22,4	1920	1780	1,4	12000	10	9,77	0,776	4,39
6023	0,25	219,5				1950	1800	1,42	12200	10	9,84	1	4,36
6024	0,50	221,3				1940	1780	1,42	12100	10	9,76	0,845	4,24
6025	1,00	221,1				1960	1800	1,3	12200	10,1	9,79	0,692	4,05
6026	2,00	221,2				1990	1790	1,17	12300	10,1	9,8	0,67	3,86
Tíllraun 4													
6027	0,00	241,6	22300	83,4	21,5	1870	1700	1,41	11500	9,6	9,33	1,54	4,21
6028	0,25	240,0				1860	1690	1,32	11400	9,56	9,28	1,28	4,21
6029	0,50	238,9				1870	1700	1,34	11600	9,61	9,35	1,34	4,23
6030	1,00	239,5				1860	1680	1,14	11500	9,52	9,21	0,981	4,14
6031	2,00	240,0				1890	1690	0,944	11600	9,62	9,35	0,884	4,05
Tíllraun 5													
6032	0,00	199,9	24450	92,9	22	2070	1860	1,55	12900	10,4	10,2	1,47	4,55
6033	0,25	199,3				2080	1810	1,4	12900	10,2	9,87	0,902	3,99
6035	0,50	200,1				2080	1860	1,41	12900	10,4	10,1	0,798	3,98
6034	1,00	200,6				2080	1840	1,33	12900	10,3	9,98	0,599	3,71
6036	2,00	200,4				2100	1830	1,31	13100	10,2	9,95	0,497	3,44

Reykjanes RN-11 Tíllraunir 6-9 helstu efni.

Sýni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	Cl mg/l	Br mg/l	S04 mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	Ba mg/l	Sr mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l
Tíllraun 6													
6037	0,00	180,3	24800	92,9	21,6	1960	1710	1,46	12100	9,64	9,94	1,43	4,16
6046	48,00	180,2				1990	1730	1,25	12300	9,8	10,1	0,351	3,12
Tíllraun 7													
6047	0,00	150,9	24600	92,4	21,2	1980	1720	1,44	12200	9,64	9,96	1,48	4,2
6056	48,25	149,9				2040	1780	1,42	12500	10	10,3	0,45	3,62
Tíllraun 8													
6057	0,00	101,6	23400	88,7	21	1880	1630	1,33	11500	9,11	9,58	1,37	4,17
6066	48,25	99,7				1890	1640	1,38	11500	9,15	9,54	2,72	4,3
Tíllraun 9													
6067	0,00	49,7	23400	87,1	20,8	1880	1630	1,37	11400	9,07	9,59	1,53	4,37
6076	48,75	50,2				1870	1620	1,35	11300	9,03	9,48	2,53	4,45
Holutoppur RN-11 2002-10-08													
V0274						1740	1490	1,37	10800	8,53	8,24	1,08	3,52

Reykjanes RN-11 Tíltraunir 1-5 snefilefni.

Sýni nr	Tími (klist)	Hitast. (°C)	P mg/l	Al µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Mo µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Tíltraun 1													
6001	0,00	181,9	<0,04	<0,7	<0,05	<0,05	0,118	<0,5	0,0039	26,1	<0,5	1,48	12,2
6008	8,00	179,9	<0,04	<0,7	<0,05	<0,05	0,128	<0,5	0,0094	21,6	1,2	<0,3	31,4
Tíltraun 2													
6010	0,00	199,6	<0,04	<0,7	<0,05	<0,05	0,675	<0,5	0,0133	14,5	<0,5	0,701	4,62
6020	6,00	203,9	<0,04	<0,7	<0,05	<0,05	0,303	<0,5	0,0111	16,2	0,716	1,4	8,3
Tíltraun 3													
6022	0,00	220,6	<0,04	5,61	<0,05	<0,05	<0,1	<0,5	0,0124	14	<0,5	<0,3	31,3
6023	0,25	219,5	<0,04	20	<0,05	<0,05	0,276	<0,5	0,0098	8,2	1,48	<0,3	31,6
6024	0,50	221,3	<0,04	25,3	<0,05	<0,05	0,323	<0,5	0,0093	11,1	0,949	<0,3	29,2
6025	1,00	221,1	<0,04	23,7	<0,05	<0,05	0,135	1,65	0,0055	14,1	<0,5	0,373	2,95
6026	2,00	221,2	<0,04	22,7	<0,05	<0,05	<0,1	<0,5	<0,002	14,7	<0,5	3,78	49,3
Tíltraun 4													
6027	0,00	241,6	<0,04	64,9	<0,05	<0,05	<0,1	<0,5	<0,002	2,58	<0,5	<0,3	3,77
6028	0,25	240,0	<0,04	33,6	<0,05	<0,05	<0,1	<0,5	<0,002	3,03	<0,5	<0,3	2,7
6029	0,50	238,9	<0,04	59,5	<0,05	<0,05	0,109	<0,5	0,0057	2,83	0,537	<0,3	74,2
6030	1,00	239,5	<0,04	24,6	<0,05	<0,05	0,154	<0,5	<0,002	6,03	0,623	<0,3	9,66
6031	2,00	240,0	<0,04	21,5	<0,05	<0,05	0,569	<0,5	0,0024	9,61	22,7	<0,3	6,83
Tíltraun 5													
6032	0,00	199,9	<0,04	62,2	<0,05	<0,05	4,55	<0,5	<0,002	14,1	1,85	<0,3	4,78
6033	0,25	199,3	<0,04	24,9	<0,05	<0,05	0,17	<0,5	<0,002	12,2	0,654	0,323	12,9
6035	0,50	200,1	<0,04	26,1	<0,05	<0,05	0,211	<0,5	0,0024	14,5	0,65	0,792	11,4
6034	1,00	200,6	<0,04	22,5	<0,05	<0,05	0,202	0,896	<0,002	15,6	0,625	0,979	<2
6036	2,00	200,4	<0,04	16,8	<0,05	<0,05	0,124	1,26	<0,002	15,5	1,71	1,64	20

Reykjanes RN-11 Tíltraunir 6 - 9 sneffilefni.

Syni nr	Tími (klst)	Hitast. (°C)	P mg/l	Al µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Mo µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Tíltraun 6													
6037	0,00	180,3	<0,04	63,9	0,052	<0,05	1,5	<0,5	0,0039	12,3	<0,5	0,306	17,2
6046	48,00	180,2	<0,04	2,62	<0,05	<0,05	0,212	<0,5	0,0022	15,1	<0,5	<0,3	191
Tíltraun 7													
6047	0,00	150,9	<0,04	57,4	<0,05	<0,05	0,24	0,558	0,0025	10,7	0,573	<0,3	10,9
6056	48,25	149,9	<0,04	<0,7	<0,05	<0,05	0,165	<0,5	0,0022	13,9	0,548	<0,3	9,88
Tíltraun 8													
6057	0,00	101,6	<0,04	15	<0,05	<0,05	0,282	<0,5	0,0027	7,76	0,602	<0,3	16,5
6066	48,25	99,7	<0,04	5,04	<0,05	<0,05	0,133	<0,5	<0,002	12,2	0,715	0,397	6,84
Tíltraun 9													
6067	0,00	49,7	<0,04	10,8	<0,05	<0,05	<0,1	<0,5	0,0053	9,22	0,513	<0,3	21,3
6076	48,75	50,2	<0,04	6,9	<0,05	<0,05	0,122	0,603	0,0083	10,7	<0,5	2,2	18,9
Hólutoppur RN-11 2002-10-08													
V0274			<0,04	66,5	<0,05	<0,05	0,13	<0,5	0,0072	9,62	0,79	<0,3	26,5