



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

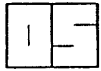
**HITAMÆLING OG DJÚPSÝNATAKA
Í HOLU Sn-4 Á SELTJARNARNESI
1988**

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius

Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness

OS-88037/JHD-19 B

September 1988



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verknr.:699300

**HITAMÆLING OG DJÚPSÝNATAKA
Í HOLU Sn-4 Á SELTJARNARNESI
1988**

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius

Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness

OS-88037/JHD-19 B

September 1988

EFNISYFIRLIT

	Bls
EFNISYFIRLIT	2
INNGANGUR	3
HITA- OG VÍDDARMÆLING	3
NÍÐURSTÖÐUR EFNAGREININGA Á VATNSSÝNUM	4
NÍÐURSTÖÐUR	6
HEIMILDIR	6

1. INNGANGUR

Veruleg aukning hefur orðið á seltu jarð-hitavatns á Seltjarnarnesi frá því að hitaveitan þar var sett á stofn (Hrefna Kristmannsdóttir, 1983 og 1986). Á fyrstu níu árunum, sem veitan var starfrækt (1972-1980), voru breytingar hægar, en frá árinu 1981 fór seltan að aukast mjög hratt. Þetta gerðist samhliða hraðari lækkun vatnsborðs vegna aukinnar vinnslu (Þorsteinn Thorsteinsson, 1987). Í vinnsluspá, sem gerð var 1987 (Helga Tulinius o.fl. 1987), er búist við áframhaldandi hraðri seltuaukningu á næstu árum, en fremur hægri kælingu. Hóla Sn-4 var hitamæld 1984 (Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius, 1984) og voru þá liðin ellefu ár frá síðustu hitamælingu. Engin marktæk kæling sást á þeirri mælingu. Holan kom þá enn upp í gos og var talsvert sjálfrennsli úr henni (sem þó var ekki mælt). Samtímis þessari mælingu voru tekin djúpsýni til efnagreiningar, sem sýndu að dýpstu og aðal æðarnar gáfu vatn sem var verulega minna salt en bæði dælingarvatn og sjálfrennsli.

Selta dælingarvatns hefur enn aukist á s.l. fjórum árum, en ekki eins hratt og 1981-1985. Hitastig dælingarvatns úr Sn-4 hefur lækkað á s.l. fjórum árum. Áður sveiflaðist það á bilinu 112-116°C eftir magntöku, en nú er hitastigið 108-112°C.

Í júlí s.l. var dælan tekin upp úr holunni til þess að síkka hana vegna aukins niðurdráttar. Þá var holan hitamæld og tekin úr henni djúpsýni til efnagreiningar og verður fjallað um niðurstöður þeirra mælinga í köflunum hér á eftir. Holan kemur nú ekki upp sjálf lengur þótt hún sé ekki kæld og standi vikum saman.

2. HITA- OG VÍDDARMÆLING

Þann 12. júlí 1988 var hola Sn-4 hitamæld og tekin úr henni djúpsýni á 360 m dýpi, 1170 m dýpi og 830 m dýpi. Hitamælir settist í 1940 m dýpi og þá var reynt að víddarmæla holuna, og fór víddarmælirinn í 1946 m dýpi. Holan var upphaflega boruð í 2025 m dýpi, en árið 1984, þegar hún var síðast hitamæld, komst mælirinn í um 1990 m dýpi. Víddarmælir stoppaði þá í 1980 m dýpi. Neðsta æðin og líklega sú stærsta í holunni er á 1950-1980 m dýpi og því neðan fyrirstöðunnar. Víddarmælirinn bilaði stuttu eftir að byrjað var að mæla, líklega vegna háa hitastigs hennar, en það er við þau mörk sem mælirinn þolir. Aðeins tókst að mæla víddina neðst í holunni, á 1820-1946 m dýpi. Sú mæling er nánast eins og mæling sem gerð var 1984 á sama dýptarbili: Stór skápur er á um 1910 m dýpi og einnig útvíkkun á og neðan við 1940 m dýpi. Líklegt er að hrun úr neðsta skápnnum hafi sest í botninn á holunni með tímanum og að hún gæti verið hrunin neðan hans.

Fyrirstaða hefur reyndar alltaf verið á þessu dýpi og holan þarf ekki að vera alveg lokuð þótt mælarnir hafi ekki farið neðar. Þótt hrun sé á þessum kafla gæti vatnsrennsli náð í gegn og því ekki hægt að segja hvort kæling og líkleg rennslisminnkun í holunni sé vegna þess að neðsta æðin sé stífluð. Það er hugsanlegt að svo sé en alls ekki víst og erfitt að ganga úr skugga um það vegna mikils dýpis. Á þeim tíma sem leið milli hitamælinga var farið að dæla úr holu Sn-6, sem tekur vatn aðallega úr dýpri hluta jarðhitakerfisins, sem einnig fæðir dýpstu æðarnar í Sn-4. Því gæti þrýstingur þar hafa lækkað og valdið auknum niðurdrætti og kælingu á vatninu, sem dælt er úr Sn-4. Hitastig vatnsins úr Sn-6 hefur ekkert lækkað frá því að það komst í hámarkshita um 5 mánuðum eftir að dæling hófst. Hins vegar lækkaði hitastig vatns úr holu Sn-4 verulega fyrst eftir að dæling hófst úr holu Sn-6, en hækkaði síðan aftur. Í desember 1985 fór hitastig dælingarvatns úr Sn-4 niður í 109°C, en var 115°C í lok nóvember 1985 þegar dæling úr Sn-6 hófst. Á þessu ári hefur hita-

stig farið lægst niður í 107-108°C, en oftast verið um 110-112°C.

Hitamælingin frá 12. júlí 1988 er á meðfylgjandi mynd ásamt síðustu hitamælingu þar á undan, frá 8. ágúst 1984. Hitamælarnir voru í báðum þessum tilvikum kvarðaðir innan sólarhrings eftir eða fyrir mælingu og ferlarnir á myndinni eru leiðréttir miðað við þá kvörðun. Mælingin frá 1984 sýnir rennsliferil neðan um 400 m dýpis. Á um 1850 m dýpi sést votta fyrir æð og greinileg æð sést á um 1950 m dýpi og er upprensli frá þessum æðum upp í a.m.k. 400 m dýpi. Nýjasta hitamæling fyrir 1984 var gerð árið 1973 og var botnhitastig þá um 126°C. Sama botnhitastig mældist í holu Sn-3 (mynd 3) árið 1970. Marktækar breytingar urðu því ekki á hitastigi í neðri hluta jarðhitakerfisins á þessum 14 árum.

Samkvæmt nýjustu hitamælingunni (mynd) virðist holan hafa kólnað um 2-3°C í neðstu 750 metrunum og ofar er meiri kæling. Kælingin efst stafar að hluta af því að holan kemur ekki lengur upp sjálf og því er hún köld í toppinn og jafnvel gæti verið í henni niðurrennsli á kaflanum 360-1170 m dýpi. Þegar mælingin var gerð 1984 var hins vegar rennsli úr neðri æðum upp í efstu æðarnar og holan var alveg við að fara að gjósa. Við eldri hitamælingar í holunni var kvörðun ekki eins nákvæm og því meiri óvissa í mælingunum. Miðað við þau óvissumörk sést ekki kæling frá mælingum gerðum 1972 og 1973 miðað við mælinguna, sem gerð var 1984 (Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius, 1984). Samkvæmt þeim gögnum sem til eru varð heldur ekki breyting á hitastigi dælingarvatns á þessu árabili. Hitastig vatnsins sveiflaðist frá 111-116°C eftir magntöku úr holunni og var oftast um 115°C.

3. NIÐURSTÖÐUR EFNAGREININGA Á VATNSSÝNUM

Selta vatnsins breyttist lítið fyrr en upp úr 1980, en ekki er vitað hvort áður voru einhverjar sveiflur miðað við magntöku. Nú á síðasta ári hafa verið tekin reglulega sýni til seltugreininga og hafa komið í ljós greinilegar sveiflur í seltu og hitastigi eftir magntöku. Aukin dæling úr holu Sn-4 dregur greinilega inn hlutfallslega meira af köldu söltu vatni, en þegar minna er dælt.

Efnagreiningar á djúpsýnum úr holunni sýna að heitasta vatnið er verulega minna salt en það sem dælt er upp úr holunni, bæði við lítið og mikið álag. Í töflu 1 eru niðurstöður efnagreininga á þeim djúpsýnum sem tekin voru nú í júlí og til samanburðar eru efnagreiningar á djúpsýnum frá 1984. Einnig eru í töflunni greiningar á sýnum af dælingarvatni teknu fyrir sýnatökurnar og af þeim sýnum sem til eru á milli djúpsýnatakanna tveggja.

Þann 8. ágúst 1984 voru tekin vatnssýni á 1940 m, 1830 m og 700 m dýpi. Öll sýnin höfðu klóríðstyrk um 900 mg/kg. Síðan voru tekin sýni þann 15. ágúst 1984 á 195 m og 360 m dýpi og var klóríðstyrkur þeirra einnig um 900 mg/kg. Sýni var tekið síðar sama dag af upprensli úr holunni, um 40 mínútum eftir að hún náði 100°C hita í útrennslistút. Klóríðstyrkur þessa sýnis var 1100 mg/kg, sem er nánast sá sami og á dælingarvatni úr holunni í lok júlí 1984. Sýnin sem fyrst voru tekin, á 700 m, 1830 m og 1940 m dýpi, eru örugglega dæmigerð fyrir neðri æðar holunnar. Djúpsýnin sem tekin voru 15. ágúst á 195 m og 360 m dýpi er mjög sennilega úr djúpkerfinu, a.m.k. rann ekki úr æðinni á 200 m dýpi. Toppsýnið frá 15. ágúst 1984 er blanda af vatni úr neðri og efri æðum. Áður en hvort djúpsýni var tekið varð að láta leka í holuna 3-4 tonn af köldu vatni svo hún kæmi ekki upp rétt á meðan. Virðist sem það hafi nægt til að stöðva útrennsli úr efstu æðunum en að þær komi inn strax og holan hefur rutt af sér kalda tappanum.

Niðurstöður djúpsýnatökunnar sýna að 1984 hafði selta hækkad verulega í djúpkerfi jarðhitasvæðisins. Selta í djúpkerfinu var þó verulega lægri en í dælingarvatni og rennsli upp úr holunni. Líkur bentu til að æðar á 300-400 m dýpi hafi svipaða seltu og djúpkerfið.

Styrkur kísils í vatni er háður hitastigi og hækkar með hækkandi hitastigi. Seltan er talin stafa af innstreymi af sjó, sem hefur lágan kísilstyrk og því ætti kísill að lækka með hækkandi seltu. Styrkur kísils í vatni frá Seltjarnarnesi er nokkuð sveiflukendur og ekki í samræmi við mælt hitastig né seltu. Þetta hefur verið talsvert áberandi í sýnum úr holunum á Seltjarnarnesi og var áður talið geta stafað af að útfelling hefði orðið í sýnum fyrir greiningu. Síðustu fimm ár hafa sýni verið tekin þannig að það á ekki að koma fyrir en sams konar frávik sjást samt enn. Því er líklegt að innrennsli í holurnar verði það fljótt eftir blöndun við kaldara vatn að jafnvægi við kísil náist ekki á þeim tíma þótt vatnið nái að hitna og beinnar kælingar hafi ekki orðið vart fyrr en nú allra síðustu árin.

Selta hefur aukist frá 1984, en mishratt og eftir dæluhlé hefur selta lækkað fyrst eftir að farið var að dæla aftur. Í töflu 1 eru sýndar greiningar á þeim heilsýnum (öll aðalefni greind), sem til eru úr holu Sn-4 á árabílinu milli djúpsýnatakanna tveggja. Á milli síðustu sýnanna tveggja er rétt ár og er óverulegur munur á efnasamsetningu og reyndar er hitastig þeirra nánast það sama. Í síðustu djúpsýnatöku voru tekin þrjú sýni af 360 m, 1170 m og 1810 m dýpi. Holan var stífluð í 1946 m svo ekki var hægt að taka sýni í neðstu æðinni og við skoðun á hitaferli var talið gagnslítið að taka sýni af 700 m dýpi, en vegna áberandi stökks í hitastigi var ákveðið að taka eitt á 1170 m dýpi.

Vegna kælingar sem sást í efstu 400 metrunum var látið duga að taka sýni á 360 m dýpi, en æðinni á u.þ.b. 190 m dýpi var sleppt vegna reynslu frá síðustu sýnatöku. Niðurstöður eru þær að sýnin frá 360 m dýpi og 1170 m dýpi hafa nánast sömu efnasamsetningu og selta þeirra er um 87% af

seltu dælingarvatns úr holunni. Selta í vatninu frá 1810 m dýpi er hins vegar aðeins 76% af seltu dælingarvatnsins. Þessar niðurstöður benda til þess að niðurstreymi sé í holunni og að vatn sem er saltara en í æðinni á 1820 m dýpi og væntanlega saltara en á 1170 m dýpi streymi frá 360 m dýpi niður í 1170 m dýpi.

Seltan í dýpstu æðinni hefur aukist um u.þ.b. 17%, en í dælingarvatninu hefur aukningin orðið heldur meiri eða um 24%. Þegar sýnin voru tekin 1984 var upprensli í holunni og virtist renna inn í grunnu æðarnar svo ekki var vitað hvort báðar æðarnar á 190 m dýpi og 360 m dýpi væru verulega saltari en djúpæðarnar. Þar sem upprensli og dælingarvatn var svo salt sem raun bar vitni hlaut a.m.k. önnur að vera það. Ljóst var eftir borun holu Sn-6 að þar var mjög sölt æð ofarlega sem kom fram rúmlega 100 m neðan fóðringar, í um 535 m dýpi. Nú kemur í ljós að æðin í 360 m dýpi í Sn-4 er verulega saltari en djúpæðarnar, þótt hún sé líklega minna sölt en efsta æðin.

Styrkur kísils er talsvert lægri en búast mætti við miðað við hitastig, en ekki marktækt lægri en í djúpsýnum frá 1984. Sveiflur í kísilstyrk hafa sést lengi og eru taldar stafa af blöndun við kalt vatn svo skömmu áður en innstreymi verður í holurnar að ekki náist alltaf endurjafnvægi við kísil.

Hækkun á styrk magnesíums í jarðhitavatni er merki um blöndun við kaldara vatn. Sé litið á magnesíumstyrk í vatnssýnunum þá virðist hann hafa hækkad talsvert með tíma í dælingarvatninu og hann er einnig hærri í sýnunum frá 360 m dýpi og 1170 m dýpi en frá 1820 m dýpi. Tilsvarendi munur sést ekki í sýnum frá 1984.

4. NIÐURSTÖÐUR

Fyrirstaða er í holu Sn-4 á 1946 m dýpi og gæti hún verið hrunin ofan neðstu og stærstu vatnsæðarinnar í holunni.

Kólnun um 2-3°C hefur orðið neðan 1200 m dýpis síðan 1984, niðurdráttur hefur aukist og holan kemur ekki lengur upp sjálf. Aukin vatnsvinnsla hefur verið s.l. 3 ár úr vatnskerfinu, sem fæðir djúpæðarnar í holunni og líklega hefur það haft veruleg áhrif á vinnslueiginleika hennar. Hrunið í 1946 m gæti líka haft áhrif á rennsli úr botnæðinni. Ekki er nein bein aðferð til að meta áhrif hvors um sig. Vegna dýpis er óhugsandi að reyna að hreinsa holuna jafnvel þótt sýnt þætti að kólnun og rennslisminnkun hefði orðið vegna hrunsins. Seltuaukning var heldur hægari 1984-1988 en á árunum 1980-1984. Efnagreiningar sýna að æðin í 360 m dýpi er talsvert saltari en djúpæðarnar, en efsta æðin í 190 m dýpi hlýtur þó að vera mun meira sölt. Djúpæðarnar hafa orðið saltari á s.l. fjórum árum, en seltuaukningin er ívið minni þar en í dælingarvatninu í heild.

HEIMILDIR

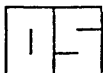
Helga Tulinius, Amanda L. Spencer, Guðmundur S. Böðvarsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Þorsteinn Thorsteinsson and Árný E. Sveinbjörnsdóttir 1987: *Reservoir studies of the Seltjarnarnes geothermal field, Iceland*. Orkustofnun OS-87032/JHD-07, 55 s.

Hrefna Kristmannsdóttir 1983: *Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavats á Seltjarnarnesi á tímabilinu 1970-1983*. Orkustofnun OS-83106/JHD-19, 27 s.

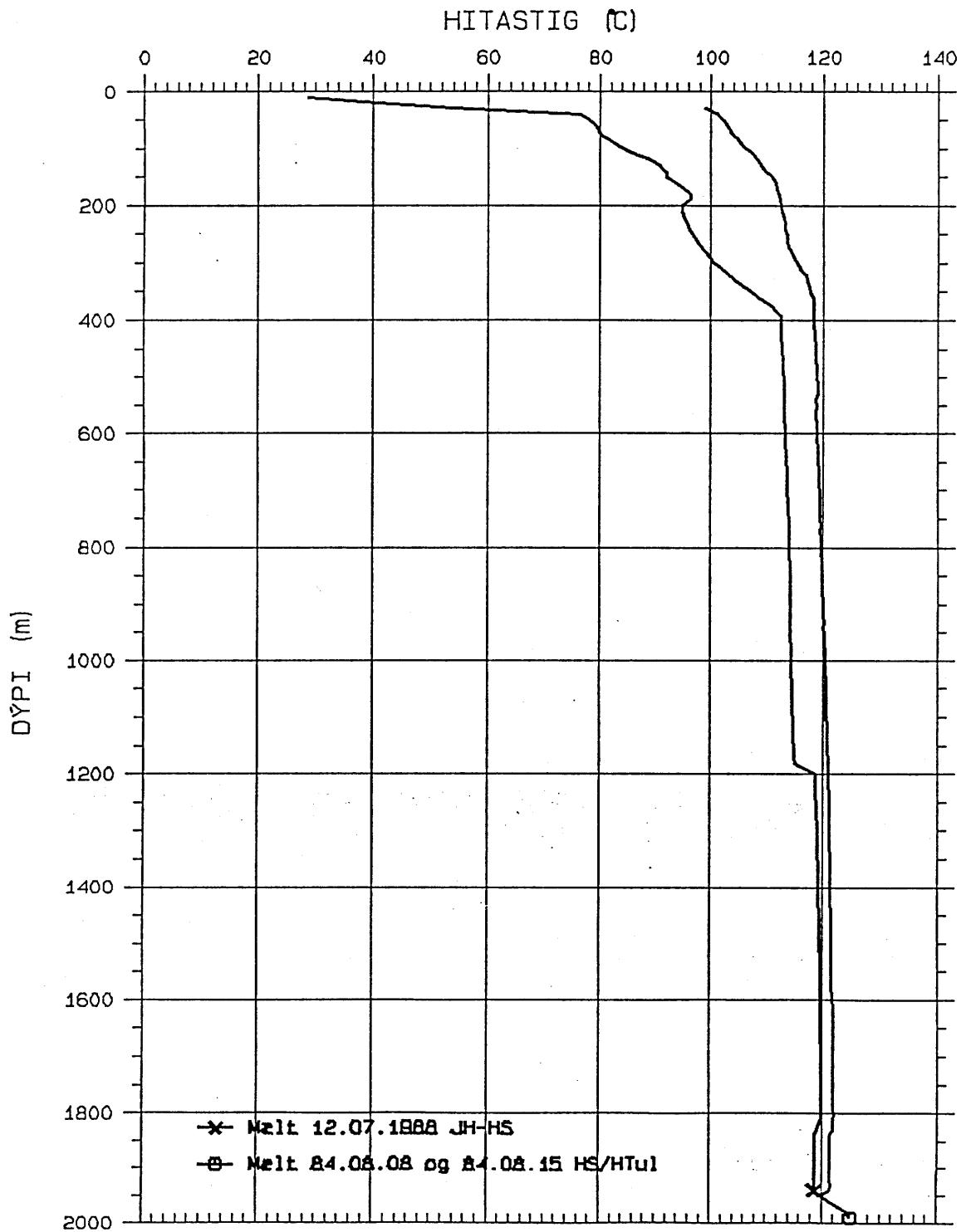
Hrefna Kristmannsdóttir 1986: *Exploitation - induced infiltration of seawater into the Seltjarnarnes geothermal field, Iceland*. *Geothermal Res. Council, Trans., 10*: 389-393.

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius 1984: *Frumniðurstöður mælinga og efnagreininga á djúpsýnum úr holu Sn-4 á Seltjarnarnesi*. Greinargerð HK-HTul/8406, 5 s. Orkustofnun.

Þorsteinn Thorsteinsson 1987: *Vatnsborðsmælingar í borholum á Seltjarnarnesi*. Greinargerð ÞTh-87/02, 4 s. Orkustofnun.



SELTJARNARNES HOLA SN-04 HITAMÆLINGAR



TAFLA 1 Efnagreiningar á vatni úr holu Sn-4 á Seltjarnarnesi 1984-1988.
(Styrkur í mg/kg)

Gerð sýnis	dæling	195m.d.	360m.d.	700m.d.	1820m.d.	1940m.d.	rennsli	dæling	dæling	dæling	dæling	360m.d	1170m.d	1810m.d.
Dagsetn.	840702	840815	840815	840809	840809	840809	840815	850507	851004	861205	880118	880712	880712	880712
Númer	(84114)	(84181)	(84180)	(84145)	(84146)	(84147)	(84182)	(85185)	85259)	(86214)	(88003)	(88089)	(88090)	(88091)
Hitastig °C	115						99,5	113	115	110,2	109,8			
pH/°C	8,37/23	8,33/22	8,39/22	8,10/23	8,32/22	8,41/22	8,38/24	8,47/21	8,48/22	8,54/22,3	8,57/22	8,49/24	8,48/24	8,48/24
SiO ₂	94,4	108,6	110,8	99,4	98,6	97,3	109,3	102,9	105,7	101,4	101,2	98,7	98,7	100,1
Na	434	424	423	409	400	399	423	527	525	528	544	511	507	466
K	11,1	10,6	10,4	10,6	10,7	10,1	11,1	14,0	12,9	11,8	11,8	12,5	12,4	11,7
Ca	285	239	244	244	245	239	244	397	391	374	424	356	346	298
Mg	0,096	0,077	0,070	0,085	0,074	0,082	0,108	0,16	0,15	0,216	0,23	0,13	0,12	0,08
CO ₂	9,3	8,7	7,8	11,0	11,0	10,6	8,7	5,8	8,7	9,2	10,0	8,8	7,5	7,5
SO ₄	223	236	236	235	235	229	239	264	273	252	265	241	241	229
H ₂ S	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,06	0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05
Cl	1095	908	896	927	929	901	1117	1303	1326	1368	1387	1206	1210	1052
F	0,72	0,78	0,78	0,72	0,72	0,72	0,75	0,72	0,72	0,67	0,65	0,70	0,70	0,73
Uppl. efni	2426	2089	2091	2115	2138	2080	2117	2906	3017	2823	2984	2652	2673	2420
Al	-	0,073	0,088	-	-	-	0,056	0,025	-	-	-	-	-	-
B	0,232	0,222	0,211	0,225	0,208	0,224	0,235	0,213	0,22	-	-	-	-	-
Br	3,8	-	-	-	-	-	-	4,3	4,9	4,2	-	-	-	-
I	0,05	-	-	0,03	-	0,05	0,05	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	-	<0,1	-	0,04	<0,025	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,05	-	-	-

- ekki mælt