



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Hrefna Kristmannsdóttir

**BREYTINGAR Á EFNASAMSETNINGU  
JARÐHITAVATNS Á SELTJARNARNESI  
Á TÍMABILINU 1970 - 1983**

**OS-83106/JHD-19**

**Reykjavík, desember 1983**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Hrefna Kristmannsdóttir**

**BREYTINGAR Á EFNASAMSETNINGU  
JARÐHITAVATNS Á SELTJARNARNESI  
Á TÍMABILINU 1970 - 1983**

**OS-83106/JHD-19**  
Reykjavík, desember 1983

ÁGRIP

Fylgst hefur verið með efnasamsetningu jarðhitavatns úr vinnsluholum hitaveitu Seltjarnarness frá árinu 1970. Á fyrsta tíu ára tímabilinu varð vart við hægfara aukningu á seltu vatnsins, en á síðustu þrem árum hefur aukningin verið mun örari. Vatnið var talið tæplega neysluhæft þegar hitaveitan hóf rekstur sinn og er nú orðið algerlega óneysluhæft. Veruleg vandamál hafa skapast vegna málmtæringar og hafa þau aukist í hlutfalli við aukna seltu vatnsins. Ráðlegt er nú talið að nýta vatnið einungis með forhiturum. Orsök breytinga á efnasamsetningu vatnsins er talin vera innstreymi á köldum sjó inn í jarðhitakerfið og er hætta á að kólnun komi fram á vinnsluvatninu innan tíðar.

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP .....	2
EFNISYFIRLIT .....	3
MYNDASKRÁ .....	3
1 INNGANGUR .....	5
2 EFNASAMSETNING JARDHITAVATNSINS .....	5
2.1 Almennt yfirlit um efnasamsetningu vatnsins .....	5
2.2 Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatnsins 1970-1983.	6
2.3 Orsakir breytinga á efnasamsetningu jarðhitavatnsins ...	9
3 NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR .....	10
HEIMILDASKRÁ .....	11
VIÐAUKI A Tafla 1: Efnagreiningar á jarðhitavatni .....	23
VIÐAUKI B Skýrgreining hugtaka .....	25

MYNDASKRÁ

1 Staðsetning borhola á Seltjarnarnesi .....	12
2 Breytingar með tíma á heildarmagni uppleystra efna í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	13
3 Breytingar með tíma á styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	13
4 Breytingar með tíma á styrk natriúms í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	14
5 Breytingar með tíma á styrk kalsíums í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	14
6 Breytingar með tíma á styrk súlfats í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	15
7 Breytingar með tíma á styrk kísils í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	15
8 Breytingar með tíma á styrk kalíums í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	16
9 Breytingar með tíma á styrk flúors í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	16

10	Styrkur natriums á móti styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	17
11	Styrkur súlfats á móti styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	17
12	Styrkur kalsiums á móti styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	18
13	Styrkur kísils á móti styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	18
14	Styrkur kalsiums á móti styrk klóríðs í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	19
15	Breytingar á styrkhlfalli natrium og klóríðs með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	19
16	Breytingar á styrkhlfalli kalsiums og klóríðs með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	20
17	Breytingar á styrkhlfalli kaliums og klóríðs með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	20
18	Breytingar á styrkhlfalli súlfats og klóríðs með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	21
19	Breytingar á styrkhlfalli kísils og klóríðs með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	21
20	Breytingar á styrkhlfalli natrium og kaliums með tíma í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 .....	22

## 1 INNGANGUR

Selta í jarðhitavatn á Seltjarnarnesi er mikil og hefur löngum valdið vandræðum vegna tæringar. Fylgst hefur verið allreglulega með efna-samsetningu vatnsins frá því hitaveitan tók til starfa eins og venja er um jarðhitasvæði í vinnslu. Í skýrslu Orkustofnunar um jarðhitasvæðin á höfuðborgarsvæðinu sem út kom 1977 (Jens Tómasson o.fl.) var gerð nokkur grein fyrir efna-samsetningu jarðhitavatnsins á þessu svæði. Í greinargerð útg. í apríl síðastliðnum (Hrefna Kristmannsdóttir 1983) var stuttlega gerð grein fyrir efna-samsetningu jarðhitavatns á Seltjarnarnesi og breytingum sem orðið hafa á henni með tímanum. Á árunum 1970-1981 voru þessar breytingar fremur hægar. Á síðustu tveim til þrem árum hafa breytingar á efna-samsetningunni hins vegar verið mjög örarár. Eftirlit með svæðinu hefur því verið aukið og m.a. hafa fjórum sinnum verið tekin sýni úr borholunum til efna-greininga á þessu ári.

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður greininga á sýnum frá 1983. Eldri gögnum eru jafnframt gerð frekari skil og reynt er að rekja orsök hinna öru efnabreytinga. Mynd 1 sýnir staðsetningu bor-hola á Seltjarnarnesi.

## 2 EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNSINS

### 2.1 Almennt yfirlit um efna-samsetningu vatnsins

Í töflu í viðauka A eru birtar niðurstöður allra heildarefna-greininga á jarðhitavatni úr borholum á Seltjarnarnesi, en einnig er til talsvert af gögnum um mælingar á einstökum eftum. Fyrstu mánuðina eftir að dæling úr holunum hófst var einkum fylgst með breytingum á klóríðmagni með tíma í borholuvatni. Slíkum gögnum er sleppt í þessari skýrslu. Mælingar á hitastigi vatnsins við sýnatöku hafa verið stopular, en Hitaveita Seltjarnarness hefur fylgst reglu-bundið með hitastigi vatnsins sem dælt er upp. Má fullyrða að ekki hafi orðið stórfelld kólunn á vatninu á nýtingartímabilinu. Mæli-nákvæmni er þó tæplega meiri en svo að  $1-2^{\circ}\text{C}$  kólunn gæti hafa orðið án þess að eftir væri tekið. Djúphitastig (sjá viðauka B) vatnsins reiknað út frá efna-samsetningu þess er yfirleitt lægra en mælt hitastig vinnsluvatnsins. Alkalíhitastig reiknast verulega lægra en mælt hitastig, enda gildir það tæplega í svo söltu vatni. Kalsedón-hitastig var um  $120^{\circ}\text{C}$  í Sn-3 í upphafi, en er nú orðið lægra en 110

°C. Í Sn-4 var kalsedonhitastig um 110 °C, en hafði lækkað niður í um 100 °C fyrri hluta árs 1983 og hækkaði svo aftur í um 105°C. Kalsedonhitastig í vatni úr Sn-5 hefur verið um 100°C.

Almennt má segja um efnasamsetningu vatnsins úr vinnsluholunum að magn uppleystra efna er mjög mikið. Þegar nýting hófst 1972 var jarðhitavatnið á mörkum þess að vera neysluhæft vegna seltu og er nú orðið alls óhæft til beinnar neyslu. Vatnið úr holu Sn-3 er verst, en skást úr holu Sn-5. Heildarmagn uppleystra efna og styrkur klóríðs, súlfats og kalsíums er þó yfir leyfilegum mörkum í vatni úr öllum borholunum, miðað við neysluvatnsstaðal Alþjóða Heilbrigðismálastofnunarinnar (WHO). Mikil selta jarðhitavatnsins veldur hættu á tæringu og einnig virðist talsverð hætta vera á kalkútfellingum þar sem vatnið reiknast yfирmettað af kalsíti. Ráðlegt er því að nýta vatnið einungis með forhiturum og gæta varúðar við afloftun.

## 2.2 Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatnsins 1970-1983

Á myndum 2-9 eru sýndar breytingar á styrk einstakra efna í jarðhitavatni úr holum Sn-3, 4 og 5 með tíma. Mest og samfelldust gögn eru til úr holu Sn-4. Á mynd 2 er sýnd breyting á heildarmagni uppleystra efna með tíma. Hæg aukning varð fram á mitt ár 1980 og síðan er snögg aukning í ársbyrjun (febrúar) 1981 en aftur lækkun seinnipart (nóvember) ársins. Síðastnefnda mælingin fellur reyndar nær á línu gegnum öll eldri mæligildi, nema fyrir sýnið frá febrúar 1981. Frá því í nóvember 1981 hefur svo orðið samfelld hröð aukning á heildarmagni uppleystra efna, nema í síðasta sýninu. Svipuð mynd kemur fram hvað varðar sýni úr holu Sn-3, m.a. hámark í sýni frá febrúar 1981. Á árinu 1972 var heildarmagn uppleystra efna svipað í vatni úr holum Sn-3 og Sn-4. Á árinu 1977 var það orðið um 100 mg/l hærra í holu Sn-3 en Sn-4 og í hámarkinu 1981 var munurinn orðinn um 300 mg/l. Í júlí 1983 var munurinn orðinn enn meiri, eða um 400 mg/l. Þar sem engin sýni voru tekin úr Sn-3 frá því í júlí 1977 þar til í febrúar 1981 sést ekki nákvæmlega hvenær hin hraða aukning á heildarmagni uppleystra efna byrjar. Þó má fullyrða að breytingin hafi átt sér stað fyrr í Sn-3 og að aukningin hafi verið enn hraðari þar en í Sn-4. Svo virðist þó sem aukningin sé nú hætt a.m.k. í bili því í síðustu tveim sýnum hefur orðið nokkur minnkun á heildarmagni uppleystra efna.

Dæling úr holu Sn-5 hófst haustið 1981 og síðan þá hefur heildarmagn

uppleystra efna aukist með svipuðum hraða þar og í vatni úr Sn-4. Heildarmagn uppleystra efna er þó um 400 mg/l lægra í Sn-5 en Sn-4. Í síðasta sýni hefur heildarmagn uppleystra efna aftur minnkað. Það var tekið eftir fimm mánaða hvíld á dælingu úr holunni.

Á mynd 3 er sýndur styrkur klóríðs í jarðhitavatninu. Til viðmiðunar eru settir inn ferlar sem sýna áhrif beinnar sjóblöndunar. Ferlarnir eru dregnir á milli tveggja punkta með mismunandi styrk af klóríði. Annar punkturinn á öllum ferlunum er 500 mg/kg af klóríði í ársbyrjun 1970. Hinir punktarnir eru í árslok 1983 og er styrkurinn þá fenginn með því að bæta 1, 2, 3 og 4% sjávar í sýnið með 500 mg/kg af klóríði. Efnasamsetning sjávar er miðuð við 35 o/oo seltu (Culkin 1965). Ferlarnir fyrir klóríðstyrk á móti tíma samsvara þannig 1-2% sjóblöndun fram til 1981 en allt að 4% fram til 1983. Svo virðist sem ferlarnir fyrir Sn-3 og jafnvel einnig Sn-4 hafi beygt örlítið af með sýninu frá í ágúst og í októbersýnum er lækkun í klóríðstyrk. Í októbersýnum úr Sn-5 lækkaði seltan um u.p.b. 20% frá maísýnum. Ekkert sýni var tekið úr Sn-5 í ágúst þar sem ekki var dælt úr holunni í allt summar.

Á mynd 4 er sýndur styrkur natriums í jarðhitavatninu á móti tíma. Fram kemur hröð aukning á styrk natriums frá ársbyrjun 1981, en fyrir þann tíma er hægari aukning í vatni úr Sn-3 og talsvert óreglulegur ferill kemur fram fyrir vatnssýni úr Sn-4. Á mynd 5 eru sýndar breytingar á styrk kalsiums með tíma. Í gráfum dráttum eru breytingarnar svipaðar og fyrir styrk hinna efnanna. Þar sem styrkur Ca í sjó er aðeins um 4% af styrk Na eru breytingarnar í styrk Ca augljóslega ekki til komnar vegna sjóblöndunar. Um 4% sjóblöndun myndi tæplega valda merkjanlegri breytingu á Ca styrk. Styrkur súlfats hefur aukist (mynd 6), en hlutfallslega minna en klóríðs. Breytingar á styrk kaliums eru fremur litlar og mun minni en tilsvara beinum áhrifum 2-4% sjóblöndunar. Sama málí gegnir um styrk magnesiums. Séu skoðaðar breytingar á styrk kísils með tíma (mynd 7) sést að þær eru óreglulegar en styrkur kísils hefur lækkað talsvert í vatni úr Sn-3 og Sn-4 og frá miðju ári 1982 einnig í Sn-5. Í síðustu sýnum úr Sn-3 og Sn-4 var reyndar aftur aðeins aukning á kísil-styrk.

Hugsanlegt er að þær óreglulegu sveiflur sem fram koma séu vegna útfellinga í sýnatökuflöskum á efnafraðistofu fyrir greiningu, því ekki hafa sýnin alltaf verið þynnt strax við söfnun og í svo söltu vatni er hugsanlegt að útfelling verði fljótlega í flöskunum. Þessi

ágiskun er einkum byggð á því að lægstu mæligildin fyrir kísilstyrk eru mun lægri en sem svarar mestu mögulegu sjóblöndun samkvæmt styrk klóríðs og heildarmagni uppleystra efna. Hitastigslækkun samfara 1% sjóblöndun er aðeins rúmlega  $1^{\circ}\text{C}$ , en allt að  $5^{\circ}\text{C}$  við 4% sjóblöndun.

Ekki hefur mælst mikil kólnun í borholuvatni á Seltjarnarnesi. Á mynd 8 eru sýndar breytingar á styrk kalíums með tíma og breytingar á styrk flúors með tíma á mynd 9. Samfara aukningu í styrk klóríðs í jarðhitavatninu hefur þannig aukist styrkur natriums, kalsíums og súlfats en styrkur kísils minnkað. Ljóst er að ekki er einungis um sjóblöndun að ráða heldur hafa einnig orðið nokkur efnaskipti í þeim sjó sem blandast hefur jarðhitavatninu. Þannig eru hlutföll katjóna önnur en yrðu við beina sjóblöndun og þótt að jafnaði hafi orðið lækkun á styrk kísils þá er veruleg dreifing í mæligildunum. Það síðastnefnda gæti að vísu verið afleiðing útfellingar eins og bent var á hér að framan. Á myndum 10-14 er sýndur styrkur helstu efna á móti klóríðstyrk. Til hliðsjónar er sýnd lína fyrir beina sjóblöndun sýnis 700100 úr holu SN-4 og sýnis 700195 úr SN-3. Sýna þessar myndir ljóslega áhrif efnaskipta og blöndunar. Einkum koma áhrif efnaskipta vel fram á mynd 12 sem sýnir Ca á móti Cl. Kalsíumstyrkur hefur rúmlega tvöfaldast í holum Sn-3 og 4 á tímabilinu og er styrkaukningin fimm- til áttfalt meiri en 4% bein sjóblöndun gæti skýrt. Eins og fram kemur á mynd 3 getur sjóblöndun varla verið meiri en 4%.

Á myndum 15-20 eru sýndar breytingar á hlutföllum ýmissa efna með tíma; Na/Cl, Ca/Cl, K/Cl, SO<sub>4</sub>/Cl, SiO<sub>2</sub>/Cl og Na/K.

Fram kemur lækkandi hlutfall Na/Cl með tíma. Ca/Cl hlutfallið breytist óreglulegar, en hækkar líklega aðeins. Hlutföllin K/Cl, SO<sub>4</sub>/Cl og SiO<sub>2</sub>/Cl lækka öll með tíma, en Na/K hlutfall er óbreytt eða sveiflast óreglulega.

Í töflu í Viðauka A er sýnt gildi fyrir súrefnisótópahlutfall í jarðhitavatninu. Í samræmi við fyrri mælingar á vetrnisótópahlutfalli er vatnið léttara, þ.e. gildið lægra, en í vatni af Reykjavíkur- og Reykjasvæðinu. Til að ráða í uppruna blöndunarvatnsins átti að fylgjast með breytingum á súrefnisótópahlutfallinu, en niðurstöður greininga á sýnum frá 1983 hafa enn ekki fengist.

### 2.3 Orsakir breytinga á efnasamsetningu jarðhitavatnsins

Eins og nefnt var hér að framan hefur ekki orðið vart verulegar kólnunar jarðhitavatnsins í holum Sn-3 og Sn-4. Við sýnatöku hefur hitastigið ekki alltaf verið mælt og þær mælingar sem til eru hafa verið gerðar með ýmsum hitamælum og eru ekki taldar nógur vel sambærilegar. Svo virðist þó sem allt að  $2^{\circ}\text{C}$  kólnun gæti hafa orðið í holu Sn-4. Í holu Sn-5 hefur hins vegar orðið talsverð hækjun á hitastigi nú í haust eftir að holan var hvíld í fimm mánuði í summar og hefur vatnshitastigið aldrei áður orðið svona hátt í þessari holu. Efnainnihald var mjög svipað í fyrsta sýninu úr holu Sn-5 eftir hvíld og var við upphaf dælingar nema hvað kísilstyrkur er hærri og svarar til hækkaðs hitastigs vatnsins. Þær breytingar sem orðið hafa á efnainnihaldi jarðhitavatnsins má að mestu skýra með sjóblöndun. Sjórinm sem blandaðist jarðhitavatnið hefur náð að draga varma úr berginu og hafa katjónaskipti við það. Hvarftíminn hefur hins vegar verið of stuttur til þess að jafnvægi næðist við kalsedón. Vitað er að jónaskipti (t.d.  $\text{Ca}^+$  =  $2\text{H}^+$ ) verða mjög fljótt þegar köldu vatni er dælt niður í borholur við dæluprófanir (sjá t.d. Jón Benjamínsson & Jens Tómasson 1980). Á örfáum dögum hafði sýrustigið (pH) í niðurdælingarvatni hækkað úr u.p.b. 7 upp í um eða yfir 9 og kalsíum í vatnið hafði hækkað tilsvarandi. Einnig varð talsverð aukning á styrk kísils, en jafnvægi náðist ekki við kalsedón á þeim fáu dögum sem dæluprófunin stóð yfir. Rannsóknarstofu-tilraunir (sjá t.d. Morey o.fl. 1962) benda til að við hitastig um  $100^{\circ}\text{C}$  sé vatn um einn mánuð að ná jafnvægi við kalsedón. Miðað við þá takmörkuðu vitneskju sem til er um hraða efnahvarfanna er líklegt að dvalartími kalda sjóvatnsins í heitari jarðlögum sé dagar eða jafnvel vikur, en skipti tæplega mánuðum og alls ekki árum.

Efnabreytingar jarðhitavatnsins mætti e.t.v. einnig skýra með innstreymi úr kaldari hluta jarðhitasvæðisins. Selta vatnsins úr grunnu, kaldari borholunum, S-1 og S-2 (sjá töflu), var hins vegar mun lægri en í vatni úr djúpu vinnsluholunum og er þessi skýring því fremur ólíkleg. Líklegast er að aukist hafi innstreymi af köldu, söltu vatni inn á jarðhitasvæðið vegna aukinnar vinnslu og þrýstingslækkunar á jarðhitasvæðinu í kjölfar hennar. Sé þessi skýring rétt má búast við kælingu á jarðhitavatnið innan tíðar.

### 3 NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR

Mikil og hröð aukning hefur orðið á magni uppleystra efna í jarðhitavtninu á Seltjarnarnesi s.l. tvö ár og stafar hún mjög líklega af innrennsli kalds sjávar inn í jarðhitakerfið. Vekur það ótta við að kæling verði á vinnslusvæðinu. Kælingar á vatni sem dælt er úr vinnsluholunum hefur ekki enn orðið vart. Eftirlit með hitastigi vatnsins hefur ekki verið það samfellt né nákvæmt að unnt sé að fullyrða með vissu að ekki hafi orðið  $<2^{\circ}\text{C}$  kólnun en meiri hefur hún ekki orðið. Af efnainniháldi vatnsins má ráða að kaldi sjórinn, sem kemur inn í jarðhitakerfið, hafi náð að hitna og hvarfast við berggrunninn að nokkru marki en ekki hafi náðst jafnvægisástand.

Rannsaka þarf með öllum tiltækum ráðum hvort finna má hvar innrennslið á sér stað og hvort hægt sé að stöðva það eða tefja frekari áhrif þ.e.a.s. á vinnslusvæðið.

Vinnsluholur hitaveitunnar eru fremur grunnt fóðraðar og innrennsli í þær gæti átt sér stað ofarlega við þrýstingslækkun á svæðinu. Hola SN-3 er aðeins fóðruð í um 100 m dýpi, hola SN-4 í 172 m dýpi og hola SN-5 í 173 m dýpi. Vinna þarf úr upplýsingum um dælingu úr holunum og athuga hvort sjá má einhverja fylgni milli magntöku og efna-breytinga. Eldri og grynnri holurnar á Seltjarnarnesi, S-1 (1282 m) og S-2 (856 m), eru fóðraðar enn grynnra en vinnsluholurnar, í 18 m (S-1) og 68 m (S-2). Breytingar vegna kalds innrennslis í efri jarðlög ættu því að koma vel fram í þeim. Sjálfsagt er að hitamæla báðar þessar holur sem fyrst og æskilegt væri einnig að hitamæla vinnsluholurnar þegar færi gefst vegna upptektar á djúpdælum. Þótt ekki verði ráðist í endurfóðrun á eldri holum þarf a.m.k. að hafa í huga að fóðringar verði látnar ná dýpra í þeim holum sem boraðar verða í framtíðinni. Hversu djúpar þær þurfa að vera ræðst væntanlega af niðurstöðum hitamælinga í borholunum.

Ljóst er einnig að þar sem vatnið er orðið algjörlega óneysluhæft og tæringarhætta hefur aukist frá upphafi veitunnar þarf að setja forhitara við öll hús .

HEIMILDASKRÁ

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. & Svavarsson, H. 1983: The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III. Chemical geothermometry in geothermal investigations.

Culkin, F. 1965: The major constituents of sea water. In: Chemical oceanography (ed. J.P. Riley and G. Skirrow). London, Academic Press, 1: 121-161.

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

Helgeson, H. E. 1969: Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Amer. J. Sci., 267: 729-804.

Hrefna Kristmannsdóttir 1983: Efnasamsetning Jarðhitavatns á Seltjarnarnesi. Orkustofnun, greinargerð HK-83/07

Hörður Svavarson 1981, Forritin "Watch 1" og "Watch 3". Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Leiðbeiningar fyrir notendur. Orkustofnun, OS81007/JHD03, 70 s.

Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir & Ingvar Birgir Friðleifsson 1977: Höfuðborgarsvæði. Jarðhitraðsóknir 1965-1973. Orkustofnun, OSJHD 7703

Jón Benjamínsson & Jens Tómasson, 1980: Bakvatn. Dagskrá og Ágrip. Ráðstefna um jarðhita 7. nóvember 1980: 29-31.

Morey, G.W., Fournier, R.O. & Rowe, J.J. 1962: The solubility of quartz in water in the temperature interval from 25 to 300°C. Geochim. Cosmochim. Acta, 26: 1029-1043.

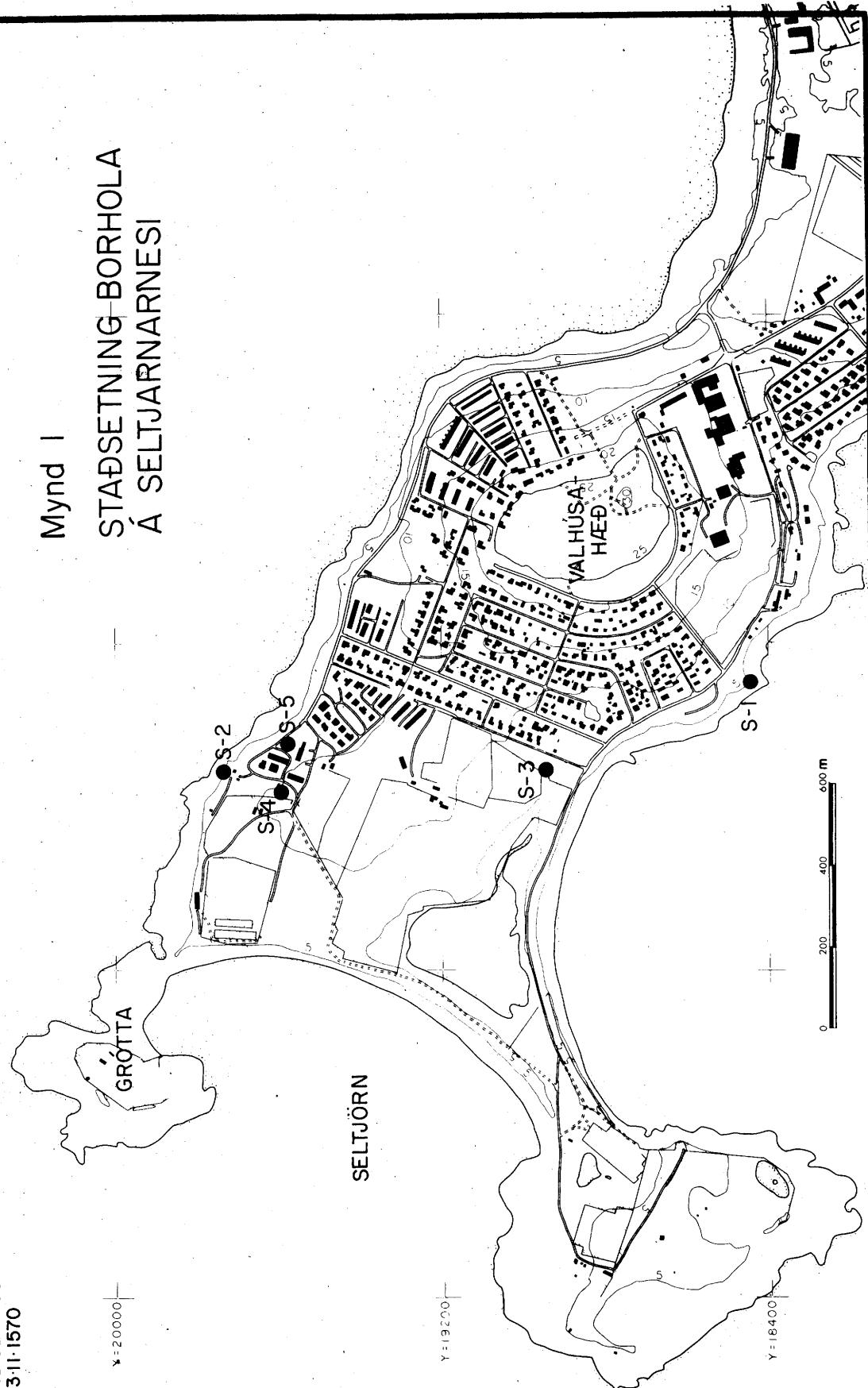
Mynd I  
STAÐSETNING-BORRHOLA  
Á SELTJARNARNESSI

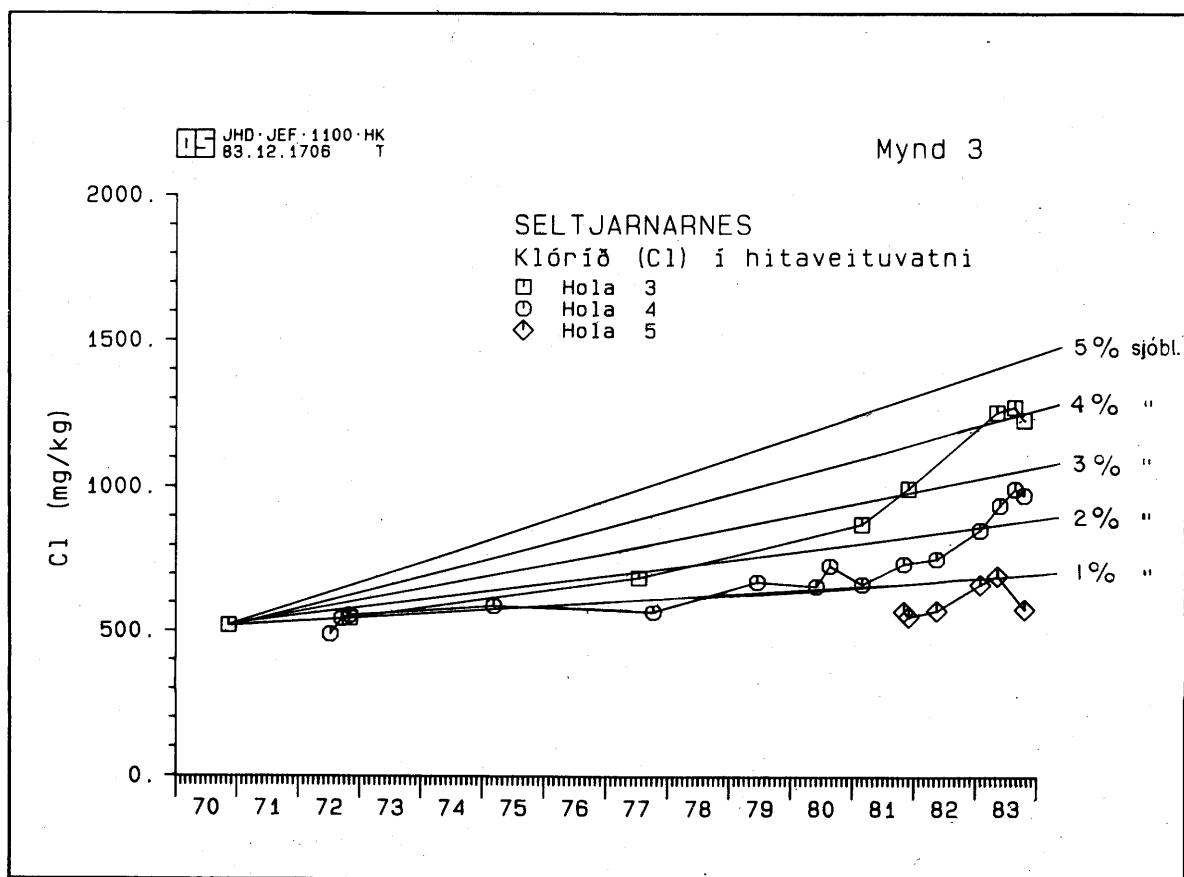
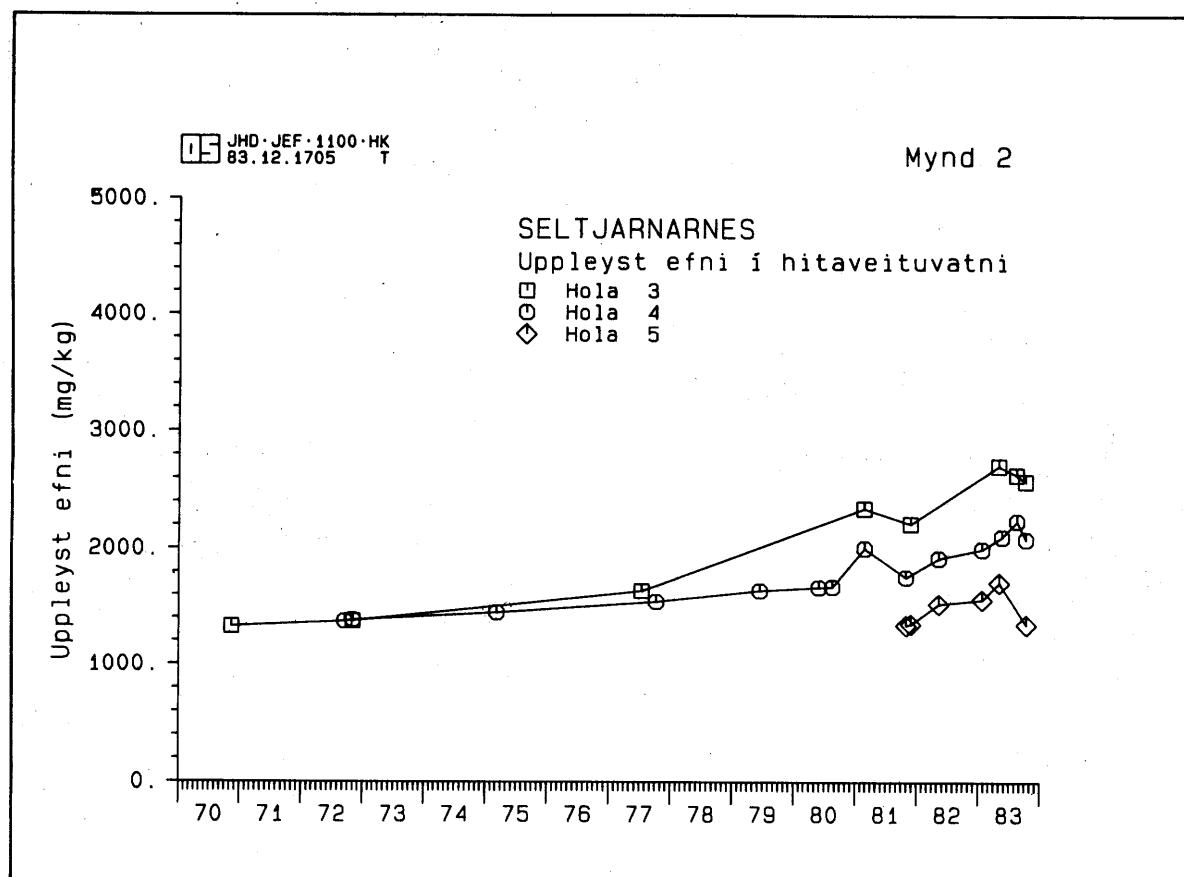
JHD-JEF-1100-HK  
83-11-1570

Y=20000

Y=19200

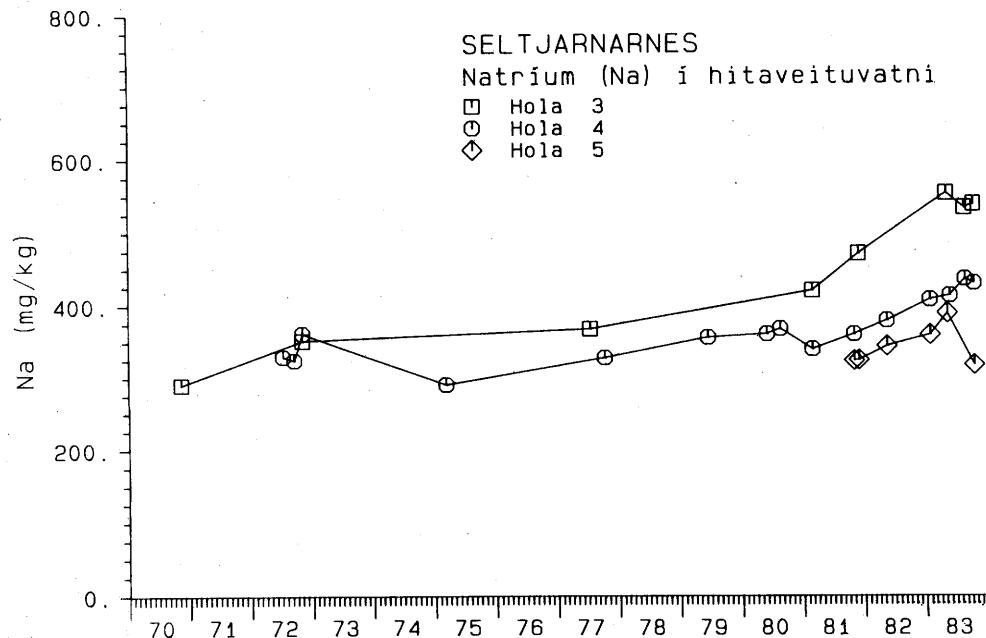
Y=18400





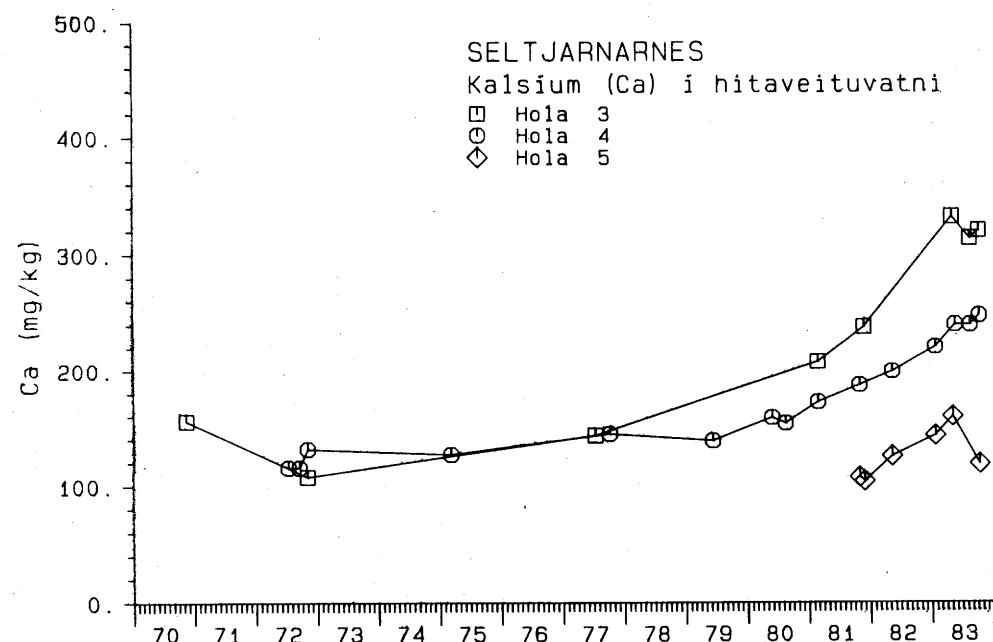
JHD-JEF-1100-HK  
83.12.1707 T

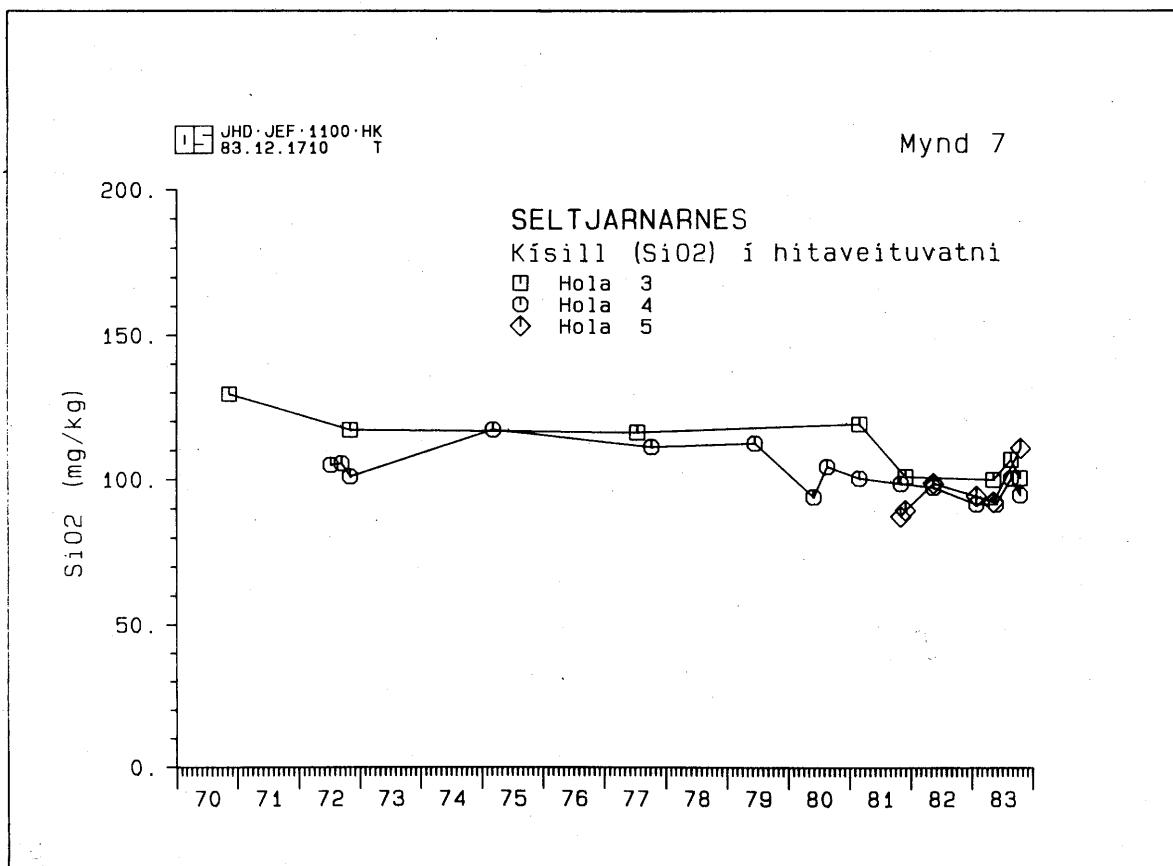
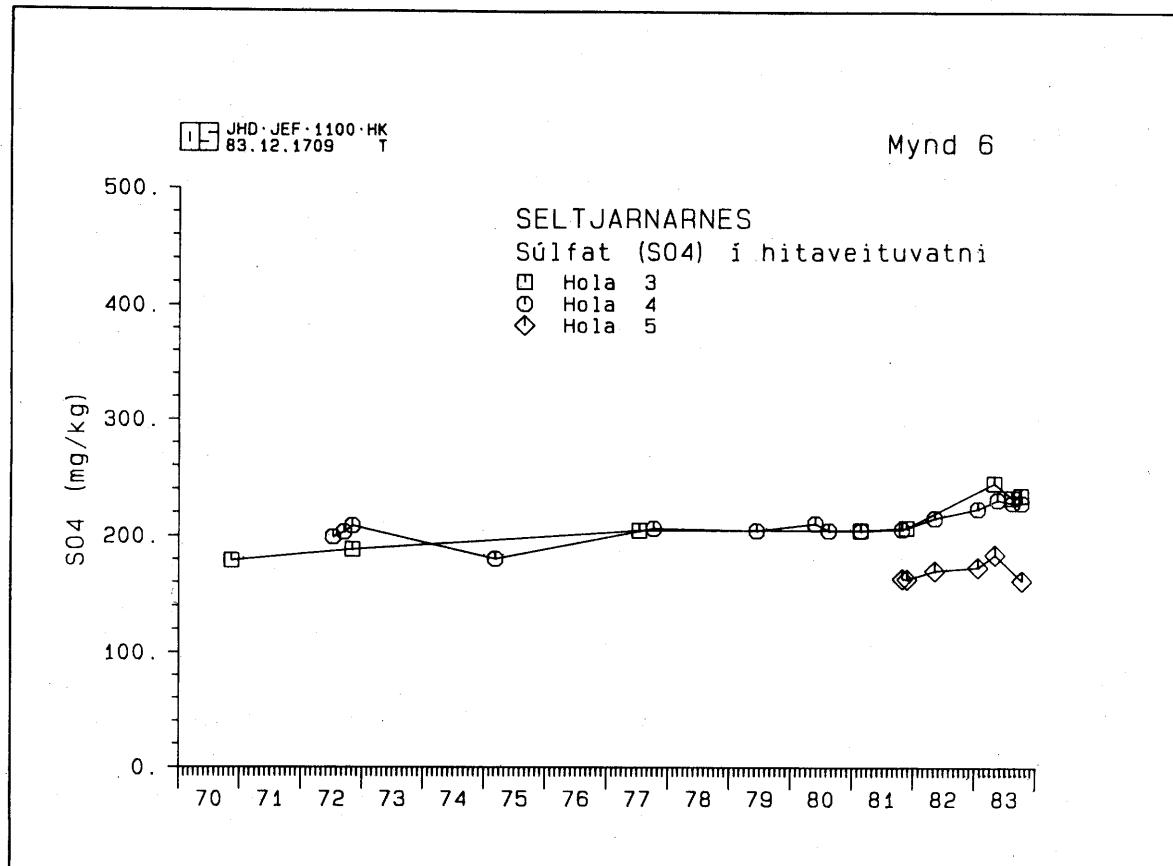
Mynd 4

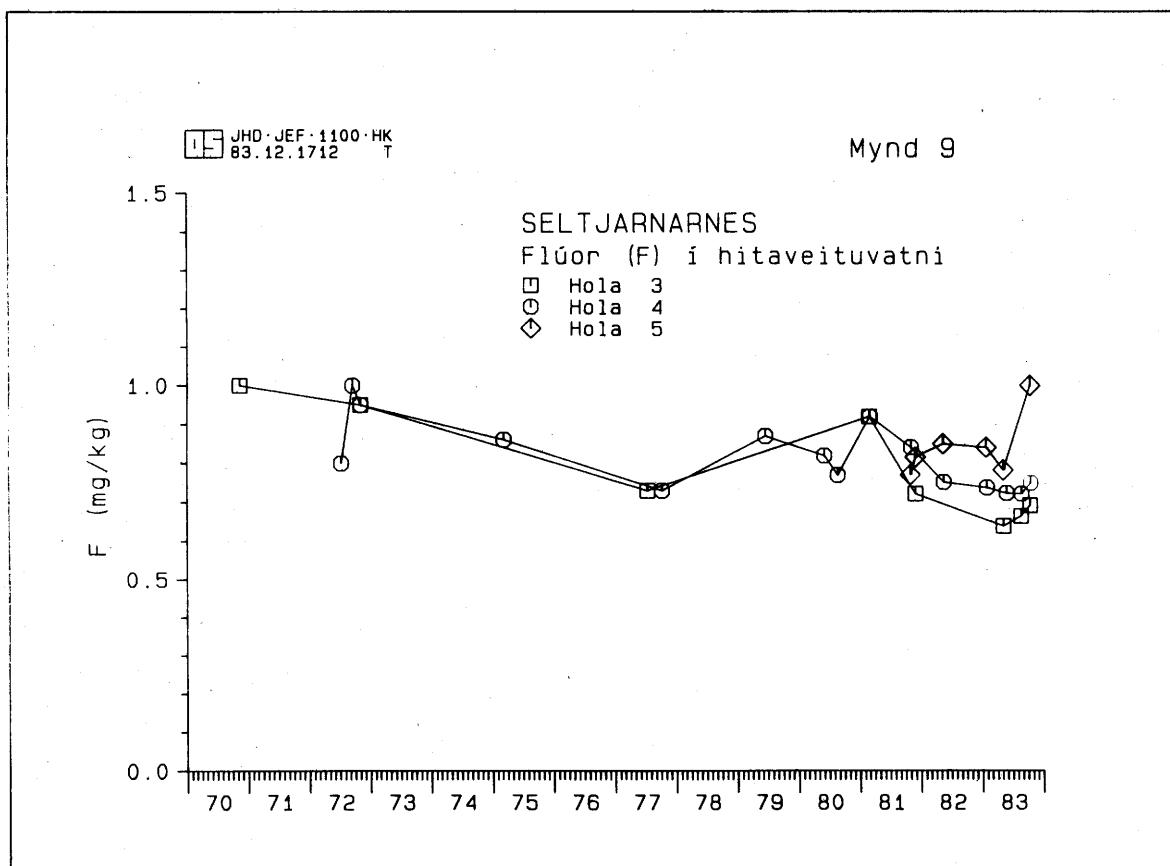
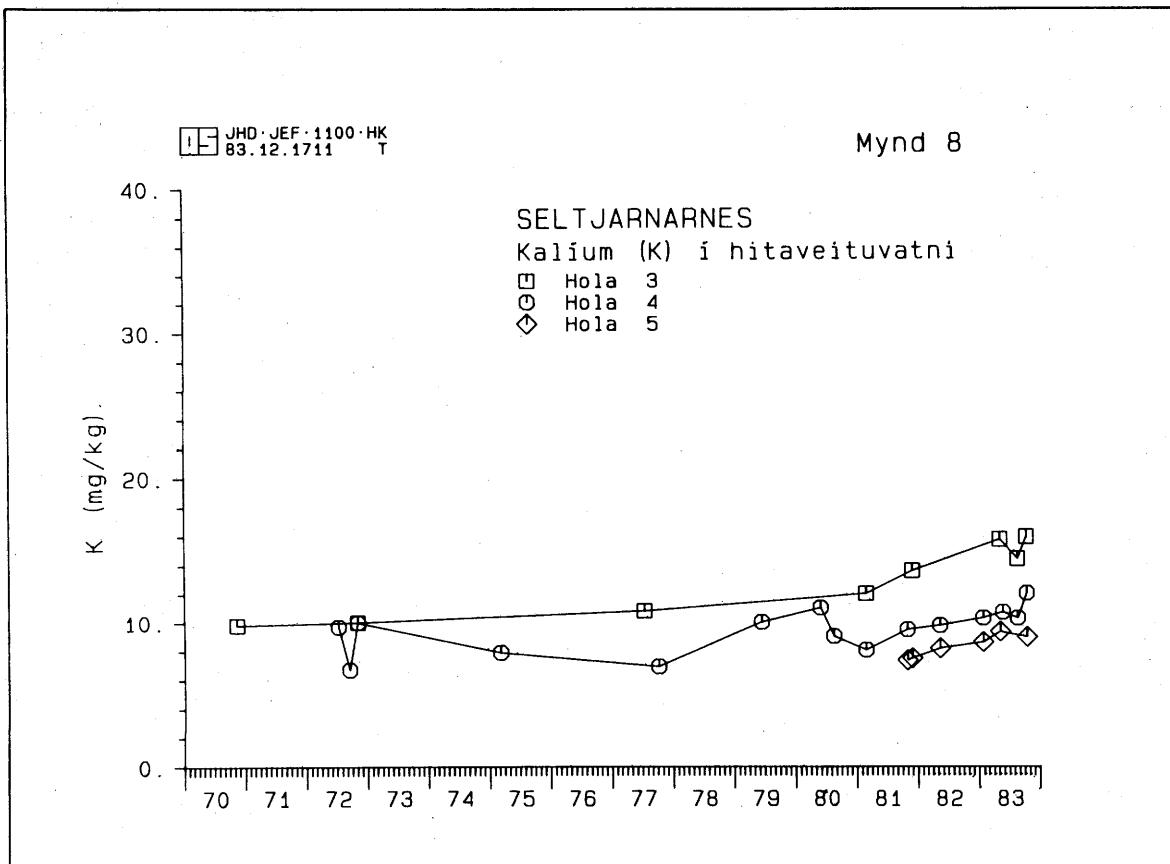


JHD-JEF-1100-HK  
83.12.1708 T

Mynd 5

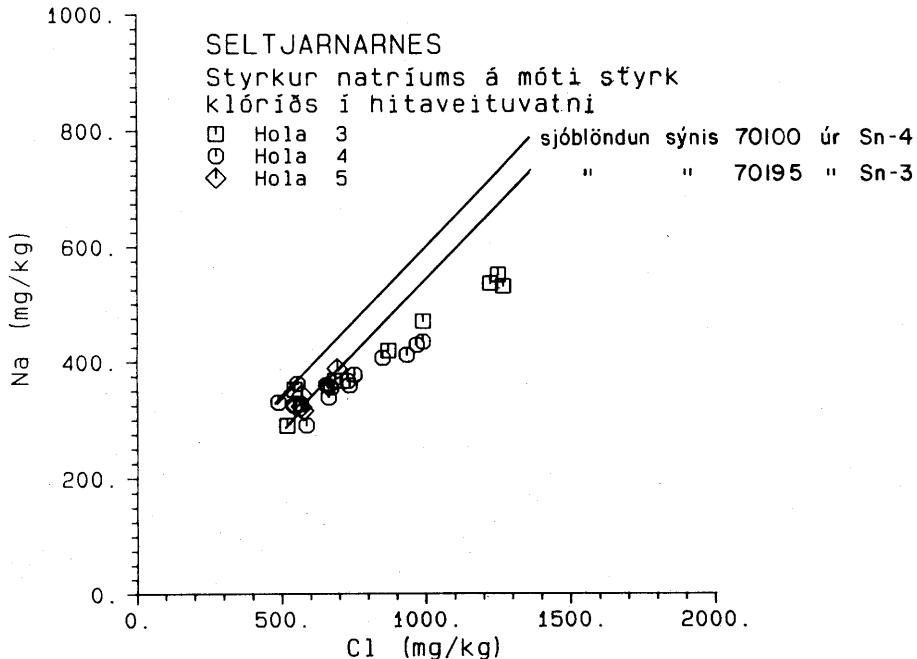






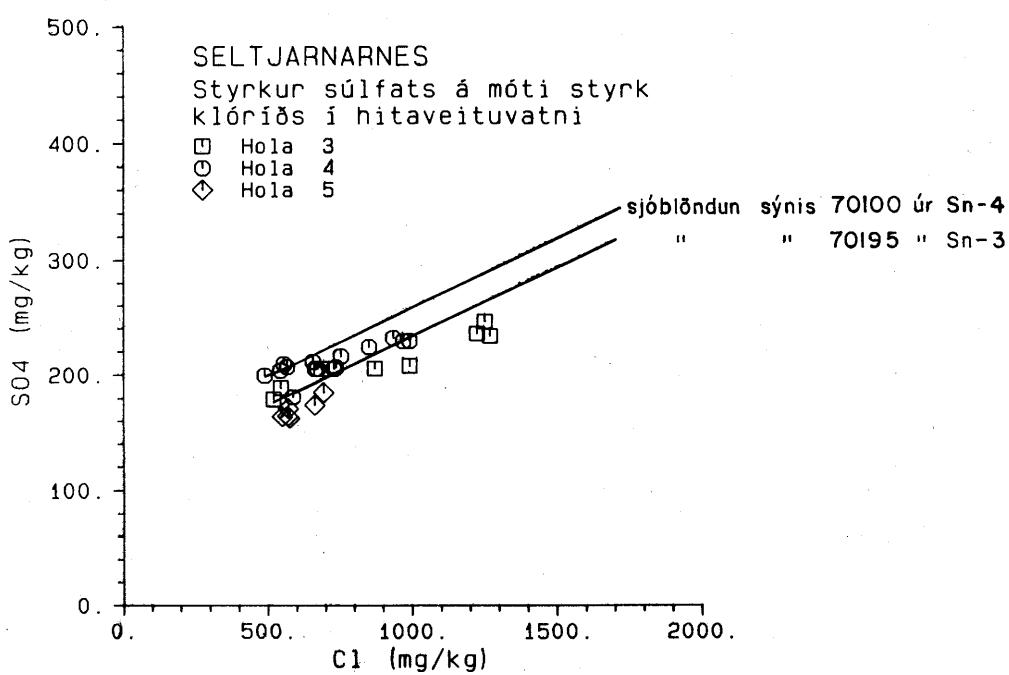
JHD-JEF-1100-HK  
83.12.1713 T

Mynd 10



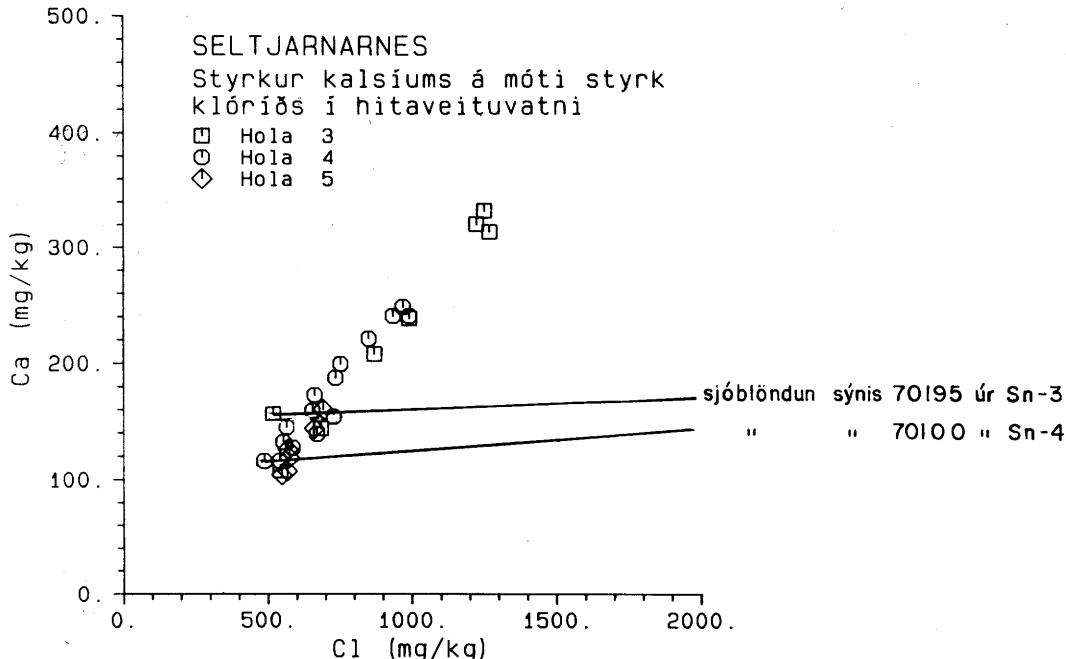
JHD-JEF-1100-HK  
83.12.1714 T

Mynd 11



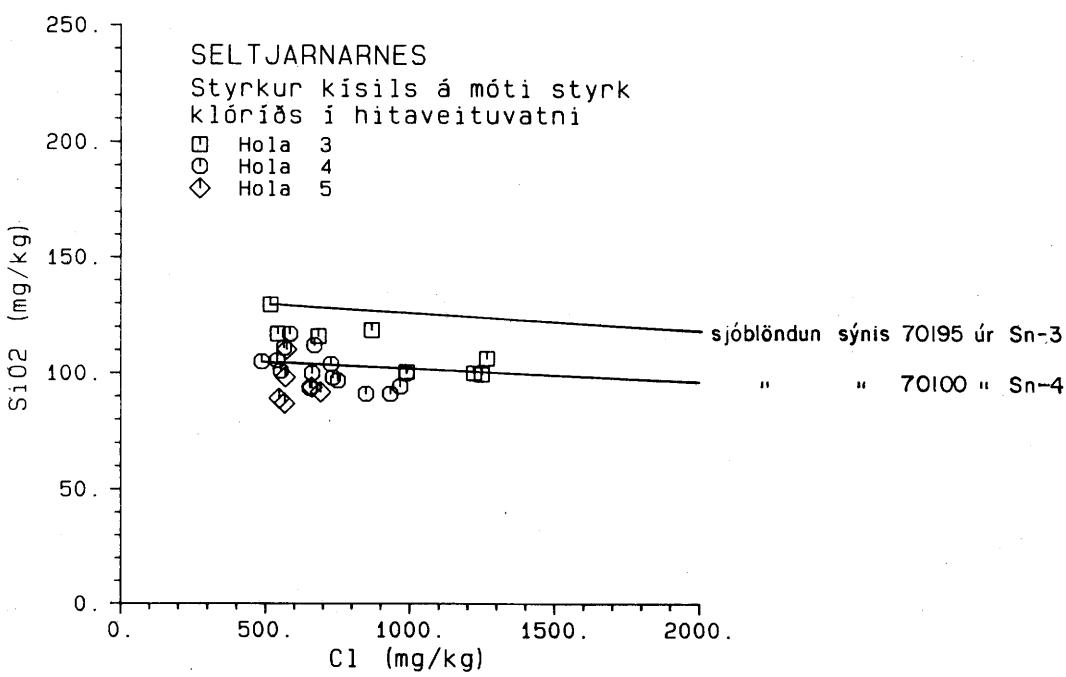
JHD · JEF · 1100 · HK  
83.12.1715 T

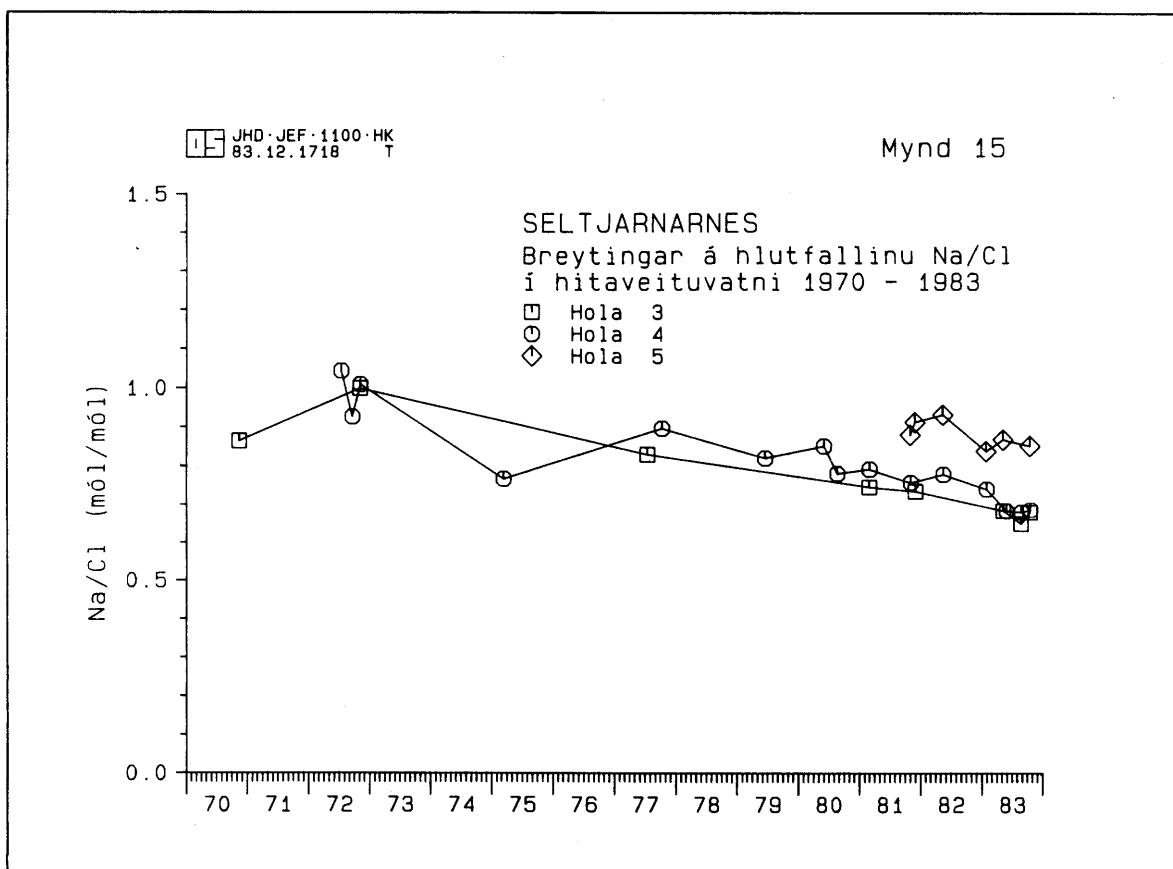
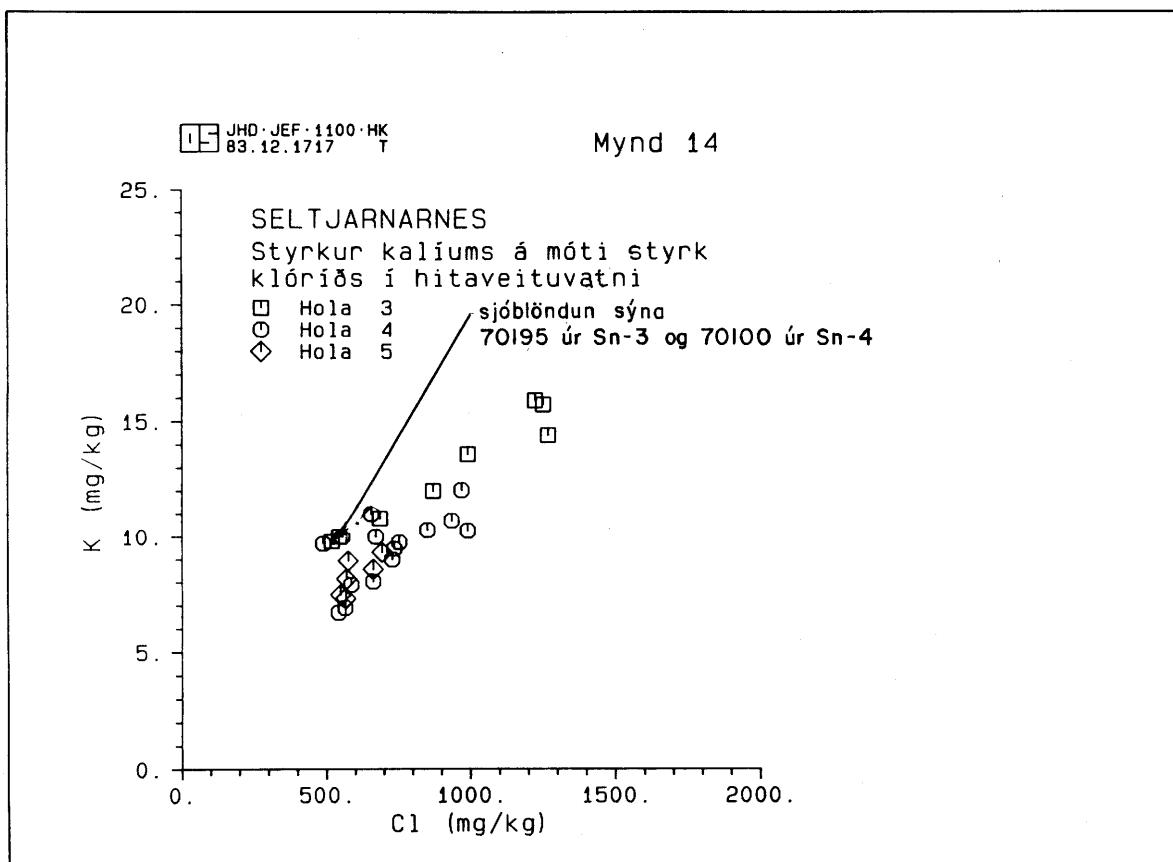
Mynd 12



JHD · JEF · 1100 · HK  
83.12.1716 T

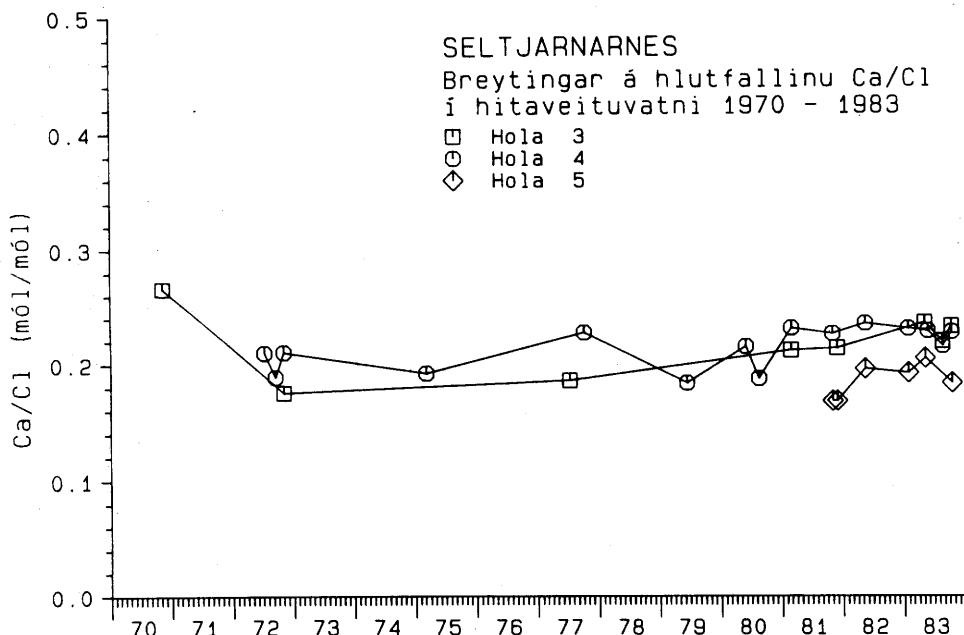
Mynd 13





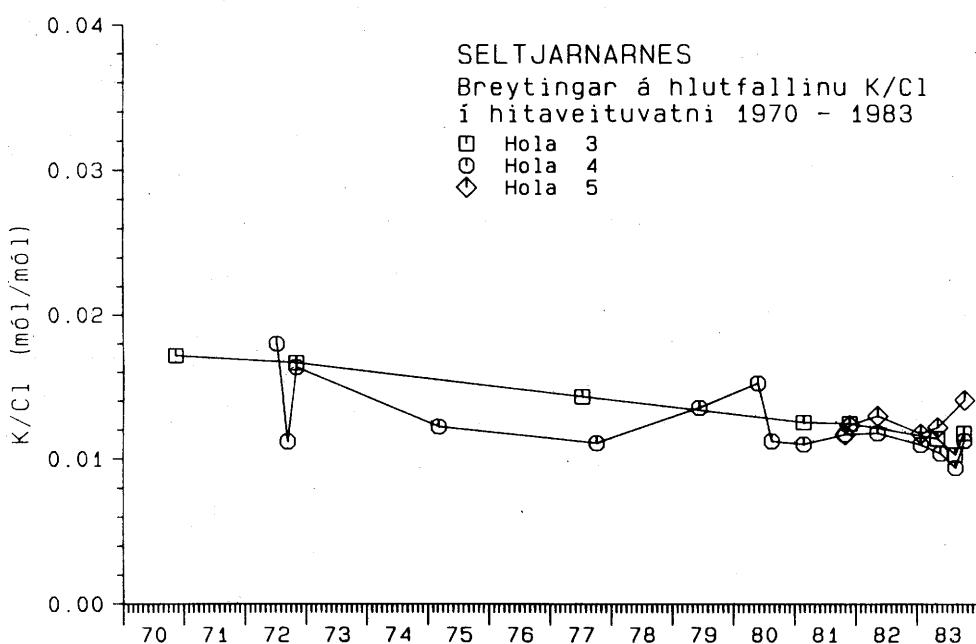
JHD · JEF · 1100 · HK  
83.12.1719 T

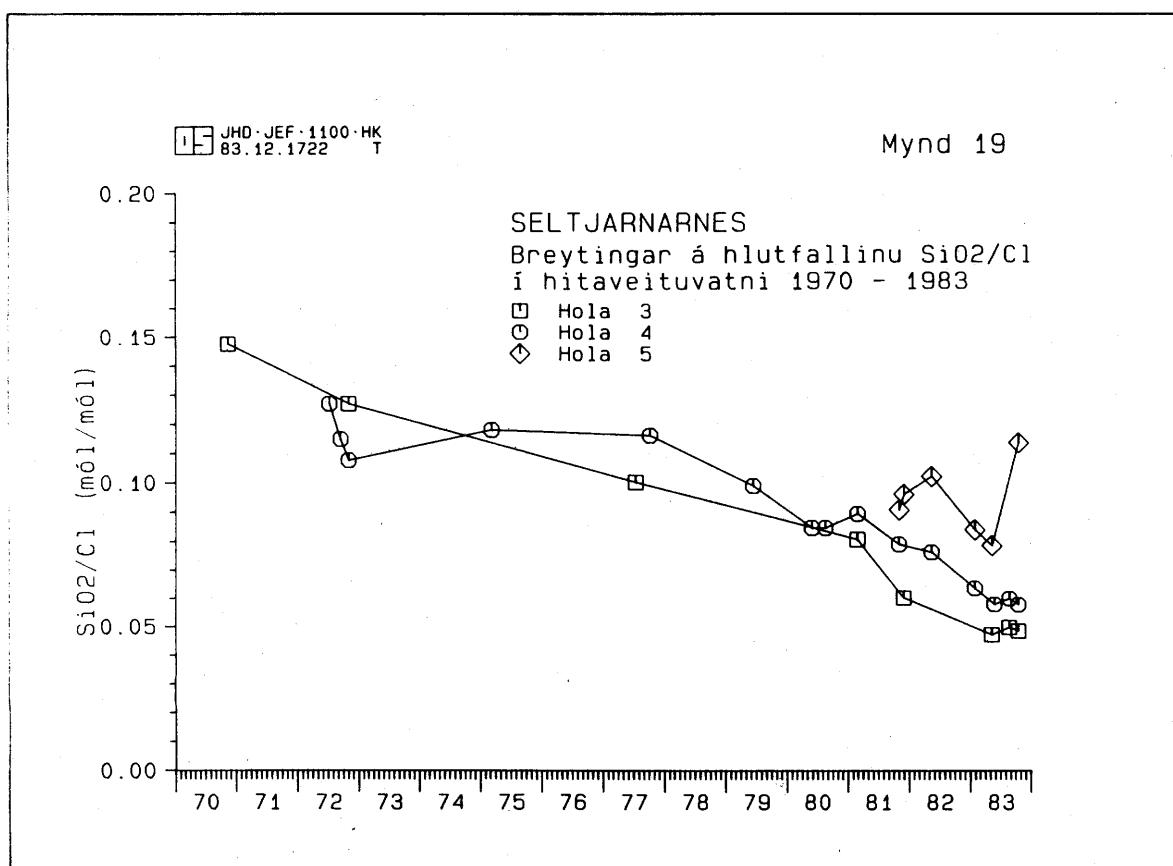
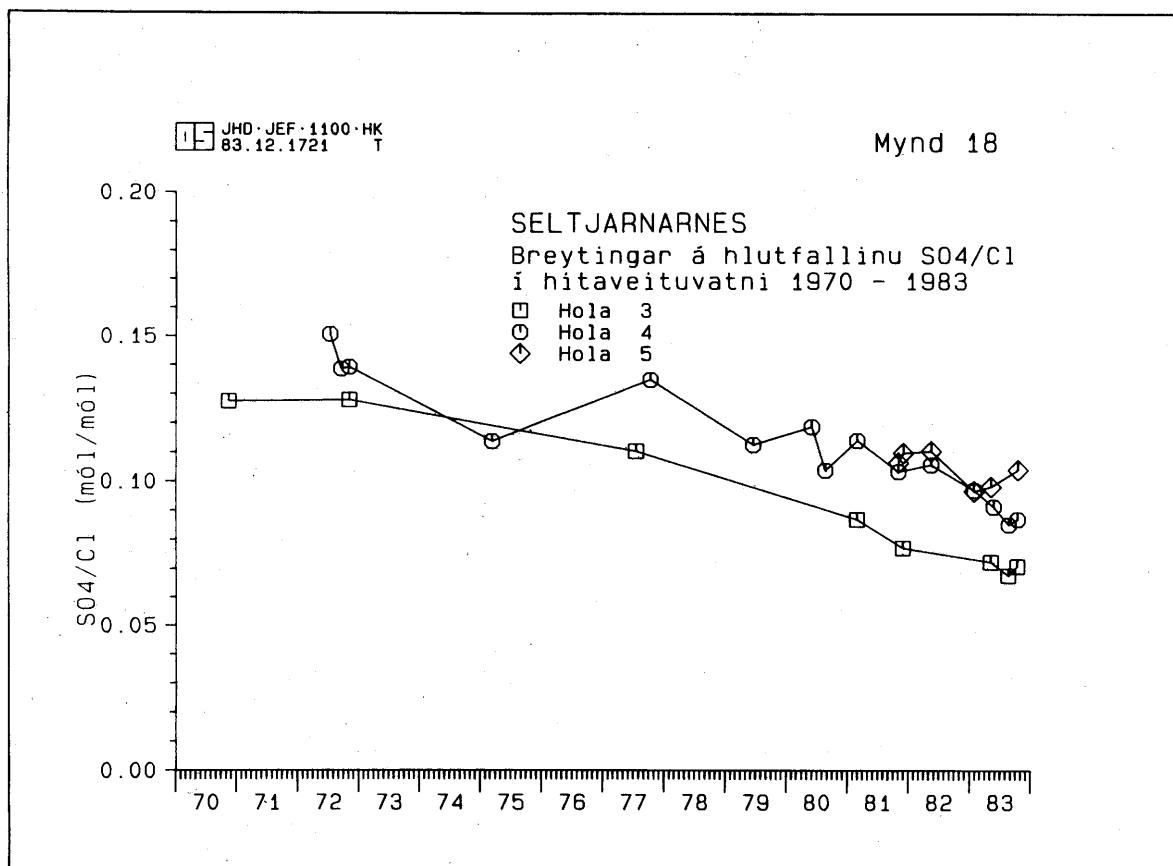
Mynd 16



JHD · JEF · 1100 · HK  
83.12.1720 T

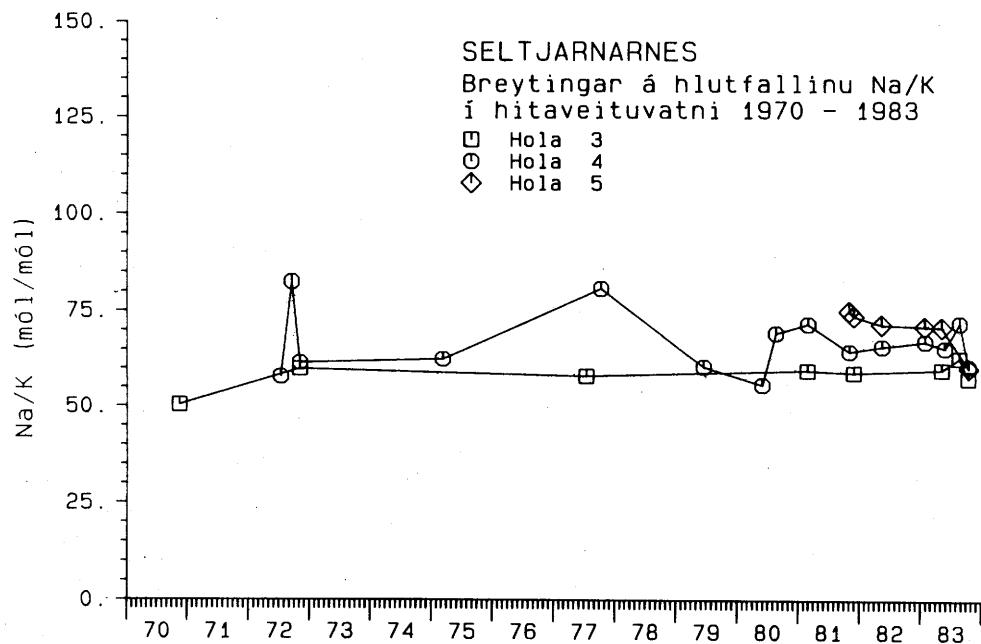
Mynd 17





JHD · JEF · 1100 · HK  
83.12.1723 T

Mynd 20



Viðauki A

Tafla: Efnagreiningar á jarðhitavatni

VÍÐAUKI A TAFLA: Seltjarnarnes. Efni/greiningar á jardhitavtni

- 24 -

Hola	Sýni nr	Hiti	1/s	leidni	pH/°C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	C <sub>1</sub>	F	uppl.	δ <sup>18</sup> efni
	68053314	83,0	3,5	8,90/83	110,0	271,5	5,9	60,8	0,04	4,5	105,6	0,0	426,0	0,80	1111,0		
	69050035		5,7	9,15/	85,6	305,0	5,9	61,3	0,50	14,1	146,8	0,0	432,0	0,95	1055,0		
S-1	69050039	8,8	8,95/	58,4	173,0	3,4	32,0	0,30	14,1	89,5	0,0	203,0	0,55	655,2			
	69060041	6,6	8,90/	71,6	232,0	4,7	49,8	0,40	9,7	127,5	0,0	353,0	0,90	891,2			
	69060042	5,0	7,55/	92,0	307,0	8,2	80,0	0,80	16,7	167,9	0,0	516,0	0,80	1257,0			
	69060043	4,8	7,55/	92,8	324,0	8,4	91,0	1,30	14,9	174,1	0,0	547,0	0,80	1312,0			
	69060044	3,8	7,60/	116,4	408,0	15,7	150,0	0,90	14,9	218,0	0,0	727,0	0,70	1720,0			
S-2	69050036	56,7	9,15/	90,0	281,0	5,5	66,0	0,10	10,1	161,5	0,0	443,0	1,00	1100,0			
	70110195	8,50/	129,5	290,0	9,8	156,0	0,20	17,6	178,8	0,0	518,0	1,00	1320,0				
	72110156	4,8	8,45/	117,0	352,0	10,0	108,0	0,04	14,0	188,5	0,0	544,0	0,95	1368,0			
	77072052	100,0	8,44/28	116,0	367,5	10,8	143,8	0,17	5,0	204,9	0,1	685,0	0,73	1631,0			
Sn-3	81020031	101,0	4,7	8,41/21	118,6	419,1	12,0	207,9	0,08	8,2	205,1	0,0	870,0	0,92	2341,5		
	81110206	2,9	8,35/21	100,5	469,8	13,6	238,4	0,11	9,5	207,3	0,0	990,0	0,72	2209,4	⇒10,40		
	83050081	2,5	8,35/21	99,5	551,5	15,7	332,3	0,14	9,6	245,6	0,0	1250,0	0,64	2708,0			
	83080214	102,0	2,5	8,32/21	106,4	531,4	14,4	313,8	0,14	8,3	232,9	0,0	1267,7	0,67	2633,0		
	83110247	99,9	2,6	8,42/22	100,07	536,6	15,9	320,5	0,13	11,9	235,1	<0,05	1222,5	0,69	2578,7		
	72070100	114,5	10,0	4,7	8,20/	105,0	330,0	9,7	116,0	0,40	20,0	199,2	0,0	488,0	0,80		
	72090131	116,0	4,9	8,30/	105,5	325,0	6,7	116,0	0,10	19,0	203,5	0,0	542,0	1,00	1366,0		
	72110155	115,2	4,8	7,80/	101,0	362,0	10,0	132,0	0,09	17,0	209,0	0,0	554,0	0,95	1376,0		
	75030070	11,1	8,37/20	117,0	290,5	7,9	127,4	0,05	6,1	180,6	0,3	585,8	0,86	1444,0			
	77102059	4,7	8,60/23	111,0	327,5	6,9	145,0	0,07	6,9	206,6	0,0	565,0	0,73	1538,0			
	79063020	114,0	20,0	4,2	8,62/20	112,1	355,5	10,0	139,0	0,10	6,5	204,8	0,3	670,8	0,87	1636,0	
	80050077	4,8	8,38/23	93,6	360,0	11,0	159,0	0,04	8,2	210,8	0,1	655,0	0,82	1666,0			
	80080130	112,0	4,9	9	104,0	367,0	9,0	154,0	0,05	205,0	0,0	728,0	0,77	2033,0			
	81020030	113,0	4,8	8,38/22	100,0	338,8	8,0	172,7	0,01	7,0	204,8	0,0	662,5	0,92	2033,0		
	81100156	116,7	3,8	8,40/22	98,1	359,3	9,5	187,6	0,06	15,9	206,1	0,0	735,0	0,84	1755,0	⇒10,64	
	82050071	3,4	8,54/22	96,8	378,0	9,8	199,4	0,06	7,9	215,7	0,1	752,0	0,75	1919,6	⇒10,33		
	83010008	3,3	8,40/22	91,1	406,4	10,3	221,1	0,07	7,5	223,6	0,1	850,0	0,74	1997,6			
	83050119	115,0	3,3	8,52/24	91,1	411,7	10,7	240,6	0,09	7,3	231,2	0,1	933,7	0,72	2103,2		
	83080215	113,5	3,1	8,47/22	99,9	434,6	10,3	240,5	0,09	7,5	228,8	<0,2	989,8	0,72	2238,8		
	83110246	112,0	3,2	8,45/22	94,2	423,8	12,03	248,3	0,08	11,1	228,6	<0,05	967,5	0,75	2053,4		
	81100155	89,0	4,8	8,61/22	86,9	322,6	7,3	107,5	0,05	14,5	163,9	0,0	567,5	0,77	1334,1		
	81110205	4,9	8,60/21	89,0	323,5	7,5	104,0	0,07	9,8	163,4	0,0	548,8	0,82	1345,0	⇒10,48		
	82050072	4,2	8,42/22	98,2	343,0	8,1	125,8	0,07	8,3	170,7	0,0	570,0	0,85	1522,3	⇒10,34		
Sn-5	83010009	95,6	4,1	8,50/21	93,8	358,3	8,6	143,5	0,07	7,0	173,6	0,1	662,1	0,84	1559,6		
	83050080	3,9	8,15/21	91,8	388,0	9,3	160,0	0,09	13,7	184,5	0,0	692,5	0,78	1710,6			
	831100248	5,3	8,55/22	110,3	316,3	8,9	119,0	0,04	10,4	162,2	0,1	575,0	1,00	1342,4			
	Vatnur safn- tanki	83050082	3,3	8,75/21	94,4	451,0	11,4	215,9	0,09	9,3	204,8	0,0	887,5	0,75	2106,3		

Viðauki B

Skýrgreining hugtaka

## SKÝRGREINING HUGTAKA

### Djúphitastig

Djúphitastig er það hitastig sem fæst með nálgunarreikningi út frá efnasamsetningu vatnssýnis teknu á yfirborði (í laug eða holutoppi). Miðað er við að vatnið hafi verið í jafnvægi við berggrunn og hafi ekki hvarfast í uppstreymisrásum og að engin efni hafi fallið út á leiðinni.

### Efnahitastig

Styrkur og virknihlutfall efna í lausn er háð hitastigi og fyrir sum efni er til kvörðun miðuð við hitastig. Slik kvörðun er ýmist reynslubundin eða byggð á rannsóknarstofutilraunum. Frá mældu magni og hlutfalli slíkra efna í jarðhitavatni má því reikna út djúphitastig vatnsins. Efnahitamælarnir gefa þannig til kynna líklegt vatnshitastig í jarðhitageyminum sem fæðir viðkomandi svæði. Engar ályktanir er hægt að draga um lekt, líklegt dýpi eða aðra staðsetningu jarðhitageymisins frá efnafraðilegum aðferðum eingöngu. Þeir efnahitamælar, sem mest eru notaðir til að reikna út djúphitastig í lághitavatni eru kalsedónhitastig og alkalíhitastig.

### Útreikningur kalsedónhitastigs

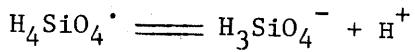
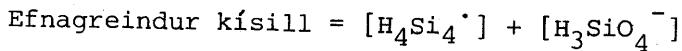
Styrkur kísils í jarðhitavatni er mælikvarði á hitastig vatnsins og ræðst hann af uppleysanleika kísilsteinda. Í lághitavatni er miðað við uppleysanleika kísilsteindarinnar kalsedóns. Samband hitastigs og kísils er reiknað út samkvæmt jöfnunni:

1032

$t \text{ } ^\circ\text{C} = \text{-----} - 273,15$  (Fournier, 1977).

4,69 - log SiO<sub>2</sub>

Aðeins sá hluti uppleystrar kísilssýru sem er óklofinn tekur þátt í jafnvægi við kísilsteindirnar. Við útreikning á þeim hluta kísils sem er óklofinn er stuðst við líkingarnar:



$$K_{\text{H}_4\text{SiO}_4} = \frac{(\text{H}^+) (\text{H}_3\text{SiO}_4^-)}{(\text{H}_4\text{SiO}_4^{\cdot})}$$

$$\div \log |\text{H}^+| = \text{pH} \text{ (sýrustig)}$$

$K_{\text{H}_4\text{SiO}_4}$  = kleyfnistuðull kísilsýru; | :styrkur; ( ) :virkni; γ: virknistuðull

$$(\text{H}_3\text{SiO}_4^-) = \frac{|\text{H}_3\text{SiO}_4^-|}{\gamma_{\text{H}_3\text{SiO}_4^-}} ; (\text{H}_4\text{SiO}_4^{\cdot}) = |\text{H}_4\text{SiO}_4^{\cdot}|$$

Notað gildi fyrir kleyfnistuðul kísilsýru er reiknað á sama hátt og í grein Stefáns Arnórssonar o.fl. 1983.

### Útreikningur alkalihitastigs

Virknihlutfall Na<sup>+</sup> og K<sup>+</sup> er miðað beint við hitaháð jafnvægi milli alkalifeldspata (mikrokíns og lágalbíts) í vatni: KAlSi3O8 + Na<sup>+</sup> NaAlSi3O8 + K<sup>+</sup> samkvæmt gögnum frá Helgeson (1969). Einnig var það reiknað í Watch forriti Orkustofnunar (Hörður Svavarsson, 1981) samkvæmt kvörðun Stefáns Arnórssonar og fl. (1983).

### Neysluhæfni

Mat á neysluhæfni miðast við það hvort vatnið sé hæft til drykkjar, þvotta og til notkunar í matvælaiðnaði.

### Hlutfall súrefnisísótópa

Betta hlutfall er gefið upp sem aukning á 018/016 hlutfalli miðað við staðal meðalgildi í sjó (SMOW). Gildið er reiknað út samkvæmt líkingunni:

$$\delta^{18} = \left( \frac{(\text{O}^{18}/\text{O}^{16})_{\text{sýni}} - (\text{O}^{18}/\text{O}^{16})_{\text{SMOW}}}{(\text{O}^{18}/\text{O}^{16})_{\text{SMOW}}} \right) 1000$$