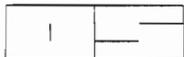


**Efnasamsetning vatns og kísilleðju í Bláa lóninu. – Styrkur þungmálma og helstu ólífrænna sporefna**

**Hrefna Kristmannsdóttir,  
Guðrún Sverrisdóttir,  
Kristján H. Sigurðsson**



**ORKUSTOFNUN**  
**JARÐHITAEILD**  
8. Mars, 1996



**GREINARGERÐ**  
HK/GSv/KHS-9605

## **EFNASAMSETNING VATNS OG KÍSILLEÐJU Í BLÁA LÓNINU**

### **-Styrkur þungmálma og helstu ólífrænna sporefna-**

#### **INNGANGUR**

Ýmsir málmar og sporefni eru talin skipta máli um þau áhrif, sem heilsuþvotn og leðja/leir hefur á sjúklinga, þótt e.t.v. sé ekki vitað nákvæmlega um áhrif hvers og eins efnis. Sum efni eru skaðleg í of miklu magni og þarf að ganga úr skugga um að styrkur þeirra sé ekki of hár.

Í þýskum reglugerðum um náttúrulækningar eru talin upp ýmis sporefni, sem greina eigi í heilsuvatni: jodíð, brómíð, bór, járn, mangan, líþíum, arsen, kadmíum, króm, kvikasílfur, nikkell, blý, antimon, selen, baríum, kopar sínk, kóbalt, molybden vanadíum, tin, sílfur, ál ofl. Styrkur sumra efnanna er þekktur a.m.k. í heildarrennsli úr borholunum í Svartsengi. Nokkur þeirra eru að finna í svo litlu magni í íslensku bergi að útilokað er að þau séu í mælanlegu magni í vatninu. Mikill hluti þessara efna hefur ekki verið greindur í vatni úr Bláa lóninu og virðist áhugavert að greina þau í sýnum úr lóninu.

Samkvæmt samkomulagi Orkustofnunar og Bláa lónsnefnd frá 1. desember 1995, tók Orkustofnun að sér að taka sýni af og efnagreina aðalefni og helstu sporefni í vatni frá tveimur stöðum í Bláa lóninu. Sömuleiðis tók stofnunin að sér að taka sýni af og mæla sporefni í kísilleðju á tveimur stöðum úr lóninu.

#### **SÝNATAKA**

Sýnataka fór fram í Svartsengi 16. janúar í allsæmilegu veðri, en gekk á með rigningarskúrum og talsverðu roki. Sýni af vatni voru tekin á þrem stöðum. Fyrst voru tekin sýni úr útfalli í lónið frá orkuverinu til að hafa upphaflega samsetningu. Síðan voru tekin sýni úr meðferðarlaug Heilsufélagsins og við Baðhúsið, rétt framan við bryggjuna til að fá upplýsingar um vatnið sem notað er við böðin. Vitað er frá fyrri greiningum á vatninu að talsverður munur er á efnasamsetningu á mismunandi stöðum í lóninu, en vegna kostnaðar var látið nægja að taka á þremur stöðum og reyndar reiknað með aðeins tveimur í samningi. Kísilleðja var tekin á tveimur stöðum, í námu Heilsufélagsins rétt við meðferðarstöð og rétt austan Baðhússins. Kísilleðja úr námunni er þökkuð í túpur og seld og ætti greining því annars vegar að gefa upplýsingar um efnasamsetningu þeirrar vöru og hins vegar um samsetningu á leðjunni, sem baðgestir Bláa lónsins nota að jafnaði.

Fyrri sýnið af kísilleðjunni var tekið á sama hátt og við framleiðslu á kísilleðju til sölu. Síðara sýnið af kísilleðju við baðhús var erfitt í töku og reyndist allblandað sandi og bergbrotum og tók starfsmaður Heilsufélagsins nýtt sýni á öðrum stað við baðstaðinn viku síðar, sem var minna blandað. Sýnunum var mokað í plastfötur og undirbúin fyrir greiningu innan örfárra daga frá töku.

Sýni til greininga á kvikasilfri úr lónvatninu voru tekin sérstaklega þann 15. febrúar og þá voru einnig tekin ný sýni til greininga á arsen og selen, þar sem breyta varð frá venjulegri sýnatöku fyrir þessi efni vegna gerðar sýnanna. Þann dag var mikil úrkoma framan af morgni, en stytta upp og hékk þurrt meðan á sýnatöku stóð. Engin mengunarhætta vegna veðurs er talin hafa verið hvorugan sýnatökudaginn.

Við sýnatöku voru vatnssýnin kæld a.m.k. niður fyrir 30 °C og sýni til greininga á rokgjörnum efnum í um 20 °C. Sýni til greininga á öllum efnum nema kísli, sýrustigi, brennisteinsvetni, karbónati, arsen og selen voru síuð á staðnum með 0,4µ milliporsíu. Til mælinga á kísli var tekið ósíað sýni, sem var þynnt til að koma í veg fyrir útfellingu. Sýni til greininga á sýrustigi, brennisteinsvetni og karbónati voru tekin í lofthelda glertúpu og mæld innan sólarhrings frá sýnatöku. Sýni til greininga á þungmálum öðrum en arseni og selen voru sýrð með saltþéturssýru eftir síun til að koma í veg fyrir útfellingu og aðsogun í sýnabrusa meðan á geymslu stæði fyrir greiningu. Sýni til greininga á arsen og selen voru sýrð ósíuð. Sýni til greininga á kvikasilfri voru bundin með kalíumpermanganati í súrri lausn til að koma í veg fyrir að efnið ryki úr lausn. Mjög illa gekk að sía sýnið úr meðferðarlausinni vegna mikilla kísilútfellinga í því. Sýni við útfall gekk mjög vel að taka og sömuleiðis vatnssýni við baðhús.

## GREININGAR Á SÝNUM

Í vatnssýnunum úr lóninu voru greind aðalefnin: natríum (Na), kalíum (K), kalsíum (Ca), magnesíum (Mg), kísill (SiO<sub>2</sub>), klóríð (Cl), sulfat (SO<sub>4</sub>), flúoríð (F), nítrat (NO<sub>3</sub>), brennisteinvetni (H<sub>2</sub>S), karbónat (CO<sub>3</sub>), uppleyst efni, leiðni og sýrustig (pH). Jafnframt voru greind sporefni: járn (Fe), mangan (Mn), ál (Al), arsen (As), selen (Se), króm (Cr), kopar (Cu), blý (Pb), nikkell (Ni), sink (Zn), líþíum (Li), strontíum (Sr), kóbolt (Co), kadmíum (Cd), kvikasilfur (Hg), jóðið (I), brómíð (Br) og bór (B). Í viðauka með greinargerðinni er lýst greiningaraðferðum, stöðlum, staðalfrávikum og greinimörkum fyrir þessi efni.

Sýni af kísilleðjunni voru meðhöndluð á þrjá mismunandi vegu. Tilgangurinn var að fá annars vegar upplýsingar um samsetningu leðjunnar eins og hún er seld og notuð og hins vegar hvaða efni féllu út með kíslinum. Þungmálmur falla a.m.k. að hluta til út með kísli úr jarðhitavatni og önnur sporefni geta sogast að leðjunni, en verið laust bundin við hana. Þessi efni geta þvegist burt þegar leðjan er skoluð. Sé hún ekki þveginn er hinsvegar hætta á að verið sé að greina óskilgreinda blöndu af kísli og vatni. Mjög erfitt er að sía leðjuna því síurnar stíflast strax og þá gæti verið erfitt að fá sýni, sem er nær þurrt, en óskolað. Skolun er einnig erfiðleikum bundin, vegna þess hversu vel leðjan heldur í sér vatni og þarf að mæla leiðni skolvatnsins til að vera viss um að allt salt sé horfið.

Meðhöndlun leðjunnar beindist að því að skoða sem flesta þessa þætti. Heildarsýnið var fyrst hrært upp uns það var orðið að einsleitri kvoðu. Í fyrsta lagi var svo sýni af kvoðunni þurrkað beint fyrir greiningu án neinnar formeðhöndlunar. Í öðru lagi var sýnið síað í Buchnertrekt með síupappír númer 4 og notað til þess lofttæmi uns ekki dropaði lengur af því. Síun tók um eina klukkustund. Í þriðja lagi var sýnið margþvegið og síað uns skolvatnið var nær ferskt samkvæmt leiðnimælingu. Raki var mældur í öllum hlutsýnum af leðjunni, með því að vega fyrir og eftir þurrkun við 100 °C. Kísilleðjusýnin voru síðan leyst upp í flússýrulausn og

greindir í lausnunum sömu þungmálmur og í vatninu og einnig voru þau leyst upp í alkalíbráð og mældur kísill í þeim lausnum til að geta metið eiginlegt magn málmanna í leðjunni. Efnin voru mæld í vatnslausn með sömu aðferðum og í vatnssýnunum. Við kísilmælinguna voru notaðir viðmiðunarbergstaðlar, sem leystir voru upp samhliða kísilleðjunni.

## NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á VATNSSÝNUM

Eins og fram kom hér að framan voru tekin þrjú sýni af vatni, eitt í útfallsstokk frá orkuverinu, annað í meðferðarlag Heilsufélagssins og það þriðja rétt framan við baðhúsið.

Niðurstöður efnagreininga eru í töflu 1, en meðhöndlun sýnanna við sýnatöku var lýst hér að framan ásamt því hvaða efni voru greind og í viðauka er lýst efnagreingaaðferðum, stöðlum, staðalfrávikum og greinimörkum.

Selta sýnis úr útfallinu er 32 % (klóríðstyrkur 17700 mg/l), sem er mjög eðlilegt miðað við að meðalselta djúpvatns er 22,5 % (klóríðstyrkur 12300-12600 mg/l) og að sá gufuhluti, sem soðið hefur frá sé um 30 %.

Athygli vekur að selta hinna sýnanna er verulega lægri. Hún er um 24,5 % í meðferðarlag og um 22,2 % í Baðlauginni. Í lónið blandast þéttivatn, en það er tæplega nægilegt til að skýra þynninguna. Af og til er upphitað ferskvatn sett í lónið en það á ekki að vera algengt a.m.k. ekki í miklu magni. Leita þarf skýringa á þessu. Miðað við þynningu eru önnur aðalefni í eðlilegu magni, nema helst magnesíum. Styrkur þess er hlutfallslega hærri í sýnunum úr meðferðarlag og við baðhúsið. Magnesíum hefur öfugan uppleysanleika og er í hærri styrk í köldu vatni en heitu. Hækkun þess bendir því til blöndunar við kalt grunnvatn en ekki þéttivatn eða regnvatn. Styrkur súlfats er hlutfallslega hærri en í vatninu í útfallinu, u.þ.b. 10%, og er það eðlilegt og afleiðing af oxun brennisteinsvetnis úr þéttivatni.

Flest sporefni hafa ekki verið mæld áður í vatni frá Svartsengi. Styrkur þessarra efna virðist nokkuð eðlilegur miðað við aðstæður, en ekki gafst tími til að skoða það nákvæmlega að þessu sinni, þar sem ekki var reiknað með verulegri úrvinnslu á þessu stigi. Styrkur járn virðist lágur og hlutfallslegur styrkur þess miðað við mangan ekki eðlilegur. Algengustu mengunarefni, sem fylgja jarðhitavökvum, eru í eðlilegum styrk. Þannig er styrkur arsens svipaður eða heldur hærri en í Kröflu og Námafjalli og styrkur kvikasilfurs á móta og mælst hefur í vatni á öðrum háhitasvæðum. Bórstyrkur er mjög á móta og á Reykjanesi.

Fyrir sporefni gildir í stórum dráttum það sama og fyrir aðalefni að styrkur þeirra er svipaður hlutfallslega í öllum sýnunum miðað við seltu. Ál er þó allbreytilegt, lægra í meðferðarlag og hærra í baðlaug. Ál ætti að falla út með kísli, en þetta efni er erfitt í greiningu og gætu hafa orðið einhver mistök. Sínk virðist falla fjótt út og lækkar frá útafallssýninu og sömuleiðis arsen. Kopar er svipaður, eða ívið hærri við baðstað og í útfalli, en verulega hærri í meðferðarlag, sem væntanlega er mengun frá búnaði. Kvikasilfur hækkar um stærðargráðu frá útfalli í meðferðarlag og er tveimur stærðargráðum hærri í vatni við baðlaug en í útfalli. Líklegt er að þar sé um mengun af mannavöldum að ræða.

TAFLA 1

Efnasamsetning vatns í Bláa lóni (mg/l).

Staður Dagsetning Númer	Útfall úr stöð 96-01-16 96-0012	Meðferðarlaus 96-01-16 96-0011	Baðstaður 96-01-16 96-0013
Hiti (°C)	81,3	39,0	34,8
Sýrustig (pH/°C)	7,92/21,5	7,37/21,5	6,83/21,5
Karbónat (CO <sub>2</sub> )	26,2	35,9	38,5
Brennist.vetni (H <sub>2</sub> S)	0	0	0
Bór (B)	10,07	7,83	7,00
Leiðni (µS/cm)	30500	25500	23400
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	618,1	219,1	231,2
Uppl. efni (TDS)	31560	24450	21380
Lithíum (Li)	3,90	3,06	2,67
Natríum (Na)	9040	6910	6170
Kalíum (K)	1350	1030	910
Magnesíum (Mg)	0,78	0,81	0,74
Kalsíum (Ca)	1470	1100	970
Strontíum (Sr)	9,95	7,51	6,93
Flúoríð (F)	0,23	0,18	0,16
Klóríð (Cl)	17700	13550	11970
Brómíð (Br)	57,3	44,5	38,8
Joðíð (I)	0,094	0,073	0,067
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	37,4	31,0	28,3
Ál (Al)	0,097	0,067	0,118
Krómi (Cr)	0,0003	0,0003	0,0002
Mangan (Mn)	0,25	0,21	0,16
Járn (Fe)	0,031	0,029	0,023
Kopar (Cu)	0,0012	0,0036	0,0012
Zínk (Zn)	0,053	0,007	0,005
Arsen (As)	0,144	0,077	0,048
Kadmíum (Cd)	<0,0005	<0,0005	0,001
Kóbalt (Co)	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kvikasilfur (Hg)	0,000003	0,00002	0,00024
Blý (Pb)	0,002	0,0019	0,0012
Selen (Se)	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Níkkel (Ni)	0,0019	0,0013	0,0017

## NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á KÍSILLEÐJU

Í töflu 2 eru niðurstöður greininga á kísli og málmum í kísilleðjunni. Gildin eru gefin upp í þungaprósentum af þurrefni. Einnig er gefið upp í töflunni prósentuhlutfall raka í upprunalega sýninu svo einfalt er að reikna út prósentuhlutfall efnanna í upprunalega sýninu.

Ekki verður hér farið út í mikla túlkun á niðurstöðum, en ljóst er að málmarnir eru misvel bundnir við kísilleðjuna, sem endurspeglast í breytingum á styrk við mismunandi meðhöndlun. Þannig virðist ál, járn og mangan sitja fast í leðjunni þótt skolað sé burt söltum raka úr henni. Hlutfall annarra málma virðist hækka við þvott á sýninu. Þess ber þó að geta að bergbrot eru blönduð í leðjuna, einkum í sýni 2. Þetta getur skýrt óreglulegar breytingar á styrk ýmissa málma milli mismunandi hluta af sama sýni.

Einnig er áberandi að summa er langt frá því að vera 100 % og gaf það tilefni til frekari athugunar á sýnunum. Helsta skýring á því var talin vera að raki hverfi ekki við þurrkun við 100 °C. Til þess þarf efnið að hafa kristalform og vatnið að vera bundið í kristalgrindinni. Bráðabirgðaathugun með röntgengreiningu staðfestir að efnið er meira kristallað en venjulegur ópall, en ekki gafst tilefni að sinni til frekari rannsókna. Æskilegt væri að skoða þetta frekar því það mundi hafa veruleg áhrif á eiginleika leðjunnar.

Tafla 2 Efnagreining á kísilleðju úr Svartsengi						
	Sýni úr námu Heilsufélagsins			Sýni rétt utan baðstaðar		
	Sýni I-A	Sýni I-B	Sýni I-C	Sýni 2-A	Sýni 2-B	Sýni 2-C
	Ómeðhöndlað	Síað	Þvegið	Ómeðhöndlað	Síað	Þvegið
Raki í %	76,1	70,2		61,3	53,7	
Efni						
Þunga %						
SiO <sub>2</sub>	85,1	89,4	91,0	87,3	88,8	92,1
Li <sub>2</sub> O	0,0027	0,0020	0,0001	0,0016	0,0012	0,0001
Na <sub>2</sub> O	2,69	1,95	0,10	1,49	1,15	0,13
K <sub>2</sub> O	0,42	0,32	0,08	0,25	0,21	0,07
MgO	0,022	0,021	0,010	0,056	0,057	0,059
CaO	0,64	0,52	0,25	0,46	0,39	0,26
SrO	0,006	0,005	0,001	0,004	0,003	0,002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,08	0,06	0,12	0,13	0,12
Cr	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006
MnO	0,009	0,009	0,009	0,012	0,013	0,013
FeO	0,043	0,042	0,026	0,113	0,135	0,132
CuO	0,0003	0,0003	0,0006	0,0006	0,0007	0,0005
ZnO	0,0044	0,0034	0,0056	0,0028	0,0083	0,0033
As	0,00025	0,00001	0,00001	0,00003	0,00003	0,00004
Cd	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00009	0,00009
Co	<0,00003	<0,00003	<0,00003	0,00004	0,00004	0,00003
Hg	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Pb	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004
Se	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Ni	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005
Summa	89,00	92,36	91,54	89,81	90,90	92,89

## HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Miðað við affallsvatn úr orkuveri er selta vatns í meðferðarlaug og á það stað allt að þriðjungur lægri. Styrkur flestra efna í sýnum frá útfalli, meðferðarlaug og við það stað er hlutfallslega svipaður í öllum sýnum miðað við seltu. Styrkur magnesíum eykst við þynninguna, sem bendir til blöndunar við kalt grunnvatn. Styrkur sulfats hækkar um u.þ.b. 10 % vegna oxunar brennisteinsvetnis. Sínk og arsen falla greinilega út í lónvatninu, en styrkur kopars og kvikasilfurs hækkar, væntanlega vegna mengunar.

Kísilleðjan virðist vera nægilega vel kristölluð til að binda vatn í kristalgrind. Sumir málmar, eins og ál, járn og mangan virðast bindast kísilleðjunni og skolast ekki burt við þvott.

Æskilegt væri að kanna ástæður þynningar á vatninu í lóninu og hvort breytingar hafi orðið á seltu þess. Einnig þarf að túlka nákvæmar niðurstöður efnagreininga bæði á vatni og kísilleðju og gera frekari greiningar á eðliseiginleikum leðjunnar.

Full ástæða virðist til á stað eins og Bláa lóninu að endurtaka svona greiningar með vissu millibili til að fylgjast með því hvort einhverjar breytingar eiga sér stað. Einnig er um einstakar punktmælingar að ræða og ekki óeðlilegt að til séu endurteknar mælingar á völdum stöðum yfir eitthvert tímabil.

Hrefna Kristmannsdóttir,  
Guðrún Sverrisdóttir og  
Kristján H. Sigurðsson

## SAMPLE TREATMENT AND ANALYTICAL METHODS

**Water samples** are collected in several fractions. Ru samples are raw and untreated. Those meant for analysis of pH and volatiles ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ) are collected into airtight gas collection bulbs and analyzed within 24 hours of collection. Fu samples are filtered through 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filters but otherwise untreated. Fa samples are filtered and acidified with 1 ml "Suprapur"  $\text{HNO}_3$  added to 500 ml sample. The clay samples were digested with  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  and the digests dissolved in dilute  $\text{HNO}_3$ .

**Analytical methods** are briefly described in the accompanying table. Apart from cookbooks that accompany instruments the most important references are: EPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC. EPA/600/4-79/020 March 1983; Keith, L.H. (Editor) 1992: Compilation of E.P.A.'s Sampling and Analytical Methods, Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI, 803 p.; Franson, M.H. (Editor) 1980: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, 1134 p; Grasshoff, K., Ehrhardt, M. and Kremling, K. 1983: Methods of Seawater Analysis, 2nd Edition, Verlag Chemie, Weinheim, 419 pp.; and Trujillo, P.E., Counce, D., Grigsby, C.O., Goff, F. and Shevenell, L. 1987: Chemical Analysis and sampling Techniques for Geothermal Fluids and Gases at the Fenton Hill Laboratory, Los Alamos National Laboratory LA-11006-MS, 84 pp. Information on relative standard deviation (RSD) is from these reference books except for Total dissolved solids,  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$  which were estimated in the Orkustofnun laboratory as well as all detection limits. Abbreviations used in the table are as follows:

AAS: Atomic absorption spectroscopy. AF: Air filter. DA: Direct aspiration. D.L.: Detection limit. Fa: Filtered, acidified. Fu: Filtered, untreated. GF: Graphite furnace. HG: Hydride generation. RSD: Relative standard deviation. Ru: Raw, untreated. WS: Water sample.

Table: Analytical methods for the constituents determined

Constituent	Fraction	Method	Brief description	Standard	RSD %	D. l. $\mu\text{g/l}$
Cd	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 700°C, atomized 10 s 2000°C. Purge gas Ar. 228.8 nm	Merck $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	3.2-4.6 for 2.5- 10 $\mu\text{g/l}$	0.05
Cu	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 900°C, atomized 2 s 2000°C. Purge gas Ar. 324.7 nm	Merck $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		0.1
Pb	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 750°C, atomized 2 s 2000°C. Purge gas Ar. 283.3 nm	Merck $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	3.2-5.2 for 25- 100 $\mu\text{g/l}$	0.1
Zn	Fa	AAS GF DA	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 400°C, atomized 2 s 1000°C. Purge gas Ar. 213.9 nm. Aspirated directly into flame	Merck $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	34-37 for 280- 310 $\mu\text{g/l}$	0.1 20
Cr	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 1200°C, atomized 3 s 2300°C. Purge gas Ar. 357.9 nm	Merck $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	0.4-1 for 19- 77 $\mu\text{g/l}$	0.1
Co	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 1000°C, atomized 3 s 2200°C. Purge gas Ar. 240.7 nm.	Merck $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		0.2
Ni	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 1000°C, atomized 3 s 2300°C. Purge gas Ar. 232.0 nm	Merck $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		0.5
Al	Fa	AAS GF	Dried 30 s 125°C, ashed 30 s 1500°C, atomized 3 s 2400°C. Purge gas Ar. 309.3 nm	Merck $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		1
Fe	Fa	AAS GF	Dried 30 s 140°C, ashed 30 s 1200°C, atomized 3 s 2100°C. Purge gas Ar. 248.3 nm	Merck $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		0.1
Mn	Fa	AAS GF	Dried 30 s 140°C, ashed 30 s 1000°C, atomized 3 s 2000°C. Purge gas Ar. 279.5nm	Merck $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ 0.5 M $\text{HNO}_3$		0.1
As	Fa	AAS HG	Organic matter converted with $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{HClO}_4$ , As reduced and converted to $\text{AsH}_3$ using $\text{NaBH}_4$ . The hydride is swept into a heated cell placed into the beam of an As EDL lamp and As determined at 193.7 nm.	Merck $\text{H}_2\text{AsO}_4$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	5.5-9 for 5-20 $\mu\text{g/l}$	0.1

Constituent	Fract-ion	Method	Brief description	Standard	RSD %	D. l. $\mu\text{g/l}$
Hg	Fu	AAS FI	For clay digest Hg is reduced and converted to $\text{HgH}_2$ with $\text{NaBH}_4$ . The hydride is swept into a cell placed in the beam of an Hg EDL lamp and the atomic absorption determined at 253.7 nm. At collection $\text{KMnO}_4/\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{HNO}_3$ is added to water sample, $\text{H}_2\text{NOH}/\text{HCl}$ and then $\text{SnCl}_2$ added at the start of determination. The resulting gaseous Hg is amalgamated with gold and then heated to be released into a cell for flameless AAS determination at 253.7 nm	Merck $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	4-16 for 2.5-18.1 $\mu\text{g/l}$	0.001
Se		AAS HG	Se is reduced and converted to $\text{SeH}_2$ using $\text{NaBH}_4$ . The hydride is swept into a heated cell placed in the beam of a Se EDL lamp and Se determined at 196.0 nm.	Merck $\text{SeO}_2$ 0.5 M $\text{HNO}_3$	11-19 for 5-15 $\mu\text{g/l}$	4
pH	Ru	Electro-metric	A glass electrode in combination with a reference potential is inserted into the sample and pH and temperature values recorded.	Merck- Titrisol. pH 4, 7, 10	$\pm 0.1$ pH unit	
Conductivity	Ru	Bridge	Specific conductance is measured using a Wheatstone type bridge using temperature compensation to 25°C.	KCl		
Na	Fa	AAS DA	A small amount of Cs solution is added and the sample directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 589.6 nm.	Merck- Titrisol. $\text{NaCl}/\text{H}_2\text{O}$	1.2-1.5 for 8.2- 52 $\mu\text{g/l}$	1
K	Fa	AAS DA	A small amount of Cs solution is added and the sample directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 766.5 nm.	Merck- Titrisol. $\text{KCl}/\text{H}_2\text{O}$	7.9-12.5 for 1.6- 6.3 $\mu\text{g/l}$	1
Li	Fa	AAS DA AES	Sample directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 670.8 nm. Clay digests aspirated into air-acetylene flame and emission read at 670.8 nm.	Merck- Titrisol for 0.1 ppm Na, K and Li after dilution to 1 L		0.5
Mg	Fa	AAS DA	A small amount of La solution is added to water sample which is directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 285.2 nm.	Merck- Titrisol $\text{MgCl}_2/\text{HCl}$	2.4-4.8 for 21- 82 $\mu\text{g/l}$	1
Ca	Fa	AAS DA	A small amount of La solution is added and the sample directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 422.7 nm.	Merck- Titrisol $\text{CaCl}_2/\text{HCl}$	1.7-3.3 for 9-36 $\mu\text{g/l}$	10

Constituent	Fraction	Method	Brief description	Standard	RSD %	D. l. $\mu\text{g/l}$
Sr	Fa	AAS DA  GF	A small amount of La solution is added to water sample which is directly aspirated into an oxidizing air-acetylene flame. Absorption read at 460.7 nm. Clay digests dried 30 s 140°C, ashed 30 s 1300°C, atomized 3 s 2600°C. Purge gas Ar. 460.7 nm	Merck $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 0.5 M HNO.		Da 50 GF 0.1
$\text{SiO}_2$	Rd	Spectro- photo- metry	Iodine and thiosulphate added to destroy $\text{H}_2\text{S}$ , ammonium heptamolybdate and HCl added. Absorption determined at 410 nm.	Natural hot spring water from Spóastaóir whose $\text{SiO}_2$ concentration (-104 ppm) is determined gravimetrically.	1.8-2.5 for 0.87 - 67.3 mg/l	500
B	Fu	Spectro- photo- metry	Sample buffered with $\text{NH}_4\text{Ac}/\text{Na}_2\text{EDTA}/\text{HAc}$ . Azomethine-H/ascorbic acid reagent added. Absorption determined at 420 nm.	Merck- Titrisol. $\text{H}_3\text{BO}_3/\text{H}_2\text{O}$		5
$\text{CO}_2$	Ru	Electro- metric titration	Sample pH adjusted to 8.2 with HCl/NaOH, then titrated to pH 3.8 with 0.1 N HCl using a pH meter.	Merck- Titrisol. 0.1 N HCl	3.6 for 5-1500 ppm	1000
$\text{H}_2\text{S}$	Ru	Titration	NaOH added to make sample basic. Titrated with 0.001 M $\text{HgAc}$ , dithizone as indicator.		3.9 for 0.03-800 ppm.	20
Cl	Fu	IC	Anions from a small volume of sample are separated by means of a guard column, a separator column and a suppressor column. Cl determined using a conductivity detector.	Merck- Titrisol HCl/ $\text{H}_2\text{O}$	2.9 for 10 mg/l	25
F	Fu	Selective electrode	TISAB buffer added, electrode inserted and potential read.	Merck 1000 mg/l NaF/ $\text{H}_2\text{O}$	3.5 for 0.85 ppm	2
Br	Fu	IC	Anions from a small volume of sample are separated by means of a guard column, a separator column and a suppressor column. Br determined using a conductivity detector.	Merck- Titrisol 1000 mg/l NaBr/ $\text{H}_2\text{O}$		5
I	Fu	IC	Anions from a small volume of sample are separated by means of a guard column, a separator column and a suppressor column. I determined using an electrochemical detector.	Merck solid KI weighed dissolved in $\text{H}_2\text{O}$ to make 1000 mg/l		0.2
$\text{NO}_3$	Ru	IC	Anions from a small volume of sample are separated by means of a guard column, a separator column and a suppressor column. $\text{NO}_3$ determined using a conductivity detector.	Merck- Titrisol $\text{NaNO}_3$ $\text{H}_2\text{O}$		25

Constituent	Fraction	Method	Brief description	Standard	RSD %	D. l. $\mu\text{g/l}$
$\text{SO}_4$	Fu	IC	Anions from a small volume of sample are separated by means of a guard column, a separator column and a suppressor column. $\text{SO}_4$ determined using a conductivity detector.	Merck-Titrisol $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$	1.5 for 98.5 mg/l	20
Total dissolved solids	Fu	Gravimetric	Sample evaporated and dried at $180^\circ\text{C}$ and $260^\circ\text{C}$ and residue weighed.		2.6-3.8 for 190-1680 ppm	2500