

FJÖLRIT NR. 6
2000

Efnasamsetning vatns í kísilgúr á botni Mývatns

Sigurður Reynir Gíslason, Eydís Salome Eiríksdóttir
og Jón Sigurður Ólafsson



Náttúrurannsóknastöð
við Mývatn

FJÖLRIT NR. 6
2000

Efnasamsetning vatns í kísilgúr á botni Mývatns

Sigurður Reynir Gíslason,¹ Eydís Salóme Eiríksdóttir¹
og Jón Sigurður Ólafsson²

¹Raunvísindastofnun Háskóla Íslands
²Líffræðistofnun Háskólans



Náttúrurannsóknastöð
við Mývatn

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	2
ÚTDRÁTTUR	4
ABSTRACT	6
INNGANGUR	8
Tilgangur.....	8
Fyrri rannsóknir á efnabúskap Mývatns.....	8
AÐFERÐIR	11
Aðferðir við söfnun vatns úr kísilgúr.....	11
Meðhöndlun sýna og efnagreiningar strax að lokinni söfnun	12
Efnagreiningar á rannsóknarstofu	13
NÍÐURSTÖÐUR.....	13
TÚLKANIR.....	14
Líkingar sem lýsa framburði efna milli sets og vatnsbols.....	14
Efnastyrksstigullinn við botn Mývatns	16
Árlegur framburður efna við reiki um botn Mývatns.....	18
ÞAKKARORÐ	19
HEIMILDIR.....	19
TÖFLUR. TABLES	22
Tafla 1. Næringarefnabúskapur í Mývatni. <i>The nutrient budget in Lake Mývatn</i>	23
Tafla 2. Sýnatökustaðir við Mývatn. <i>Specific information on the sampling sites and water discharge (ml/hour)</i> ..	24
Tafla 3. Styrkur uppleystra aðalefna, næringarsalta og snefilefna í setvatni og í Mývatni. <i>Concentration of dissolved elements in the interstitial water within the sediment, 16-cm above the sediment and at the Geirastadaskurdur outlet</i>	25
Tafla 4. Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja milli mælinga. <i>The detection limits and relative errors of the respective chemical analyses</i>	26
Tafla 5. Efnastyrksstigull og framburður við reiki um botn Mývatns miðað við styrk efnanna í vatnsbol og á 25 cm dýpi í botni Álftavogs 24 júní 1998 (tafla 3). <i>Concentration gradient and diffusive flux of individual elements across the sediment-water interface based on the concentration at 25-cm depth in the sediment and the bulk water above the lake bottom</i>	27

MYNDIR. FIGURES. 28

1. mynd. Staðsetning sýnatökustaða á Álftavogi og í Geirastaðaskurði. *The sampling sites in Lake Mývatn at the Álftavogur bay and the Geirastadaskurdur outlet. 30*
2. mynd. Skýringarmynd af sýnatökubáti við stjóra á Álftavogi 23. júní 1998. Söfnunarslöngur lágu frá söfnunarkistu niður í sogstautana á 25 cm, 50 cm, 100 cm og 150 cm dýpi. Vatnsdýpi á söfnunarstað var 225 cm. Hægri hluti myndarinnar sýnir hvernig sýni af ákveðnu dýpi var sogað um tvær slöngur í hverja sýnaflösku. Lofti var dælt af öllum sýnaflöskunum samtímis með einni sjálfvirkri loftdælu ("vacuum pump") eins og sýnt er á hægri hluta myndarinnar. *Schematic figure showing sampling of the waters from within the sediment at the bottom of Lake Mývatn 23 June 1998. Two Prenart soil water samplers, made of porous PTFE (Teflon), were inserted to a predetermined depth in the sediment. The water depth at the sampling site was 225 cm. As shown in the right part of the figure, water from two soil water samplers was collected in each sample bottle. Air was pumped out of all of the sample bottles with one automated vacuum pump. 31*
3. mynd a. Leiðni, pH, basavirknin (Alk.), Eh, og styrk uppleysts O₂ í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in conductivity, pH, alkalinity, Eh and dissolved O₂ in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 32*
3. mynd b. Styrkur uppleystra aðalefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved major elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 33*
3. mynd c. Styrkur uppleystra næringarefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved inorganic nutrients in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 34*
3. mynd d. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 35*
3. mynd e. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 36*
3. mynd f. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site. 37*

ÚTDRÁTTUR

Nýrri aðferð var beitt við söfnun vatns úr seti á botni Mývatns, nánar tiltekið í Álftavogi, í lok júní 1998. Tíu sentímetralöngum sogstautum úr tefloni (Prenart) var komið fyrir á mismunandi dýpi í setinu; 25, 55, 100 og 150 cm. Vatnsdýpi á söfnunarstað var 225 cm. Úr sogstautunum lágu slöngur í lofttæmdar söfnunarflöskur. Sjálfvirkar loftdælur dældu lofti reglulega úr söfnunarflöskunum þannig að þrýstingur í þeim var neikvæður um -750 millibör. Eftir að búið var að þvo söfnunarflöskur með fyrsta vatninu sem kom úr setinu var sýnum safnað í tæpar 19 klukkustundir og var streymið inn í flöskurnar um 50 til 60 ml/klst. Tveir sogstautar voru tengdir við hverja söfnunarflösku. Þegar búið var að safna um 1 l af sýni var sýnaflöskum lokað og þær fluttar á rannsóknarstofu þar sem reikul efni voru efnagreind strax eftir að flöskurnar voru opnaðar og afgangur sýnisins síaður, hluti síaða sýnisins var sýrður og annar frystur þar til efnin voru greind á Raunvísindastofnun Háskólans eða SGAB í Luleå í Svíþjóð.

Gildi pH í setvatninu var frá 7,16 til 7,30 og var lægst á 50 cm dýpi í setinu. Á svipuðum tíma var pH gildið í vatnsbolnum við botn á Álftavogi 9,80 og pH gildið var um 10 í útfalli Mývatns í Geirastaðaskurði. Styrkur NO_3 , S, F, O_2 , Al, Cr, Mo, V, U, Sn og Sb var meiri í vatnsbolnum en í setvatninu. Þessi efni hafa því tilhneigingu til þess að reika úr vatnsbolnum og niður í setið. Það vekur sérstaka athygli hvað styrkur Al var lítill í setvatninu og hversu lítið hann breyttist með dýpi. Styrkur klórs var nokkuð svipaður í vatnsbolnum og setvatninu, en styrkur H_2S var alltaf fyrir neðan næmi efnagreiningaraðferðarinnar, 0,1 mg/l, og erfitt var að greina H_2S lykt af vatninu þegar söfnunarflöskurnar voru opnaðar. Styrkur PO_4 og heildarstyrkur uppleysts lífræns og ólífræns P var mestur á 25 cm dýpi í setinu, en styrkur NH_4 og Co var mestur nokkru neðar, eða á 50 til 100 cm dýpi. Þessi efni losna við niðurbrot lífræns efnis og reika því upp í vatnsbolinn og líka niður í setið, úr miklum styrk í lítinn. Styrkur NH_4 var hátt í 20 mg/l (N- NH_4) í setvatninu. Styrkur Na, K, Ca, Mg, basavirkni („alkalinity”), Sr og Mn var meiri í setvatninu en í vatnsbolnum. Hann var mestur neðst og minnkaði til yfirborðs setsins, hraðast næst vatnsbolnum. Styrkur Si var hins vegar mestur næst vatnsbolnum og minnkaði lítilllega með dýpi. Breytingar í styrk annarra efna sem voru í meiri styrk í setvatninu en vatnsbolnum voru óreglulegar með dýpi. Styrkur járnns var mun meiri í setvatninu en í vatnsbolnum. Hann var mestur á 50 cm dýpi í setinu þar sem styrkur O_2 mældist minnstur og Eh gildið neikvæðast. Styrkur flestra efna var svipaður í útfalli Mývatns, í Geirastaðaskurði og rétt við botn í vatnsbolnum á Álftavogi.

Mismunur í styrk efnanna í vatnsbolnum næst botni og ofarlega í setinu ræður hversu hratt þau reika. Því meiri sem styrkmunurinn er, því hraðar reika efnin. Drifkraftur reikis efna úr eða í vatnsbolinn, svokallaður efnastyrsstigull ($\frac{dC}{dz}$) var reiknaður miðað við efnagreiningu 16 cm

fyrir ofan botn og 25 cm dýpi í setinu á botni Álftavogs í júní 1998. Efnastyrksstigullinn var mestur fyrir NH_4 ; 5×10^{-8} mól cm^{-3} cm^{-1} og í minnkandi röð; NH_4 , Si, Na, Ca, Mg, S (stigullinn var neikvæður fyrir S, sem merkir að S flæðir úr vatnsbol í set), K, PO_4 , Cl, Fe og Mn. Stigull annarra efna er mun minni og ýmist jákvæður eða neikvæður.

Gerð var mjög einfölduð tilraun til þess að reikna lágmarksgildi árlegs framburðar efna í Mývatn sem stafar af reiki, út frá efnastyrksstiglinum. Reiknaður framburður kísils um botninn var um 80 tonn. Með öðrum orðum 80 tonn af SiO_2 og því um 126 tonn af kísilgúr eru endurunnin á hverju ári. Hann leysist upp í botnsetinu, Si reikar upp í vatnið þar sem kísilþörungar binda hann að nýju. Þetta samsvarar um 0,5 % af 22400 tonna árlegri nettó kísilgúrframleiðslu kísilþörunganna í vatninu (Jón Ólafsson 1991a). Reiknaður árlegur framburður NH_4 um botninn var um $1,6 \text{ g/m}^2$. Heildarákoma N, þ.e. NH_4 og NO_3 með innrennsli í vatnið var sú sama og 1978, eða $1,6 \text{ g/m}^2$, en hún var meiri 1989 eða $1,9 \text{ g/m}^2$ (Jón Ólafsson 1991a). Það er því ljóst að einfaldur framburður NH_4 um botninn á Mývatni er mikilvægur fyrir efnabúskapinn í vatninu. Reiknaður árlegur framburður PO_4 um botninn var um $0,1 \text{ g/m}^2$ eða einungis um 10% af heildarákomu með innrennsli í Mývatn 1989 (Jón Ólafsson 1991a). Það er því líklegt að önnur ferli en einfaldur meðalframburður með reiki ráði mestu um það hvernig fosfór berst í vatnsbolinn.

ABSTRACT

CHEMICAL COMPOSITION OF THE INTERSTITIAL WATER IN THE DIATOMACEOUS SEDIMENT AT LAKE MÝVATN AND DIFFUSIVE FLUXES TOWARDS THE SEDIMENT-WATER INTERFACE.

A new method was employed to sample interstitial water from the diatomaceous sediment at the bottom of Lake Mývatn in northern Iceland. Eight 10 cm long Prenart® teflon soil water samplers were inserted in the sediment to depths of 25 cm, 55 cm, 100 cm and 150 cm. The water depth above the bottom sediment was 225 cm. The water was extracted through the soil water samplers, vacuum tubing and nylon fittings to the sampling bottles. An automated vacuum pump kept a fixed under-pressure of -750 mbar in the sampling bottles. The sampling rate was about 50 ml/h. After 19 hours of sampling, the bottles were closed and moved within an hour to the laboratory, where they were opened, volatile elements measured, the rest of the sample filtrated and part of it stabilised by acidifying or deep freezing.

The pH of the interstitial water in the sediment ranged from 7.16 to 7.30 and was lowest at 50 cm depth. At the same time the pH of the lake water, 16 cm above the sediment at the sampling site, was 9.80. The pH of Lake Mývatn at its outlet the day after sampling was 10.00. The concentrations of NO₃, S, F, O₂, Al, Cr, Mo, V, U, Sn and Sb were higher in the bulk lake water than in the water within the sediment. These elements and chemical species will therefore diffuse from the bulk lake water into the sediment. The concentration of Al in the water within the sediment was very low, around 1 µg/kg compared to 25 µg/kg to 28 µg/kg in the lake water. The concentration of Cl was similar in the lake water and within the sediment. The concentration of H₂S was below the detection limit, 0.1 mg/kg, and there was no H₂S smell when the sampling bottles were opened. The concentration of PO₄ and total dissolved inorganic and organic P was highest at 25 cm depth, but the concentration of Co and NH₄ was highest at 50 to 100 cm depth in the sediment. Phosphorus and NH₄ are released during decomposition of organic matter within the sediment and they will diffuse both up towards the sediment-water interface and down deeper into the sediment. The concentration of NH₄ was close to 20 mg/kg (N-NH₄). The concentration of Na, K, Ca, Mg, Sr, Mn and alkalinity was greater within the sediment than in the lake water and decreased continuously from 150 m depth up towards the sediment-water interface. The Si concentration was highest at 25 cm and decreased slightly down into the sediment. The variation in the concentration of other dissolved elements within the sediment that were higher than in the lake water was more irregular. The Fe concentration was much higher within the sediment (0.4 to 1 mg/kg) than in the lake water (10 µg/l) and highest at 50 cm depth, 1 mg/l where the concentration of dissolved O₂ was lowest and the Eh was most negative.

The concentration of most elements was similar 16 cm above the bottom of the lake at the sampling site and the lake outlet at Geirastadaskurdur the day after sampling. Before and during sampling there was considerable wind on the lake.

The diffusive flux of dissolved elements from the sediment towards the sediment-water interface was estimated by Fick's law. The concentration gradient ($\Delta C/\Delta z$) of the dissolved elements within the sediment close to the sediment-water interface was calculated using the measured concentration of the lake water 16 cm above the lake bottom and the measured concentration at 25 cm depth in the sediment. It was assumed that the lake water was well mixed 5 cm into the top of the sediment. Thus, Δz was 20 cm. The concentration gradient was greatest for NH_4 , 5×10^{-8} mole $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-1}$ and then in declining order; NH_4 , Si, Na, Ca, Mg, -S (diffusion into the sediment), K, PO_4 , Cl, Fe and Mn. The concentration gradient of other elements and species was much less and both positive and negative. An attempt was made to calculate the annual dissolved diffusive flux of elements from the sediment towards the lake bottom. The annual diffusive flux of SiO_2 was 80 tonnes. This equals about 0.5% of the annual SiO_2 fixation by diatoms within the lake (Jón Ólafsson 1991a). The annual diffusive flux of NH_4 was 1.6 g $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^2$. This was similar to the dissolved NO_3 and NH_4 carried by springs to the lake in 1978, 1.6 g $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^2$, but the springs carried a bit more in 1989 or 1.8 g $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^2$ (Jón Ólafsson 1991a). Thus it is clear that the diffusive flux of NH_4 is important for the nutrient budget of Lake Mývatn. The diffusive flux of PO_4 was 0.1 g $\text{PO}_4\text{-P}/\text{m}^2$ or just about 10% of that carried by the springs to the lake (Jón Ólafsson 1991a).

INNGANGUR

Tilgangur

Tilgangur þessarar rannsóknar var þríþættur.

- Að afla gagna um styrk efna í vatni í kísilgúr á botni Mývatns, í Álftavogi. Engar upplýsingar eru til um styrk efna, þar með talinna næringarefna í vatni í seti á botni Mývatns fyrir neðan 20 sentímetra dýpi í setinu. Enn fremur eru engin gögn til um styrk snefilefna í setvatninu og breytileika þeirra með dýpi.
- Að reyna nýja aðferð við söfnun vatns djúpt úr seti (0-200 cm dýpi) á botni stöðuvatna.
- Að leggja gróft mat á reiki efna um botn Mývatns, miðað við gögn sem aflað var á botni Álftavogs.

Fyrri rannsóknir á efnabúskap Mývatns

Árlega binda kísilþörungar 14.200 tonn af SiO₂ í Mývatni (Jón Ólafsson, 1991a). Þetta samsvarar um 22.400 tonna setmyndun, sem jafngildir um 2 mm árlegri setmyndun, ef nýmyndaður gúr dreifist jafnt yfir botn Mývatns (Jón Ólafsson 1979). Setþykknun á miðjum botni Syðriflóa hefur verið um 2 mm á ári síðustu 2000 árin (Árni Einarsson o. fl., 1988 og 1993). Miðað við hlutfall kolefnis og kísils í kísilþörungum, C:Si, binda kísilþörungar 220 grömm af kolefni á fermetra á ári í Mývatni. Þetta er um tvöföld tillífun svifþörungum í vatninu í góðu ári, en margföld binding kolefnis miðað við þau ár sem svifþörungablómi verður ekki í Mývatni (Jón Ólafsson, 1991a). Styrkur fosfórs er mjög lágur um hásumarið í útrennsli Mývatns, þegar þörungar binda nær allan tiltækan fosfór. Þrátt fyrir það berst megnið af fosfórnum sem rennur í vatnið burt niður Laxá. Um 20% af fosfórakomu vatnsins verður eftir í lífrænum leifum sem mynda set (Jón Ólafsson, 1991a).

Í töflu 1 er samantekt á næringarefnabúskap Mývatns og er þá stuðst við samantekt Kristjáns Þórarinssonar og Gerðar Stefánsdóttur (1991), gögn frá Pétri M. Jónassyni og Hákonni Aðalsteinssyni (1979), Jóni Ólafssyni (1979b) og Pétri M. Jónassyni (1979). Einungis 19% þess fosfórs sem þarf til að standa undir heildarfrumframleiðni í vatninu berst með lindarvatni í Mývatn. Rúmlega 80% fosfórsins losnar við niðurbrot lífræns efnis í vatninu. Einnig reikar fosfór stöðugt úr setvatninu djúpt í setinu og upp í vatnsbolinn. Setið á botni Mývatns inniheldur 70-98% vatn, miðað við þunga (Árni Einarsson ofl., 1988; Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, 1991). Í setvatninu er miklu meira af uppleystum næringarefnum en í vatnsbolnum eins og greint verður frá hér á eftir. Þessi efni geta reikað („diffusion”) upp í vatnsbolinn, en í grunnu vatni eins og Mývatni berast efnin efst í setvatninu beint í vatnsbolinn í stormi þegar vatnið verður gruggugt (Gerður Stefánsdóttir 1992a og 1992b). Vegna mikilvægis hringrásar næringarefna er brýnt að skilgreina og skilja þau ferli sem ráða hraða hringrásarinnar.

Hér verður áhersla lögð á efnasamsetningu setvatnsins undir botni Mývatns og reiki uppleystu efnanna í setvatninu um botn Mývatns.

Í Mývatni er botnsetið víðast hvar fíngerð leðja mynduð að miklu leyti af leifum kísilþörungum en að nokkru af gosösku. Nokkuð er um leifar af vatnadýrum og háplöntum, en lítið ber á gróðurleifum ættuðum af landi (Arnbór Garðarsson og Árni Einarsson, 1991). Mikið er af gerlum (bakteríum) í botnleðjunni. Erfitt er að meta fjölda þeirra, en áætlað hefur verið að þéttleiki gerla í botnleðju stöðuvatna sé um þúsundfaldur miðað við vatnsbolinn (Moss, 1980). Gerlarnir lifa á því að brjóta niður lífrænar leifar sem berast í botnsetið úr svifinu og úr plöntum og dýrum sem lifa á botninum. Þeir breyta einnig efnasamsetningu botnsetsins. Gerlarnir taka upp nítrat og súrefni en losa fosfat og mynda súlfíð, metan og fleiri efnasambönd (Arnbór Garðarsson og Árni Einarsson, 1991).

Skörp skil verða í oxunarstigi vatnsins, og þar með styrk súrefnis, fyrir ofan setið á botni Mývatns (Hunding, 1979; Pétur M. Jónasson, 1979). Oxunarstigið (Eh) fellur frá + 350 mv, í vatninu fyrir ofan setið, niður í -100 mv í vatninu á um 2-5 cm dýpi í setinu. Þrátt fyrir þetta er vatnið í efstu sentimetrum setsins ekki súrefnissnautt, -100 mv jafngildir um 6 mg af O₂ í lítra af vatni, og um 4 ml O₂ í lítra af vatni. Þessar mælingar voru gerðar sumrin 1973 og 1974 þegar vatnsbolurinn var súrefnismettaður (Hunding, 1979). Styrkur súrefnis í vatninu, rétt ofan við setið, var 7-13 mg/l í júlí 1991 víða um Mývatn (Dickman ofl., 1993). Súrefnisstyrkurinn í setvatninu féll hraðast í hreinum og þéttum kísilgúr, en mest súrefni var í setvatninu þar sem mikil hreyfing var á vatninu fyrir ofan setið (Pétur M. Jónasson, 1979; Hunding, 1979).

Árið 1991 var uppleyst fosfat, nítrat og ammóníum mælt í setvatni sem þrýst var úr kjörnum sem safnað var á 5 stöðum í Mývatni 1990; í febrúar, í maí fyrir ísabrot, í júlí, í ágúst, og í janúar 1991 (Jón Ólafsson, 1991b). Staðirnir voru þessir: 1. Álftavogur, 2. Miður Syðriflóa, 3. Strandarbolir, 4. Í Ytriflóa, miðja vegu milli Hrauneyjar og Slútness, (dýpi um 1 m, sandlag og botngróður) og 5. Í Ytriflóa, á dýpkaða svæðinu milli Helgavogs og Slútness (vatnsdýpi 4-5 m). Styrkur nitrats í setvatninu var yfirleitt lágur, minni en 2 µM/l (28 µg/l N-NO₃). Hæstur styrkur fosfats og ammóníums kom fram á stöð 5 sem var í lægð innan dýpkaða svæðisins í Ytriflóa. Þar eð dýpi var breytilegt innan dýpkaða svæðisins kunna aðstæður að hafa verið með öðrum hætti en þar sem grynna var. Styrkur ammóníums og fosfats í setvatni kjarna frá stöð 4 á grunnu svæði í Ytriflóa var miklu lægri en á öðrum stöðum. Lítið virðist þar af nýmynduðu seti nema helst í ágúst, er botngróður var hvað mestur (Jón Ólafsson, 1991b). Munurinn á milli svæða í vatninu tengdist því hvort á svæðum settist til set eða hvort set fluttist um svæðið og hafði þar aðeins skamma viðdvöl áður en það fór af stað á ný. Enn fremur kom fram munur eftir árstíðum sem er eðlilegt þar eð nýframleiðsla efnisagna er mest á vorin og sumrin, en rotnun allt árið og mest þegar hiti er hæstur (Jón Ólafsson, 1991b).

Að uppruna koma bæði ammóníum og fosfat frá rotnun lífræna leifa í setinu. Þessi efni geta borist úr setinu í vatnsbolinn við reiki eða rót af völdum vinds, strauma eða botndýra. Fosfat getur einnig gengið í eða úr upplausn og er það háð oxunarstigi vatnsins og pH gildi þess. Fast efni þrígilds járns og súrefnis soga fosfat á yfirborð sitt. Þegar járnamböndin afoxast í uppleyst Fe^{2+} , eða föstu efnasamböndin FeS, eða $FeCO_3$, losnar fosfat frá járninu eða samböndum þess og berst í vatnið (Williams ofl., 1976). Ammóníum getur auk þess oxast í nítrat (“nitrification”) ef súrefni er í setvatninu, og bakteríur kunna að nota nítratið (“denitrification”) og breyta því í uppleystar gastegundir (N_2 og N_2O). Öll þessi ferli eiga þátt í þeim styrkbreytingum sem koma fram í setvatninu (Jón Ólafsson, 1991b og 1991c).

Á flestum stöðvanna, nær allan ársins hring, reikar (“diffusion”) ammóníum og fosfór úr vatni í efstu 20 cm setsins í vatnsbolinn fyrir ofan. Þannig reika næringarefnin úr miklum styrk í lítinn styrk í vatninu fyrir ofan. Styrkur næringarsalta í setvatninu er oftast mestur neðst í kjörnunum, á um 20 cm dýpi, en minnstur efst eða í efstu 5 cm. Uppleystu næringarsöltin verða til við niðurbrot lífræns efnis í setinu. Samkvæmt þessu er stöðugt reiki næringarefna neðan úr setinu á botni Mývatns upp í vatnsbolinn. Reikið er mest á dýpkaða svæðinu í Ytriflóa en minnst á grunnu svæðunum í Ytriflóa.

Engar upplýsingar eru til um styrk næringarefna í setinu fyrir neðan 20 cm, en á mörgum stöðvanna var styrkur næringarsalta vaxandi allt niður á 20 cm. Sömuleiðis eru engin gögn til um styrk snefilefna í setvatninu og breytileika hans með dýpi (Jón Ólafsson, 1991c).

Styrkur aðalefna í seti og setvatni var rannsakaður í 20 cm löngum kjörnum úr miðjum Syðriflóa 11. maí 1990 og 27. ágúst 1990 (Jón Ólafsson, 1991c). Styrkur kolefnis, fosfórs og niturs í fasta efninu var mestur efst í setinu, næst vatnsbolnum. Þetta er í samræmi við það að lífræna efnið, efst í setinu, var ekki farið að brotna niður, það hélt enn mestu af byggingarefnum sínum. Ennfremur er líklegt að fosfórforðinn í efsta laginu hafi verið að hluta bundinn föstum efnasamböndum þrígilds járns. Ef umhverfið verður súrefnissnautt og súrt, brotna föstu járnamböndin niður og fosfór og járn leysast upp. Öfugt við setið, þ.e. lífrænar leifar og kísilgúr, er ammóníum og fosfat í mestum styrk í setvatninu neðst í kjörnunum eins og lýst var áður. Fosfat og ammóníum sem losnar þegar lífræna efnið brotnar niður reikar upp í gegnum setið í átt að lægri styrk í vatnsbolnum. Styrkur nítrats í setvatninu breytist hins vegar lítið með dýpi.

Auk fyrrgreindra rannsókna á 20 cm löngum kjörnum, kannaði Jón Ólafsson (1979) 120 cm langan kjarna úr Ytriflóa og um 150 cm kjarna úr Syðriflóa hvað varðar kolefni, fosfór, nitur, járn, zínk, kopar og mangan í seti, en engar efnagreiningar voru gerðar á setvatninu. Eins og í 20 cm kjörnunum var styrkur kolefnis, fosfórs og niturs mestur efst, minnkaði fyrst með dýpi, en náði svo stöðugum styrk á um 60 cm dýpi. Þar var kolefnisstyrkurinn um helmingur af því sem hann var ofar í kjarnanum á 20 cm dýpi. Í kjarnanum úr Syðriflóa urðu allnokkrar breytingar á

111 cm dýpi vegna öskulags; styrkur kolefnis, fosfórs og niturs minnkaði, en styrkur kopars og mangans óx á þessu dýpi.

AÐFERÐIR

Hér á eftir verður aðferðum lýst ítarlega til þess að hægt sé að leggja mat á gæði sýna og efnagreininga. Enn fremur var sýnum safnað með nokkuð nýstárlegum hætti og verður greint frá því í smáatriðum.

Aðferðir við söfnun vatns úr kísilgúr

Vatnsdýpi á söfnunarstað í Álftavogi var 225 cm (1. og 2 mynd og tafla 2). Söfnunarbátur var skorðaður af með þremur stjórnum (2. mynd) og ferðabátur bundinn við söfnunarbát. Sogstautum frá Prenart (2. mynd) var þrýst með öruggum og hiklausum handtökum niður á ákveðið dýpi í setið með stinnu plaströri. Rörið var um 4 metrar á lengd og kvarði á því þannig að auðvelt var að átta sig á dýpinu þegar sogstautunum var þrýst niður. Á enda rörsins var gróp þannig að sogstautarnir sátu vel í rörinu. Sogstautarnir voru um 10 cm á lengd, úr tefloni og neðri hluti þeirra var oddhvass svo þeir smugu auðveldlega niður í setið (2. mynd). Úr afturenda hvers sogstauts lá söfnunarslanga og girmi. Girmið og slangan voru þrædd í gegnum rörið fyrir söfnun og voru þau höfð um 10 m löng. Söfnunarslängurnar og girmið voru höfð þetta löng til þess að koma í veg fyrir að söfnunarbátur drægi upp sogstautana ef hann ræki nokkra metra undan vindi (2. mynd), en allnokkur strekkingur var af austri söfnunardagana, þannig að stundum hvítnaði á báru á vatninu.

Öllum sogstautunum var þrýst í setið á sama stað, líklega á um eins fermetra svæði. Þeir sem fóru dýpst voru settir fyrst niður (tafla 2 og 2. mynd). Setið var gljúpt þannig að sogstautarnir gengu greiðlega niður í það. Haldið var þétt við slönguna og girmið til þess að sogstauturinn sæti beinn á rörendanum. Þá var sogstautnum þrýst hiklaust niður í gúrin þar til hann var kominn niður á söfnunardýpið. Þá var settur slaki á girmið og slönguna, beðið augnablik til þess að gúrin settist að sogsautnum, þá var rörið dregið varlega upp og slangan og girmið þrædd jafnóðum niður í rörið. Þegar búið var að þræða slönguna og girmið úr rörinu var girmið fest tryggilega við söfnunarbátinn en söfnunarslangan tengd við söfnunarflösku og hún svo við loftdælu (2. mynd). Á hverjum sýnatökustað (dýpi) voru tveir stautar samtengdir í eina söfnunarflösku til þess að hafa söfnunartímann sem stystan. Allar söfnunarflöskurnar, sem hafðar voru í tveimur einöngruðum vatnsheldum kössum, voru svo samtengdar í eina loftdælu (2. mynd). Söfnunarflöskurnar voru úr pýrexgli með sérstökum loftheldum tengjum. Sogdælan dældi lofti úr söfnunarkerfi þar til ákveðnum undirþrýstingi var náð, rúmlega - 750 millibör, en þá hætti hún að dæla. Hún fór síðan aftur í gang þegar undirþrýstingur hafði minnkað upp fyrir -

750 millibör. Þegar 100-200 ml höfðu safnast var söfnunarflaskan aftengd, flaskan skoluð með sýninu og því síðan hent. Flaskan var tengd aftur og allt sem safnaðist eftir það var varðveitt. Eins og sjá má í töflu 2 þá var rennslið úr gúrnum um 50 millílítrar á klukkustund inn í söfnunarflöskurnar úr tveimur sogstautum. Skipt var um dælu einu sinni á söfnunartímanum til þess að koma í veg fyrir að rafmagn kláraðist af hleðslurafhloðu.

Í lok söfnunar voru höfð snör handtök til þess að koma í veg fyrir að loft kæmist í söfnunarflöskurnar þegar söfnunarslängur voru aftengdar (2. mynd). Söfnunarleggur var aftengdur og dæluendi loftdæluleggs skrúfaður á söfnunarflösku eins snarlega og unnt var, þó var ekki hægt að koma alveg í veg fyrir að loft kæmist í söfnunarflöskuna. Þegar búið var að loka öllum söfnunarflöskum, var strekkt á gírninu á hverjum sogstaut, merki sett á gírnið við vatnsborð, sogstautur dreginn upp úr gúrnum og lengd gírnisins frá merki í staut mælt (tafla 1: „mælt af streng”) til þess að sannreyna að stautarnir hafi setið á réttum stað í gúrnum. Samræmið var nokkuð gott en nákvæmni aflestrar af söfnunarröri var meiri en mælinga á gírninu (tafla 2).

Sýni var safnað úr vatnsbolnum 16 cm fyrir ofan botn þar sem sogstautum var sökkt í gúrin. Annar endi söfnunarslängu var tengdur við sýnaflösku en hinn við streng með steinsökku. Söfnunarslanga var tengd við loftdælu og vatni safnað snarlega. Söfnunarflaskan var þvegin með vatninu tvisvar sinnum. Vatnshiti var mældur frá botni upp í vatnsborð á 50 cm millibili og reyndist hann allstaðar sá sami eða 10,7 °C.

Daginn eftir söfnun vatns úr kísilgúr og vatnsbol á Álftavogi, var sýni tekið úr Geirastaðaskurði, þar sem vatn rann frá stíflumannvirkjunum neðan loku. Vatnshiti var 9,8 °C, aðeins lægri en daginn áður á Álftavogi (tafla 3). Vatnshitinn var 9,8 °C ofan stíflumannvirkja, hann var 9,8 °C neðan útfalls í Geirastaðakvísl og hitastigið var 9,8 °C ofan útfalls í Geirastaðakvísl. Vatnssýni var tekið með plastfötu sem var látin síga í bandi niður í vatnsflauminn. Fatan var skoluð margsinis, þá var pýrex-söfnunarflaskan skoluð þrívægis með árvatninu, hún þá fyllt og henni loks lokað.

Meðhöndlun sýna og efnagreiningar strax að lokinni söfnun

Strax að lokinni söfnun voru sýni færð inn í rannsóknastofu Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn þar sem þau voru meðhöndluð til þess að koma í veg fyrir útfellingu efna úr vatnslausn, ásog efna á sýnaflöskur, og upplausn efna úr gruggi og andrúmslofti. Sýni fyrir næringarsölt voru síuð og síðar fryst til þess að koma í veg fyrir rotnun og eða tillífun lífræns efnis í sýnunum. Reikul efni voru mæld strax eftir að söfnunarflöskur voru opnaðar.

Þegar söfnunarflaska var opnuð var sýni hellt viðstöðulaust á sérstakar 60 ml flöskur til mælinga á uppleystu súrefni með Winkler títrun (Grasshoff, 1983), súrefnið bundið og flöskum lokað. Næst var hellt á 20 ml flösku til Eh mælinga og rafskaut skrúfað á flöskuna, þá voru 10 ml settir út í Erlenmeyerflösku með lút, asetóni og díthízóni til mælinga á H₂S (Archer, 1955). Um

40 ml sýnis var hellt í bikarglas til mælinga á pH, basavirkni „alkalinity” og leiðni og pH rafskaut sett í sýnið. Loks var hluta þess sem eftir var af sýni hellt í síuhaldara og hann skolaður með sýninu og því hent. Það sem eftir var af sýni var síað í gegnum sellulósa-asetatsíu með 0,2 μm gatastærð. Þvermál síu var 47 mm, síuhaldarinn var úr „polyethylene” og var sýnið sogað í gegnum síuna í neðra hólf síuhaldara með undirþrýstingi. Fyrstu 10-40 ml sem komu í gegnum síuna voru notaðir til þess að þvo neðra hólf síuhaldarans og þeim síðan hent. Það sem eftir var af sýni var síað og safnað á sýnaflöskur.

Fyrst var safnað á fjórar 20 ml „high density „polyethylene” flöskur til næringarsaltgreininga. Sýnin í þessum flöskum voru fryst að lokinni síun. Þá var 100 ml sýnis sett í „polyethylene” flösku til aðalefna- og snefilefnagreininga. Í þessa flösku var bætt einum millilítra af fullsterkri hreinsaðri saltþéturssýru. Loks var vatn síað í eina 190 ml „polyethylene” flösku til mælinga á styrk anjóna. Allar flöskurnar voru vandlega skolaðar með síuðu sýni áður en þær voru fylltar. Sýran var sett út í snefilefnaflöskuna eftir að búið var að sía allt sýnið. Flöskurnar (100 ml) sem notaðar voru fyrir sýrða sýnið voru sýrubveggar í Luleå, af rannsóknaraðilanum SGAB sem annaðist aðalefna- og snefilefnagreiningar.

Efnagreiningar á rannsóknarstofu

Efnagreiningar á stöðugum efnum voru gerðar á Raunvísindastofnun og SGAB í Luleå í Svíþjóð og eru niðurstöðurnar sýndar í töflu 3, og næmi og samkvæmni mælinga í töflu 4.

Basavirkni („alkalinity”), leiðni og pH voru mæld við stofuhita með leiðnimæli, rafskauti, pH mæli og búrettu í Rannsóknastöðinni við Mývatn nokkrum klukkustundum eftir söfnun eins og áður var lýst. Endapunktur basavirknitítrunar var ákvarðaður með Gran aðferð (Stumm & Morgan, 1996). Heildarmagn uppleystu aðalefnanna Si, Ca, Mg, K, Na, S og snefilefnanna Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Zn, V, Be, Li, U, Sn og Sb voru ýmist greind með ICP-ASP (Inductively Coupled Plasma Atomic Spectrometer) eða HR-ICP-MS (High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) tæki SGAB og kvikasilfur (Hg) var mælt með ljómunarmælingu (Atomic Fluorescence, AF). Næringarsöltin NO_3 , NO_2 , NH_4 og PO_4 voru greind með sjálfvirkum litrófsmæli Raunvísindastofnunar („autoanalyzer, colorimetry”). Sýni til næringarsaltgreininga voru tekin úr frysti og látin standa við stofuhita nóttina fyrir efnagreiningu þannig að þau þiðnuðu að fullu. Flúor og klór var mælt með sérhæfðum rafskautum Raunvísindastofnunar.

NIÐURSTÖÐUR

Helstu upplýsingar um söfnun vatnssýnanna eru dregnar saman í töflu 2. Niðurstöður efnagreininga eru gefnar í töflu 3 og næmi efnagreininga er sýnt í töflu 4. Breytingar með dýpi í seti og í vatnsbolnum rétt fyrir ofan botninn á Álftavogi eru sýndar á 3. mynd.

Styrkur NO_3 , S, F, O_2 , Al, Cr, Mo, V, U, Sn og Sb var meiri í vatnsbolnum en í setvatninu (3. mynd og tafla 3). Þessi efni hafa því tilhneigingu til þess að reika úr vatnsbolnum niður í setið. Það vekur sérstaka athygli hvað styrkur Al var lítill í setvatninu og hversu lítið hann breyttist með dýpi. Það sama má segja um Cr.

Styrkur klórs var nokkuð svipaður í vatnsbolnum og setvatninu, en styrkur H_2S var alltaf fyrir neðan næmi efnagreiningaraðferðarinnar, 0,1 mg/l, og erfitt var að greina H_2S lykt af vatninu þegar söfnunarflöskurnar voru opnaðar.

Styrkur PO_4 og heildarstyrkur uppleysts lífræns og ólífræns P var mestur á 25 cm dýpi í setinu, en styrkur NH_4 og Co var mestur nokkru neðar eða á 50-100 cm dýpi. Þessi efni losna líklega við niðurbrot lífræns efnis og reika því upp í vatnsbolinn og líka niður í setið, úr miklum styrk í lítinn. Það er eftirtektarvert hvað styrkur NH_4 var mikill í setvatninu, hátt í 20 mg/l. Mismunurinn í styrk efnanna í vatninu og ofarlega í setinu (25 cm dýpi) ræður hversu hratt þau reika upp í vatnsbolinn eins og lýst er hér á eftir (jafna 1). Því meiri sem styrkmunurinn er, því hraðar reika efnin.

Styrkur Na, K, Ca, Mg, basavirkni („alkalinity”), Sr og Mn var meiri í setvatninu en í vatnsbolnum, og hann breyttist reglulega með dýpi. Hann var mestur neðst og minnkaði í átt að setyfirborði, hraðast næst vatnsbolnum. Styrkur Si var hins vegar mestur næst vatnsbolnum og minnkaði lítillega með auknu dýpi.

Breytingar í styrk annarra efna sem voru í meiri styrk í setvatninu en vatnsbolnum voru óregluleg með dýpi (3. mynd). Styrkur járns var mun meiri í setvatninu en í vatnsbolnum, en breytingarnar voru óreglulegar með dýpi. Þess var að vænta þar sem leysni járnhydroxíða er háð oxunarstigi. Leysnin er mest við lágt og hátt pH og afoxandi aðstæður. Styrkur Fe í setvatninu var mestur á 50 cm dýpi í setinu þar sem styrkur O_2 mældist minnstur og Eh gildið var neikvæðast (3. mynd). Styrkur flestra efna var svipaður í Geirastaðaskurði og rétt við botn í vatnsbolnum á Álftavogi (tafla 3).

TÚLKANIR

Líkingar sem lýsa framburði efna milli sets og vatnsbols

Við stöðugar aðstæður, þegar öldur grugga ekki upp botnlag stöðuvatna, og lífverur hafa ekki mikil áhrif á flutning efna úr seti í vatnsbol má áætla framburð efna um botn stöðuvatna.

Framburður („flux”) efna um botn sjávar og stöðuvatna, $F_{z=0}$, orsakast af reiki („diffusion”) efna í setvatninu, $F_d = -pD\left(\frac{dC}{dz}\right)$, framburði uppleystra efna með flæði setvatnsins („advection”),

$F_a = pUC$, og framburði efna vegna setmyndunar; $F_s = pU_s C_s$. Heildarframburðinn má skilgreina með eftirfarandi jöfnu (Stumm & Morgan, 1996).

$$F_{z=0} = p \left(-D \frac{dC}{dz} + UC + U_s C_s \right) \quad (1)$$

Þar sem C og C_s er styrkur efnis í vatni og seti, þ. e. föstu efni (C_s), z er dýpi í cm og hefur jákvætt formerki frá botni og niður í setið. U er hraði vatnsflæðis („advection”) í setinu og U_s er setmyndunarhraðinn (cm/ári). U hefur jákvætt formerki þegar vatnsflæðið er niður í setið og p er holurýmdarhluti setsins þ.e. rúmmálshluti vatnsins í setinu.

Það má einfalda jöfnu 1 ef holurýmdarhlutinn breytist ekki með dýpi því þá hreyfist setið ekki miðað við setvatnið þrátt fyrir setmyndun. Þá er hraði vatnsflæðis jafn og setmyndunarhraðinn; $U = U_s$. Oft má gera ráð fyrir einföldu sambandi á milli styrks efnis í setvatni og seti, $C_s = K C$, þar sem K er einingalaus dreifistuðull. Ef þessar nálganir gilda, má lýsa heildarframburði efnis um botn stöðuvatna með eftirfarandi jöfnu (Stumm & Morgan, 1996);

$$F_{z=0} = p \left(-D \frac{dC}{dz} + U(K+1)C \right)_{z=0} \quad (2)$$

Því stærri sem K er því mikilvægari er framburður vegna reikis eða setmyndunar, UKC miðað við framburð með flæði setvatns, UC .

Holurýmdarhluti sets minnkar með dýpi í seti sem er að þjappast eins og t.d. í kísilgúrnum á botni Mývatns (Árni Einarsson o.fl., 1988). Heildarframburði uppleystra efna um botninn þegar holurýmdarhlutinn er breytilegur má lýsa með eftirfarandi jöfnu (Berner, 1980);

$$F_{z=0} = p \left(-D \frac{dC}{dz} + UC \left(\frac{Kp(1-p_\infty)}{p_\infty(1-p)} + 1 \right) \right)_{z=0} \quad (3)$$

Þar sem p_∞ er holurýmdarhlutinn á ákveðnu dýpi þegar setið hefur þjappast og hluti hola breytist ekki með dýpi og hann er minni en holurýmdarhlutinn ofar í setinu uppi við botninn, p (Berner, 1980).

Til þess að leggja mat á heildarframburð efna um botn vatna við stöðugar aðstæður þarf að skilgreina holurýmdarhlutann, setmyndunarhraðann, reikistuðla, dreifistuðla, og efnastyrksstigulinn ($\frac{dC}{dz}$) í setvatninu nærri botninum.

Það er erfitt að meta áhrif lífvera („bioturbation“) á framburð efna um botn stöðuvatna, vegna fjölbreytileika og óreglu þessara ferla. Þessi vandi hefur verið leystur með því að slá lífrænum ferlum saman í ein heildaráhrif sem leiða til fullkominnar blöndunar, óreiðu („random mixing“) í efsta laginu þar sem lífverur hafa áhrif (t.d. Berner, 1980). Þannig að blöndun í efsta lagi setsins er fullkomin ofan frá botni og niður á ákveðið dýpi og þar fyrir neðan stjórnar reiki styrk efnanna í setvatninu (t.d. Berger & Heath, 1968).

Víðast í vatninu nær ölduhreyfing til botns við 5 vindstig. Þá berast efnin efst úr setvatninu beint í vatnsbolinn, og verður framburður uppleystra efna í vatnsbolinn meiri en lýst er með jöfnunum fyrir framburð efna um botn þegar ölduhreyfinga gætir ekki (Gerður Stefánsdóttir 1992a og 1992b). Ef tvígilt járn losnar úr setvatninu og berst upp í vatnsbolinn, oxast það í þrígilt járn og fellur út sem járnhýdroxíð. Yfirborð þess er mjög mikið, allt að 200 m²/g, og það nemur uppleyst fosfór auðveldlega úr lausn. Þannig að þrátt fyrir að mikið fosfór berist í vatnsbolinn geta járnhýdroxíð numið það á brott, áður en það nýtist lífverum í vatnsbolnum.

Efnastyrksstigullinn við botn Mývatns

Nota má gögnin sem aflað var af Jóni Ólafssyni (1991b) og lýst er að hluta í skýrslunni um áhrif Kísiliðjunnar h.f. á lífríki Mývatns (Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, 1991) til þess að leggja mat á þykkt lagsins þar sem lífverur og öldurót blanda setvatninu og vatni úr vatnsbolnum saman. Þykktin á laginu sem lífverur hræra upp í, var um 5 cm. Styrkur fosfórs og ammóníums var mun lægri í efstu 5 cm en neðar í setinu (Jón Ólafsson 1991b) og líklega svipaður og styrkur þessara efna í vatnsbolnum.

Drifkraftur reikis efna úr eða í vatnsbolinn, þ.e. efnastyrksstigullinn ($\frac{dC}{dz}$) er gefinn í töflu 5 og er miðað við efnagreiningu 16 cm fyrir ofan botn og á 25 cm dýpi í setinu á botni Álftavogs í júní 1998 (tafla 3). Þá er gert ráð fyrir að vatnsbolurinn sé fullkomlega blandaður alveg niður á botn ($z = 0$) og lífverur hræri upp í botnlaginu niður á 5 cm dýpi. Einingin fyrir drifkraftinn í töflu 4 er mól cm⁻³ cm⁻¹. Drifkrafturinn var mestur fyrir NH₄, 5x10⁻⁸ mól cm⁻³ cm⁻¹ og í minnkandi röð NH₄, Si, Na, Ca, Mg, S (neikvæður stigull, merkir að efni flæða úr vatnsbol í set), K, PO₄, Cl, Fe og Mn. Stigull annarra efna er mun minni og ýmist jákvæður eða neikvæður (tafla 4).

Næringarefnin PO₄ og NH₄ losna við rotnun og annað niðurbrot efnis í setinu. Þessi niðurbrotsferli eru hraðari í hita en kulda og lífið í vatnsbolnum á sumrin hremmir næringarefnin

jafnóðum og þau losna úr setinu. Allt leggst þetta á eitt, efnastyrksstigullinn ($\frac{dC}{dz}$) er í hámarki á sumrin og þar með er reiki efna úr seti í vatnsbolinn í hámarki. Framburður er mestur þegar eftirspurn er mest (“positive feed-back”). Hér er ekki gerð tilraun til þess að leggja mat á hvernig efnastigullinn breytist með árstíðum og hvernig hann breytist frá einum stað til annars í vatninu. Eins og sjá má í töflu 3 var styrkur ammóníums (NH_4) tæp 1000 $\mu\text{mól/l}$ og fosfórs (PO_4) 63 $\mu\text{mól/l}$ á 25 cm dýpi í setinu. Borið saman við mælingar á setvatni frá 1990 var styrkur fosfórs á 20 cm dýpi meiri á öllum stöðum og öllum árstíðum nema á rofsvæðinu í Ytriflóa og í janúar 1990 í setinu á Strandarbolum (Jón Ólafsson, 1991b). Styrkur ammóníums var alltaf meiri en 1000 $\mu\text{mól/l}$ 1990 á dýpkaða svæðinu í Ytriflóa og í Syðriflóa. Hann var minni í setvatninu á Strandarbolum í janúar og júlí, og styrkur ammóníums var alltaf sáralífill á rofsvæðinu í Ytriflóa (Jón Ólafsson, 1991b). Af framansögðu er ljóst að efnastyrksstigullinn í töflu 5, sem reiknaður er út frá setvatnsgögnunum frá 1998, er lágmarksstuðull, vegna þess að styrksmunurinn er varlega áætlaður og miðað er við Δz sem 20 cm, en nær sanni væri að miða við 2 cm.

Styrkur kísils í setvatninu á botni Álftavogs 1998 var hár, um 40 mg/l SiO_2 og minnkaði lítillega með dýpi (tafla 3 og 3. mynd). Kísilþörungar mynda svokallað ópal-A form kísils. Dauðir þörungar safnast fyrir á botni stöðuvatna og fergjast. Kísilgrindin brotnar upp við setmyndunina, leysist upp að hluta, og nýtt form kísils, stundum kallað ópal-A' fellur út á yfirboð upphaflegu ópal-A kísilbrotanna (Hein ofl., 1978). Hvort tveggja ópal-A og ópal-A' eru myndlausir miðað við röntgengreiningu með breiðan topp í kringum 4,1 Å. Þegar þessi kísilform grafast dýpra í setið leysast þau upp að hluta og enn stöðugra form kísils myndast, svokallaður „disordered cristobalite-tridymite” steind stundum kölluð ópal-CT (Jones & Segnit, 1971; Murate & Norman, 1976). Við enn frekari setmyndun og aukinn aldur og stundum hitastig endurkristallast ópal-CT í enn stöðugra form kísils, moganít og loks kvars (Heaney & Post, 1992; Heaney, 1995; Sigurður Reynir Gíslason ofl., 1997). Með tíma, oft milljónum ára, verður bygging kvartsins regluleg og kristallarnir vaxa og verða á endanum svipaðir og kvartskristallar í storkubergi og myndbreyttu bergi (Murate & Norman, 1976). Lýst hefur verið hvernig leysni ofangreindra kísilsteinda og setmyndun tvinnast saman og hvernig yfirborðsflatarmál kísilsteindanna hefur áhrif á leysni þeirra (Williams ofl., 1985; Sigurður Reynir Gíslason, 1993; Sigurður Reynir Gíslason ofl., 1997). Þegar steintegundirnar hafa lítið yfirborðsflatarmál er leysni ópals-A um 70 mg/l SiO_2 við 25 °C, ópals-CT um 20 mg/l SiO_2 og leysni kvarts um 7 mg SiO_2 í einum lítra vatns við 25 °C (Williams ofl., 1985). Leysni steintegundanna minnkar með lækkanði hitastigi en vex með yfirborðsflatarmáli. Nýmyndað set hefur mikið yfirborðsflatarmál en flatarmál þess minnkar með aldri.

Styrkur kísils í setvatninu á botni Álftavogs í lok júní 1998 (3. mynd) var um 40 mg/l SiO_2 og minnkaði lítillega með dýpi. Sú staðreynd að breytingin er lítil með dýpi og að styrkurinn

minnkar aðeins, bendir til þess að styrkurinn stjórna af leysni ópalsins í leifum kísilþörunganna. Ef miðað er við leysnina sem Williams og samverkamenn (1985) gefa upp, er styrkurinn í setvatninu á botni Álftavogs á milli leysni ópals-A og ópals-CT. Minnkun styrks með dýpi stafar líklega að því að yfirborðsflatarmál kísilgúrsins minnkar með aldri og því að ópals-A breytist smátt og smátt í ópals-A' sem er stöðugra. Leysni kísilleifanna er háð hitastigi eins og leysni allra kísilsteinda. Efnastyrksstigullinn fyrir kísil stjórna því af tveimur þáttum, hitastiginu efst í setinu, og styrk kísils í vatnsbolnum sem er háður frumframleiðni og kísilnámi kísilþörunganna. Því hærra sem hitastigið er og þeim mun meiri sem framleiðni kísilþörunganna er (því lægri styrkur kísils í vatnsbolnum) því hærri er efnastyrksstigullinn og þar með framburður kísils úr seti í vatnsbol („positive feed-back”).

Árlegur framburður efna við reiki um botn Mývatns

Hér á eftir verður gerð mjög einfölduð tilraun til þess að reikna lágmarksgildi árlegs framburðar efna sem stafar af reiki, út frá efnastiglinum sem skilgreindur var hér að framan

$$F_{z=0} = p \left(-D \frac{dC}{dz} \right)_{z=0} \quad (4)$$

Gert var ráð fyrir að holurýmdarhluti setsins á 5-25 cm dýpi hafi verið um 0,75 (Árni Einarsson ofl., 1988). Notaðir voru svokallaðir “tracer diffusion” stuðlar fyrir efnin. Gert var ráð fyrir að þeir væru svipaðir fyrir öll efnin eða $5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ sek}^{-1}$ nema fyrir NH_4 , en hann var skilgreindur sem $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ sek}^{-1}$ (Tessier ofl., 1994). Þetta er fyrsta tilraun til þess að leggja mat á stærðargráðu framburðarins en síðar þarf að leggja út allar stærðir til þess að reikna framburðinn miðað við hverja árstíð, og hvern stað samkvæmt 3. jöfnu. Enn fremur þyrfti að lýsa hitastigsháðri framleiðni NH_4 og PO_4 , sem losna við niðurbrot lífrænna leifa, með jöfnum og tvinna þær við 1. til 3. framburðarjöfnurnar. Niðurstöður þessara einföldu bráðabirgðareikninga eru sýndar í töflu 5.

Reiknaður árlegur framburður kísils um botninn var um 80 tonn. Með öðrum orðum 80 tonn af SiO_2 og því um 126 tonn af kísilgúr (Jón Ólafsson 1991a) voru endurunnin á einu ári. Hann leysist upp í botnsetinu, Si reikar upp í vatnið þar sem kísilþörungar binda hann að nýju. Þetta er um 0,5 % af 22.400 tonna árlegri nettóframleiðslu kísilþörunganna í vatninu (Jón Ólafsson, 1991a).

Reiknaður árlegur framburður NH_4 um botninn var um $1,6 \text{ g/m}^2$. Heildarákoma N, þ.e. NH_4 og NO_3 með innrennsli í vatnið var sú sama og 1978, eða $1,6 \text{ g/m}^2$, en hún var meiri 1989 eða $1,9$

g/m² (Jón Ólafsson, 1991a). Það er því ljóst að einfaldur framburður NH₄ um botninn á Mývatni er mikilvægur fyrir efnabúskapinn í vatninu.

Reiknaður árlegur framburður PO₄ um botninn var um 0,1 g/m² eða einungis um 10% af heildarefnaákomu með innrennsli í Mývatn 1989 (Jón Ólafsson, 1991a). Það er því líklegt að önnur ferli en einfaldur meðalframburður með reiki ráði mestu um það hvernig fosfór berst í vatnsbolinn.

ÞAKKARORÐ

Árna Einarssyni forstöðumanni Náttúruvísindastöðvarinnar við Mývatn er þökkúð margvísleg aðstoð, ráðgjöf og yfirlestur handrits. Frey Tómassyni, Birni Jóni Sigurðssyni og Önnu Diljá Sigurðardóttur er þökkúð vaskleg framganga á frívaktinni við Mývatn. Verkefnið var fjármagnað af Náttúruvísindastöðinni við Mývatn og Raunvísindastofnun Háskólans.

HEIMILDIR

- Archer E. E. 1955. The determination of small amounts of sulphate by reduction to hydrogen sulphide, and titration with mercury or cadmium salts with dithizone as an indicator. *Analyst* 81: 181 -182.
- Arnþór Garðarsson & Árni Einarsson 1991. Lífið á botni Mývatns. Bls. 190-217 í *Náttúra Mývatns* (Arnþór Garðarsson & Árni Einarsson ritstj.). Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.
- Árni Einarsson, Hafliði Hafliðason & Hlynur Óskarsson 1988. Mývatn - Saga lífríkis og gjóskutímatal í Syðriflóa. Náttúruverndarráð, Fjölrit nr. 17, Reykjavík, 96 bls.
- Árni Einarsson, Hafliði Hafliðason & Hlynur Óskarsson 1993. Stratigraphy of fossil pigments and *Cladophora* and its relationship with tephra deposition in Lake Myvatn, Iceland. *Journal of Paleolimnology* 8: 15-26.
- Berger, W H. & Heath G. R. 1968. Vertical mixing in pelagic sediments. *J. Mar. Research*, 26: 134-143.
- Berner R. A. 1980. *Early Diagenesis. A Theoretical Approach*. Princetone Series in Geochemistry. Princeton University Press, Princeton, N.J. 241 bls.
- Dickman, M., Stewart, K., & Servant-Vildary, M., 1993. Spatial heterogeneity of summer phytoplankton and water chemistry in a large volcanic spring-fed lake in Northern Iceland. *Arctic and Alpine Research*, 25: 228-239.
- Gerður Stefánsdóttir 1992a. Niðurstöður efnamælinga í Mývatni í júní 1992. Verkefnishópur um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið.

- Gerður Stefánsdóttir, 1992b. Niðurstöður efnamælinga í Mývatni sumarið 1992. Vinnuskýrsla. Verkefnishópur um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið.
- Grasshoff, K. 1983. Determination of oxygen. Í: *Methods of Seawater Analysis, Second Edition* (Ritstj. K. Grasshoff, M. Ehrhardt & K. Kremling), Verlag Chemie, Weinheim, 419 bls.
- Heaney P. J. 1995. Moganite as an indicator for vanished evaporites: A testament reborn? *Journal of Sedimentary Research* A65: 633-638.
- Heaney P. J. & Post J. E. 1992. The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties. *Science* 255: 441-443.
- Hein J. R., Scholl D. W., Barron J. A., Nones M. G. & Miller J. 1978. Diagenesis of late Cenozoic diatomaceous deposits and formation of the bottom simulating reflector in the southern Bering Sea. *Sedimentology*, 25: 144-181.
- Hunding, C. 1979. The oxygen balance of Lake Mývatn, Iceland. *Oikos* 32: 139-150.
- Jones B. J. & Segnit E. R. 1971. The nature of opal, I. Nomenclature and constituent phases. *J. Geol. Soc. Austral.* 18: 57-68.
- Jón Ólafsson 1979. The chemistry of Lake Mývatn and River Laxá: *Oikos* 32: 82-112.
- Jón Ólafsson 1991a. Undirstöður lífríkis í Mývatni. Bls. 141-165 í *Náttúra Mývatns* (Arnþór Garðarsson & Árni Einarsson ritstj.). Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.
- Jón Ólafsson 1991b. Fosfat og ammóníak uppleyst í setvatni í Mývatni. Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið.
- Jón Ólafsson 1991c. Styrkur efna í seti í miðjum Syðriflóa, 11. maí 1990 og 23. ágúst 1990. Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið.
- Kristján Þórarinnsson & Gerður Stefánsdóttir 1991. Flæði næringarefna í Mývatni. Tilraun til að meta vægi ákomu og innri hleðslu. Vinnuþlagg til nefndar. Umhverfissráðuneytið, Reykjavík, 9. bls.
- Moss, B. 1980. *Ecology of Fresh Waters*. Blackwell, Oxford, 332 bls.
- Murate K. J. & Norman M. B. 1976. An index of crystallinity for quartz. *Am. Jour. Sci.*, 276: 1120-1130.
- Pétur M. Jónasson 1979. The Lake Mývatn ecosystem, Iceland. *Oikos* 32: 289-305.
- Pétur M. Jónasson & Hákon Aðalsteinsson 1979. Phytoplankton production in shallow eutrophic Lake Mývatn, Iceland. *Oikos* 32: 113-138.
- Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir 1991. Áhrif Kísiliðjunnar h.f. á lífríki Mývatns, nefndarálit. Umhverfissráðuneytið, Reykjavík, 72 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Heaney, P. J., Veblen, D.R. & Livi K.J.T. 1993. The difference between the solubility of quartz and chalcedony: the cause? *Chem. Geol.* 107: 363-366.

- Sigurður Reynir Gíslason, Heaney, P. J., Oelkers, E. H. & Schott, J. 1997. Kinetic and thermodynamic properties of moganite, a novel silica polymorph. *Geochimica Cosmochimica Acta* 61: 1193-1204.
- Stumm, W. & J. J. Morgan 1996. *Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1022 bls.
- Tessier A., Carigan R. & Belzile N. 1994. Processes occurring at the sediment-water interface: Emphasis on trace elements. *Í: Chemical and Biological Regulations of Aquatic Systems*. Ritsj. J. Buffle & R. R. DeVitre, Levis Publishers, London, bls. 137-173.
- Williams, M. J. D. H., Jaquet J. M & Thomas, R. L. 1976. Forms of phosphorous in the surficial sediments of Lake Erie. *J. Fish. Res. Can.*, 33: 413-429.
- Williams, L. A., Parks G. A. & Crerar D. A. 1985. Silica diagenesis, I. solubility controls. *Journal of Sedimentary Petrology* 55: 301-311.

TÖFLUR. TABLES

Tafla 1. Næringarefnabúskapur í Mývatni. *The nutrient budget in Lake Mývatn*

Tafla 2. Sýnatökustaðir við Mývatn. *Specific information on the sampling sites and water discharge (ml/hour).*

Tafla 3. Styrkur uppleystra aðalefna, næringarsalta og snefilefna í setvatni og í Mývatni. *Concentration of dissolved elements in the interstitial water within the sediment, 16 cm above the sediment and at the Geirastadaskurdur outlet.*

Tafla 4. Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja milli mælinga. *The detection limits and relative errors of the respective chemical analyses.*

Tafla 5. Efnastyrksstigull og framburður við reiki um botn Mývatns miðað við styrk efnanna í vatnsbol og á 25 cm dýpi í botni Álftavogs 24 júní 1998 (tafla 3). *Concentration gradient and diffusive flux of individual elements across the sediment-water interface based on the concentration at 25-cm depth in the sediment and the bulk water above the lake bottom.*

Tafla 1. Næringaefnabúskapur í Mývatni. The nutrient budget in Lake Mývatn

Mývatn	C g/m ² /ári	N g/m ² /ári	P g/m ² /ári	C tonn/ári	N tonn/ári	P tonn/ári	N/P, innflæði bungahlutföll	N/P útfæði bungahlutföll	P % af heildarþörf
Ákoma, innstreymi með grunnvatni	ótakmörkuð	1.4	1.5	ótakmörkuð	50.7	54.3	0.9	8.0	19
Framleiðsla svifs og fosfórþörf	95.1	16.6	2.3	3443.0	602.2	83.6			30
Par af framleiðsla bláþörungans <i>Anabaena</i>	80.0	14.0	2.0	2896.0	508.3	70.6			25
Framleiðsla botnlægra þörungna (kísilþörungna)	222.0	39.0	5.4	8036.4	1411.2	196.0			70
Heildarframleiðsla og fosfórþörf svif- og botnþörungna	317.1	55.6	7.7	11479.4	2013.4	279.6			100

Miðað við flatarmál Mývatns sé 36.2 km²

Bungahlutföll C : N : P = 41 : 7.2 : 1

Samantekt Kristjánss Þórarinssonar og Gerðar Stefánsdóttur (1991), gögn frá Péttri Jónassyni og Hákonni Aðalsteinssyni (1979), Jóni Ólafssyni (1979b) og Péttri Jónassyni (1979)

Tafla 2. Sýnatökustaðir við Mývatn. Specific information on the sampling site and water discharge (ml/min)

Sýna- númer	Staður	Staðsetning (a)	Dýpi mælt af stöng cm	Dýpi mælt af streng cm	Dýpi í gúr mv. stöng cm	Dagsetning Upphaf söfnunar	Dagsetning Söfnun hætt	Klst. Magn Dælt ml	Rennsli ml/klst.
98-M001	Álftavogur, kísilgúr	64°21.85'N 21°46.00'V	375	395	150	24.6.1998 0:45	24.6.1998 19:30	18.750	1150
98-M002	Álftavogur, kísilgúr	64°21.85'N 21°46.00'V	325	345	100	24.6.1998 0:45	24.6.1998 19:30	18.750	900
98-M003	Álftavogur, kísilgúr	64°21.85'N 21°46.00'V	280	285	55	24.6.1998 0:45	24.6.1998 19:30	18.750	1150
98-M004	Álftavogur, kísilgúr	64°21.85'N 21°46.00'V	250	254	25	24.6.1998 0:45	24.6.1998 19:30	18.750	1050
98-M005	Álftavogur, vatn	64°21.85'N 21°46.00'V	209	256	25	24.6.1998 19:00	24.6.1998 19:15	0.250	1500
98-M006	Geirastaðaskurður		0-50			25.6.1998 19:00			full

(a) staðsetning lesin af korti., undirþrýstingur við söfnun um -750 mbör, vatnsdýpi 225 cm

Table 3. Styrkur aðalefna, næringarsalta og snefilefna í setvatni og Mývatni. Concentration of dissolved elements in the interstitial water within the sediment, 16-cm above the sediment-water interface, and at the Geirastadaskudir outlet.

Sýna númer	Staður	Dýpi í gúr (sm)	Loft- hiti °C	Vann- hiti °C	Leiðni µS/cm	pH	Eh	pH ref. T °C	O ₂ mg/kg	SiO ₂ mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	SO ₄ mg/kg	Cl mg/kg	Alk (a) meq/kg	F µg/kg	PO ₄ -P µg/kg	P _{ind} µg/kg	NO ₂ -N µg/kg	NO ₃ -N µg/kg	NH ₄ -N µg/kg
98-M001	Álftavogur, kísilgúr, -150	150	10.0	10.7	518	7.26	-26.0	19.8	7.16	34.87	38.40	6.90	43.90	20.60	0.27	6.43	6.41	259	7.63	71.1	2.22	2.47	13087.1
98-M002	Álftavogur, kísilgúr, -100	100		10.7	535	7.30	-20.8	19.8	6.47	36.58	36.40	6.46	38.40	18.90	0.42	6.10	6.22	302	162.3	281.0	2.73	2.70	18291.4
98-M003	Álftavogur, kísilgúr, -50	55		10.7	505	7.16	-45.0	19.7	5.14	43.21	34.50	6.42	31.20	16.00	0.69	5.81	5.79	310	449.7	851.0	1.93	1.72	19172.0
98-M004	Álftavogur, kísilgúr, -25	25		10.7	378	7.26	-25.9	20.4	6.24	42.14	31.00	5.56	21.10	10.70	0.56	6.22	4.17	332	1963.9	2570.0	2.63	1.58	13803.0
98-M005	Álftavogur, vatn, +16			10.7	162	9.81	39.5	20.0	8.57	5.63	22.20	1.30	7.06	3.53	14.32	5.53	1.18	339	3.87	8.44	3.93	0.92	5.25
98-M006	Geirastadaskudir			9.8	165	10.03	100.0	17.8	10.22	7.94	23.30	1.49	7.62	3.84	15.34	5.48	1.27	346	3.25	9.21	5.97	0.83	6.63

Table 4. Styrkur snefilefna í setvatni og Mývatni. Concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment, 16-cm above the sediment-water interface, and at the Geirastadaskudir outlet.

Sýna- númer	Staður	Al µg/kg	As µg/kg	Sr µg/kg	Ba µg/kg	Ti µg/kg	Cr µg/kg	Mn µg/kg	Fe µg/kg	Co µg/kg	Ni µg/kg	Cu µg/kg	Zn µg/kg	Mo µg/kg	Cd µg/kg	Hg µg/kg	Pb µg/kg	V µg/l	Be µg/l	Li µg/l	U µg/l	Sn µg/l	Sb µg/l
98-M001	Álftavogur, kísilgúr, -150	1.38	<0.01	65.00	0.675	0.223	0.32	637.0	1030.0	0.745	0.903	0.204	3.990	0.327	0.026	<0.0022	0.062	8.85	5.6	3524	8.6	22.6	1.6
98-M002	Álftavogur, kísilgúr, -100	0.48	0.081	54.00	0.196	0.335	0.395	502.0	358.0	1.090	1.070	0.163	4.840	0.771	0.047	<0.0022	0.027	13.8	7.8	3752	12.4	15.1	3.6
98-M003	Álftavogur, kísilgúr, -50	1.52	<0.01	37.10	0.045	0.345	0.341	423.0	1060.0	1.120	0.990	0.145	1.330	0.436	0.007	0.0025	0.023	4.69	7.4	3458	6.7	12.6	1.3
98-M004	Álftavogur, kísilgúr, -25	0.53	0.095	33.00	0.461	0.311	0.324	248.0	594.0	0.751	1.780	0.763	5.770	0.432	0.012	0.0022	0.023	25.6	3.8	2661	12.6	11.6	<1.0
98-M005	Álftavogur, vatn, +16	28.10	<0.01	8.00	0.293	0.297	0.814	0.74	10.7	0.030	0.277	0.538	0.985	0.954	0.004	<0.0022	0.038	55.4	5.1	1452	53.7	20.7	9.2
98-M006	Geirastadaskudir	25.10	<0.01	9.44	0.219	0.116	0.886	0.92	9.4	0.027	0.241	0.486	0.499	0.930	0.005	<0.0022	0.022	46.7	5.4	1553	52.4	7.8	6.1

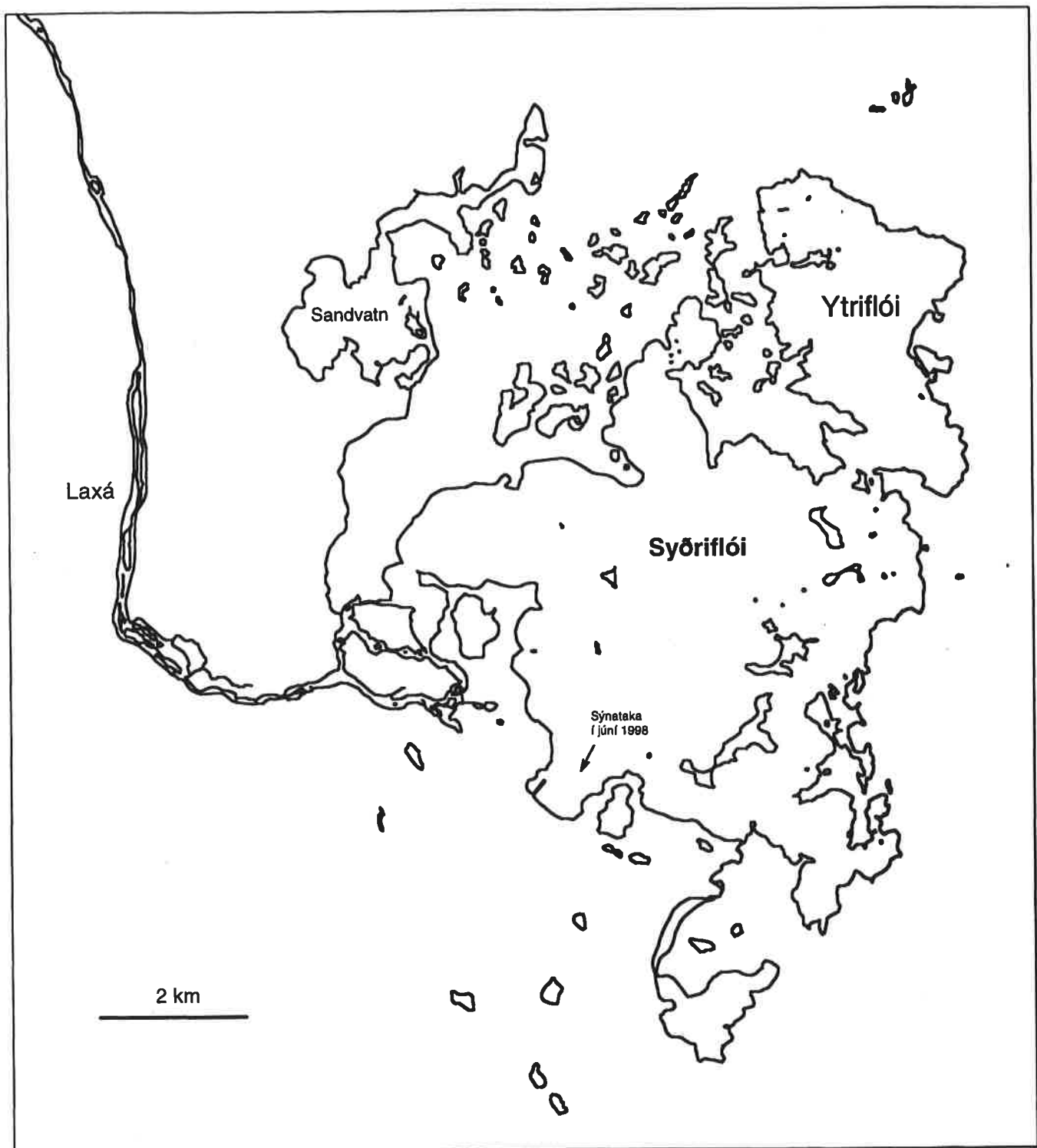
Tafla 4. Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja milli mælinga.
Detection limits and the relative errors of the respective chemical analyses.

Efni	Næmi Det.l µg/l	Skekkja Relative error hlutfallsleg skekkja	Staðalfrávik Standard dev.
Leiðni		± 1.0	
T°C		± 0,1	
pH		± 0,05	
SiO ₂ ICP-AES (RH)	100	2,0%	1,8
SiO ₂ ICP-AES (SGAB)	60	4%	
Na ICP-AES (RH)	10	3,3%	2,8
Na ICP-AES (SGAB)	100	4%	
K Jónaskilja (RH)	50	3%	
K ICP-AES (RH)	500		
K ICP-AES (SGAB)	400	4%	
K AA	43	4%	
Ca ICP-AES (RH)	1	2,6%	1,6
Ca ICP-AES (SGAB)	100	4%	
Mg ICP-AES (RH)	5	1,6%	1,6
Mg ICP-AES (SGAB)	90	4%	
Alk.		3%	
CO ₂		3%	
SO ₄ ICP-AES (RH)	1000	10%	8,2
SO ₄ HPCL	50	5%	
SO ₄ ICP-AES (SGAB)	240	15%	
Cl	1000	5%	
F	20	20-30 µg/l ±10% >30µg/l ±3%	
P ICP-MS	1	3%	
P-PO ₄	2	2-15 µg/l ±1 µg/l >15 µg/l ±5%	
N-NO ₂	0.56	0,56-3 µg/l ±0,2 µg/l >3 µg/l ±5%	
N-NO ₃	2	2-10 µg/l ±1 µg/l >10 µg/l ±10%	
N-NH ₄	2.8	10%	
Al ICP-AES (RH)	10	3,8%	3,2
Al ICP-MS (SGAB)	0.08	12%	
As ICP-MS (SGAB)	0.01	9%	
Sr ICP-AES (RH)	2	15%	
Sr ICP-MS (SGAB)	2	4%	
Ba ICP-MS (SGAB)	0.01	6%	
Ti ICP-MS (SGAB)	0.1	4%	
Cr ICP-MS (SGAB)	0.01	9%	
Mn ICP-AES (RH)	6	26%	24
Mn ICP-MS (SGAB)	0.03	8%	
Fe ICP-AES (RH)	20	12%	15
Fe ICP-AES (SAGB)	8	10%	
Fe ICP-MS (SAGB)	0.4	4%	
Co ICP-MS (SGAB)	0.005	8%	
Ni ICP-MS (SGAB)	0.05	8%	
Cu ICP-MS (SGAB)	0.1	8%	
Zn ICP-MS (SGAB)	0.2	12%	
Mo ICP-MS (SGAB)	0.01	12%	
Cd ICP-MS (SGAB)	0.005	9%	
Hg ICP-AF (SGAB)	0.002	4%	
Pb ICP-MS (SGAB)	0.03	8%	
V ICP-MS (SGAB)	0.005	5%	
U ICP-MS (SGAB)	0.0005	12%	
Sn ICP-MS (SGAB)	0.05	10%	
Sb ICP-MS (SGAB)	0.01	15%	

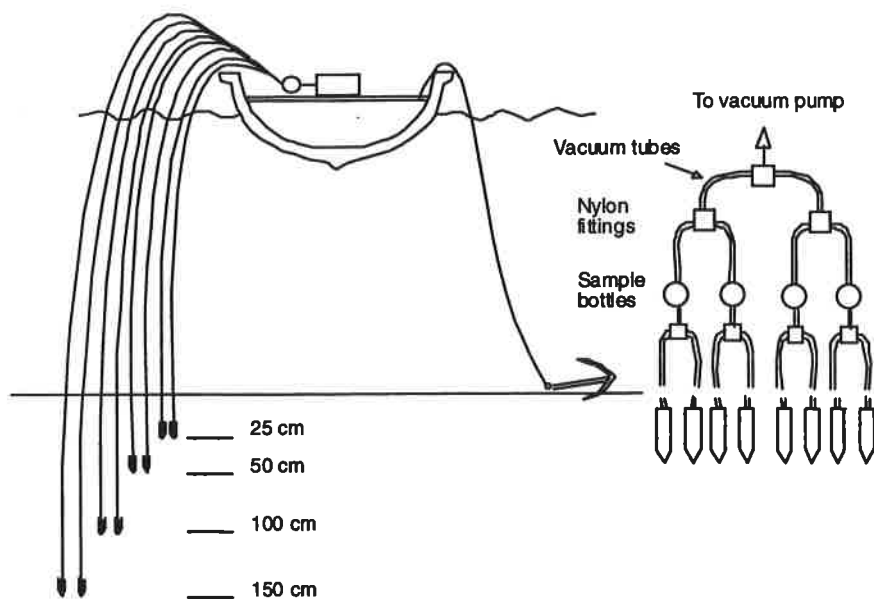
MYNDIR. FIGURES.

1. mynd. Staðsetning sýnatökustaða á Álftavogi og í Geirastaðaskurði. *The sampling sites in Lake Mývatn at the Álftavogur bay and at the Geirastadaskurdur outlet.*
2. mynd. Skýringarmynd af sýnatökubáti við stjóra á Álftavogi 23. júní 1998. Söfnunarslögur lágu frá söfnunarkistu niður í sogstautana á 25 cm, 50 cm, 100 cm og 150 cm dýpi. Vatnsdýpi á söfnunarstað var 225 cm. Hægri hluti myndarinnar sýnir hvernig sýni af ákveðnu dýpi var sogað um tvær slögur í hverja sýnaflösku. Lofti var dælt af öllum sýnaflöskunum samtímis með einni sjálfvirkri loftdælu (“vacuum pump”) eins og sýnt er á hægri hluta myndarinnar. *Schematic figure showing sampling of the waters from within the sediment at the bottom of Lake Mývatn, 23 June 1998. Two Prenart® soil water samplers, made of porous PTFE (Teflon), were inserted to a predetermined depth in the sediment. The water depth at the sampling site was 225 cm. As shown in the right part of the figure, water from two soil water samplers was collected in each sample bottle. Air was pumped out of all of the sample bottles with one automated vacuum pump.*
3. mynd a. Leiðni, pH, basavirknin (Alk.), Eh, og styrk uppleysts O₂ í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in conductivity, pH, alkalinity, Eh and dissolved O₂ in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*
- 3 mynd b. Styrkur uppleystra aðalefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved major elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*
3. mynd c. Styrkur uppleystra næringarefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved inorganic nutrients in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*
3. mynd d. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*
3. mynd e. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*

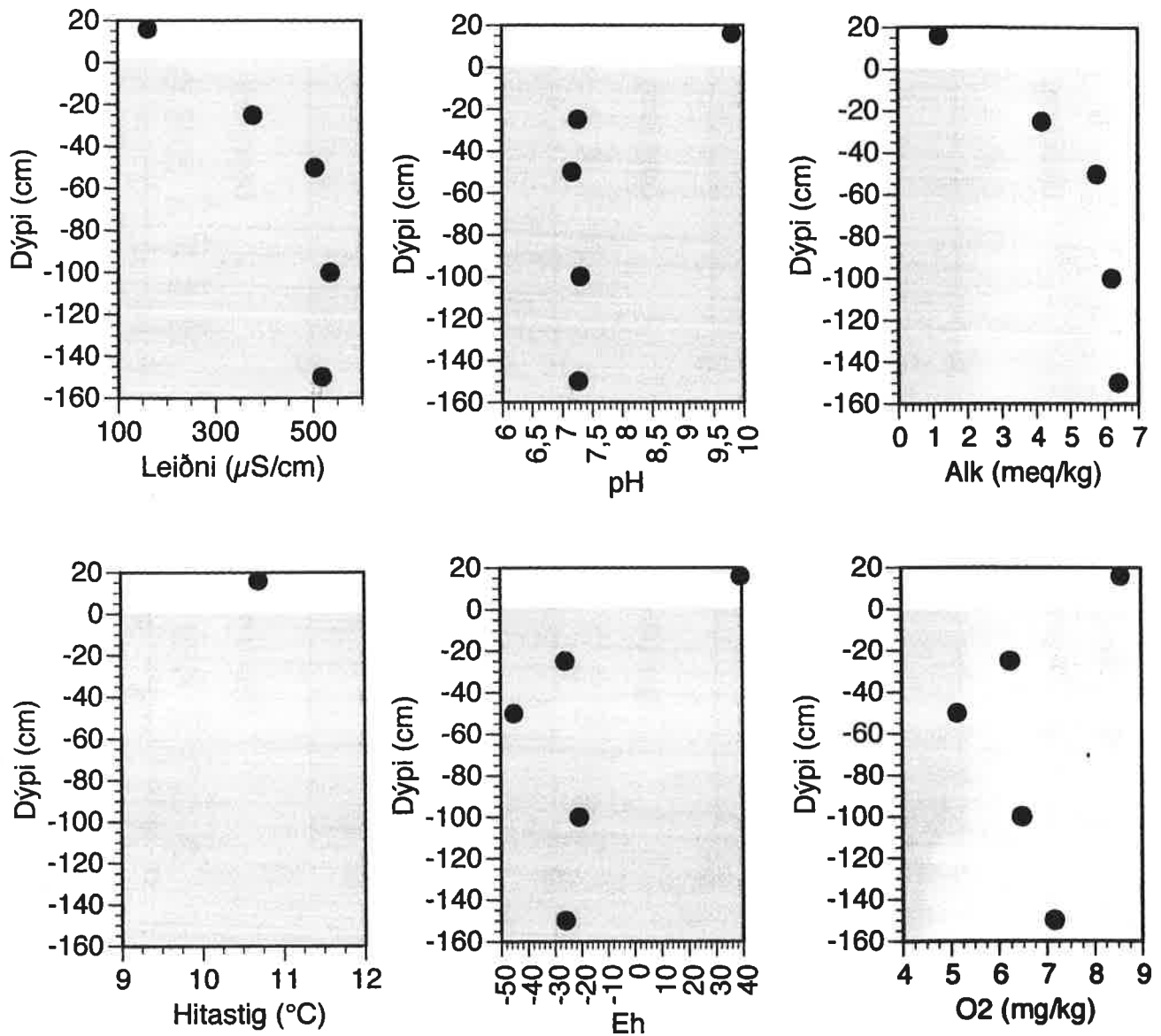
3. mynd f. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum, *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*



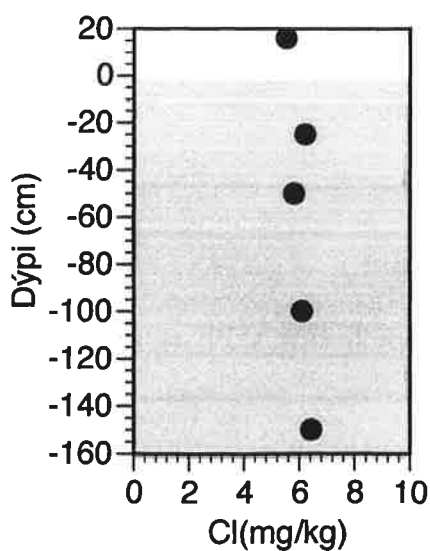
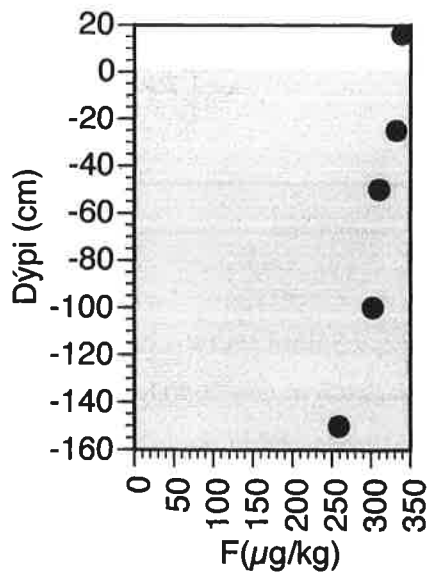
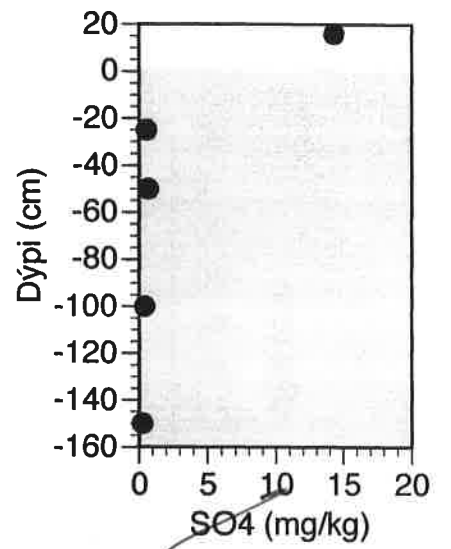
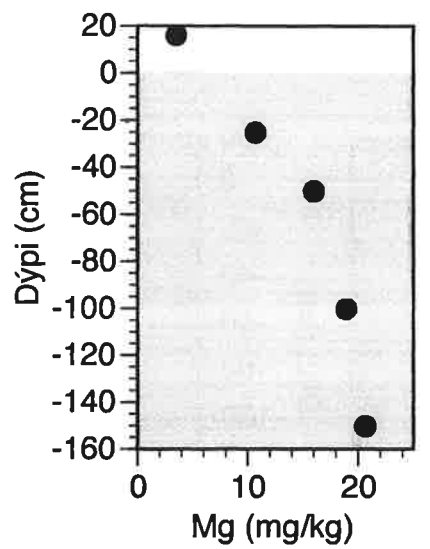
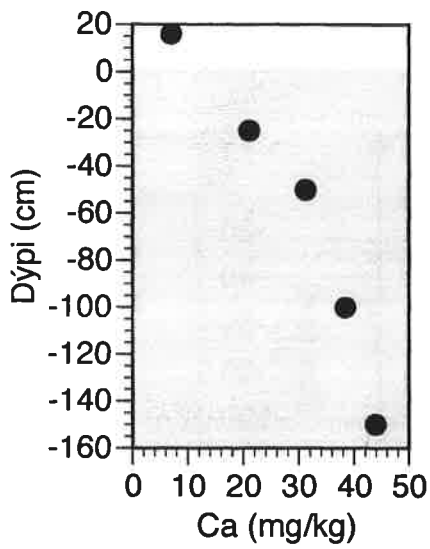
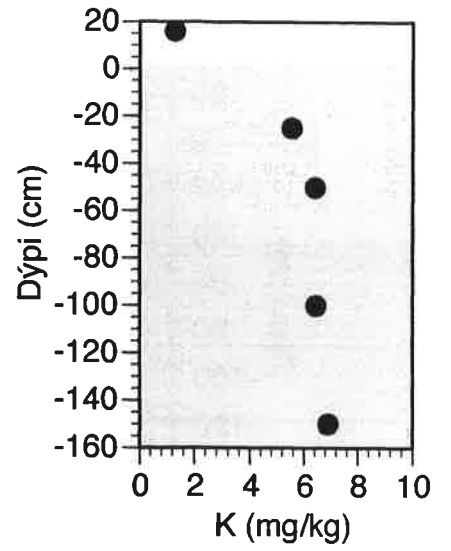
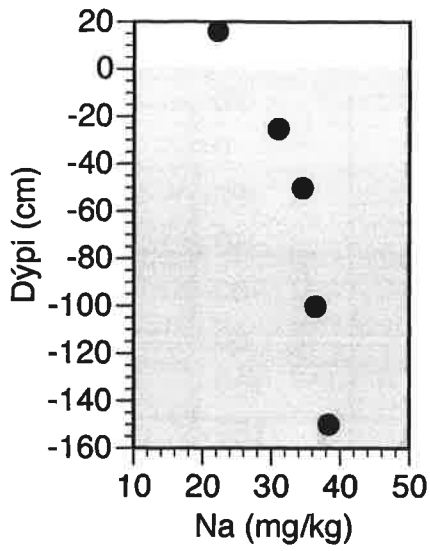
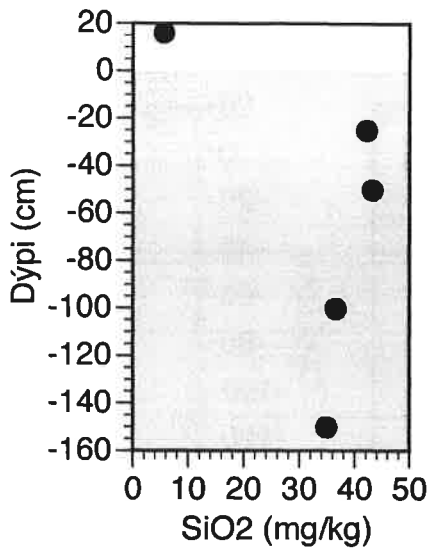
1. mynd. Staðsetning sýnatökustaða á Álftavogi og í Geirastaðaskurði. *The sampling sites in Lake Mývatn at the Álftavogur bay and the Geirastadaskurdur outlet.*



2. mynd. Skýringarmynd af sýnatökubáti við stjóra á Álftavogi 23. júní 1998. Söfnunarslöngur lágu frá söfnunarkistu niður í sogstautana á 25 cm, 50 cm, 100 cm og 150 cm dýpi. Vatnsdýpi á söfnunarstað var 225 cm. Hægri hluti myndarinnar sýnir hvernig sýni af ákveðnu dýpi var sogað um tvær slöngur í hverja sýnaflösku. Lofti var dælt af öllum sýnaflöskunum samtímis með einni sjálfvirkri loftdælu (“vacuum pump”) eins og sýnt er á hægri hluta myndarinnar. *Schematic figure showing sampling of the waters from within the sediment at the bottom of Lake Mývatn, 23 June 1998. Two Prenart soil water samplers, made of porous PTFE (Teflon), were inserted to a predetermined depth in the sediment. The water depth at the sampling site was 225 cm. As shown in the right part of the figure, water from two soil water samplers was collected in each sample bottle. Air was pumped out of all of the sample bottles with one automated vacuum pump.*

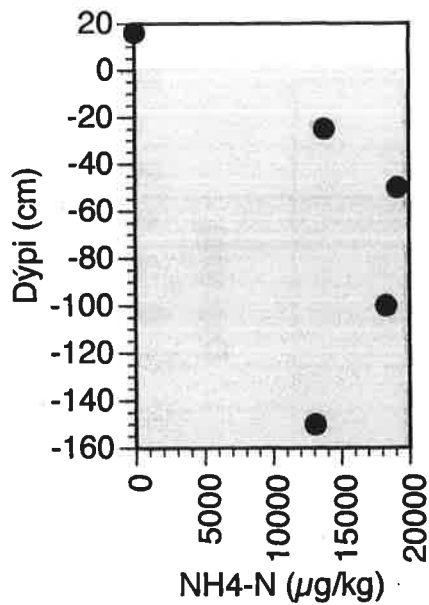
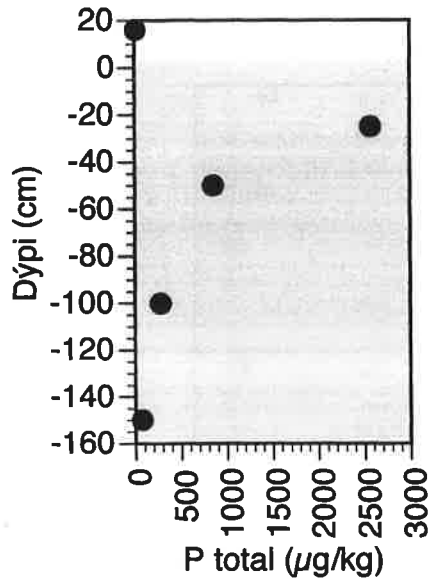
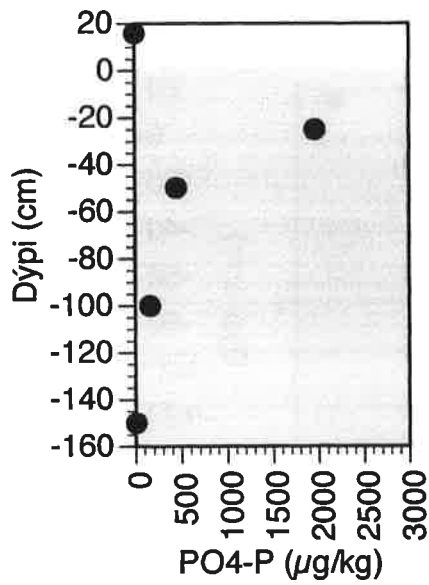
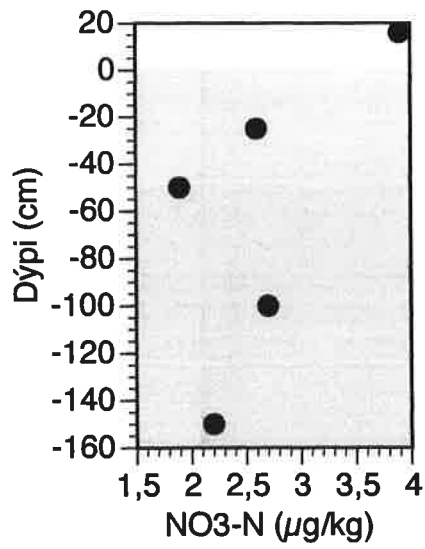
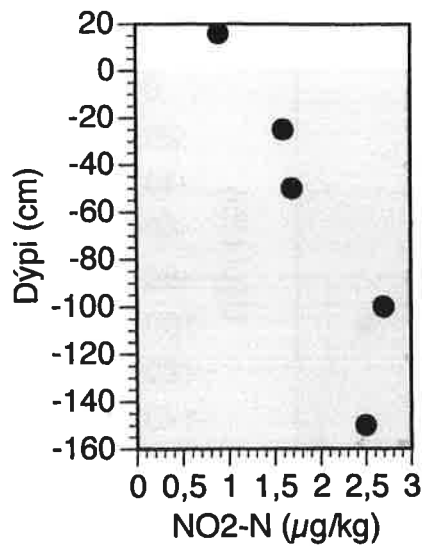


3. mynd a. Leiðni, pH, basavirknin (Alk.), Eh, og styrk uppleysts O₂ í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in conductivity, pH, alkalinity, Eh and dissolved O₂ in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*

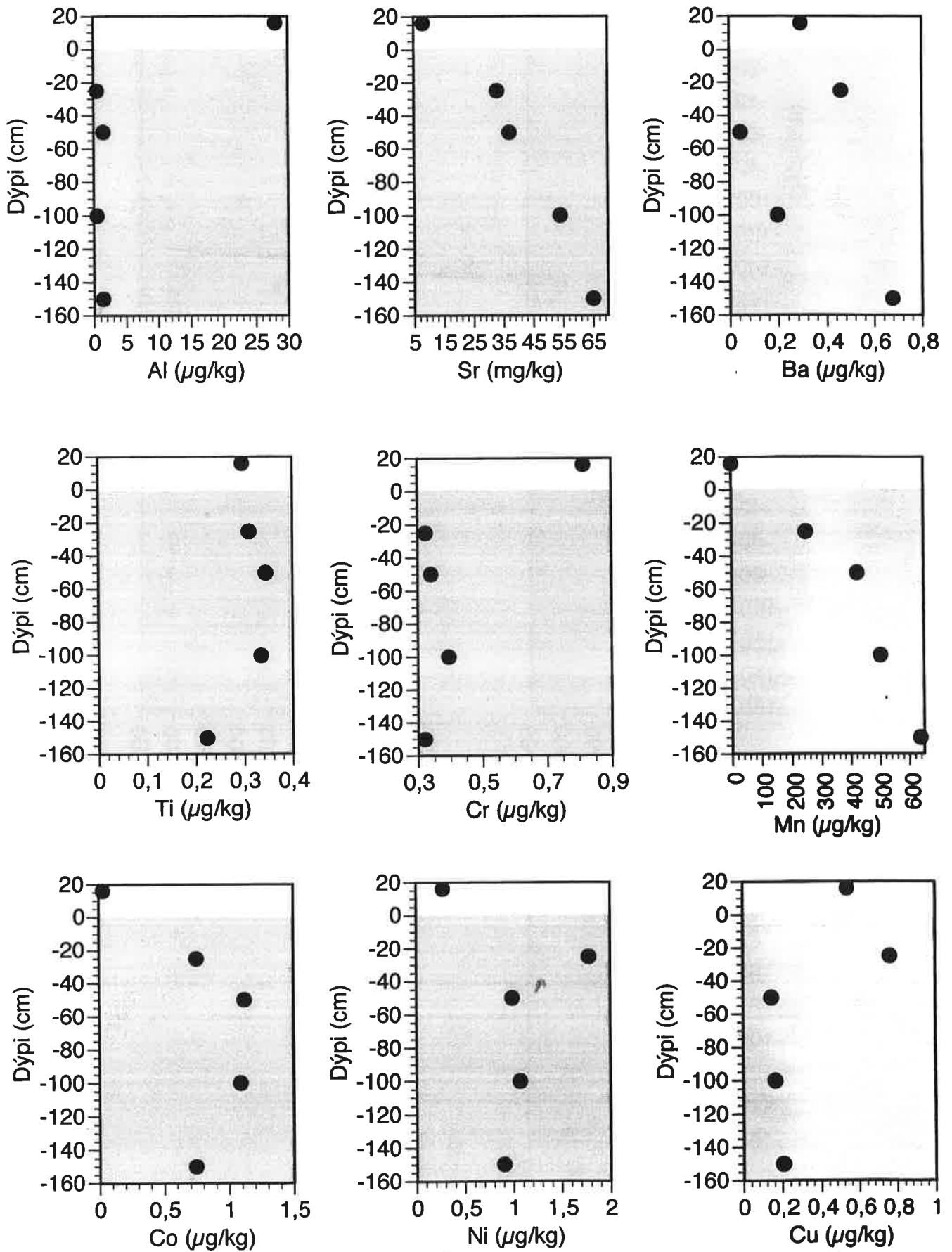


S

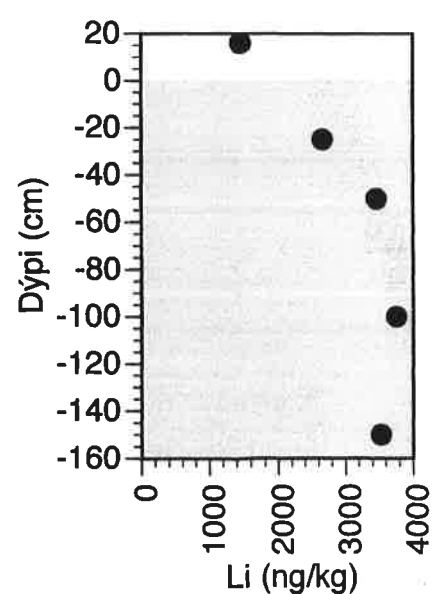
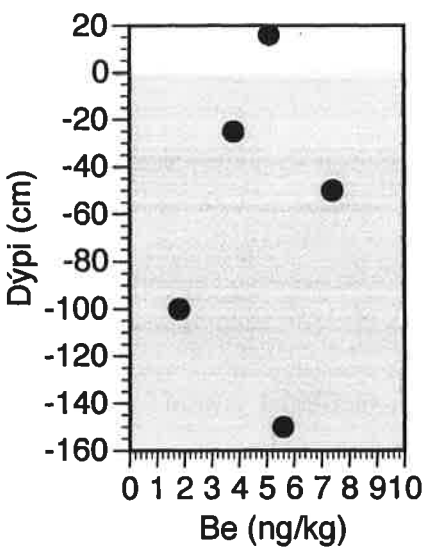
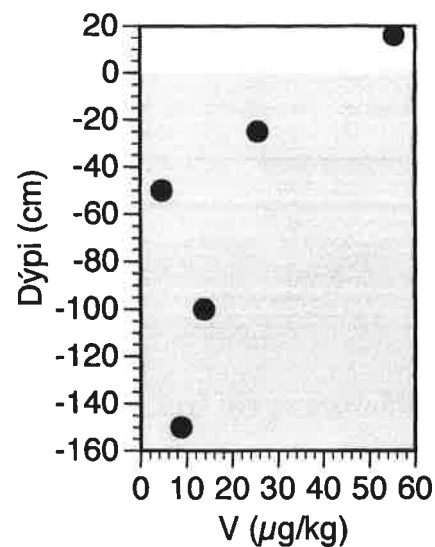
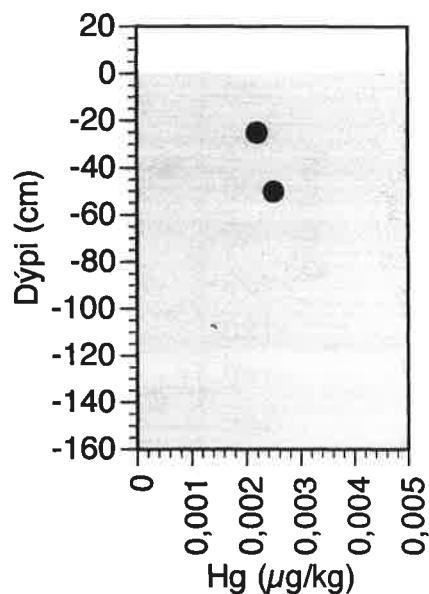
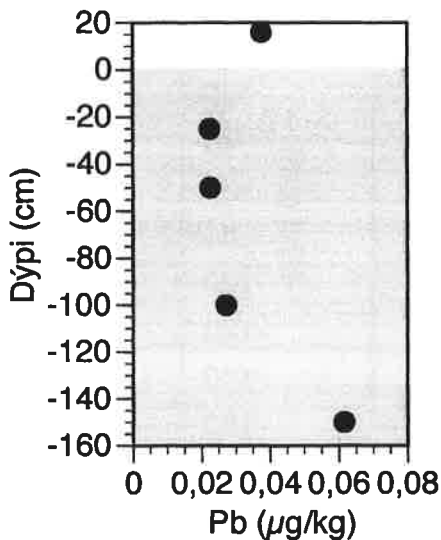
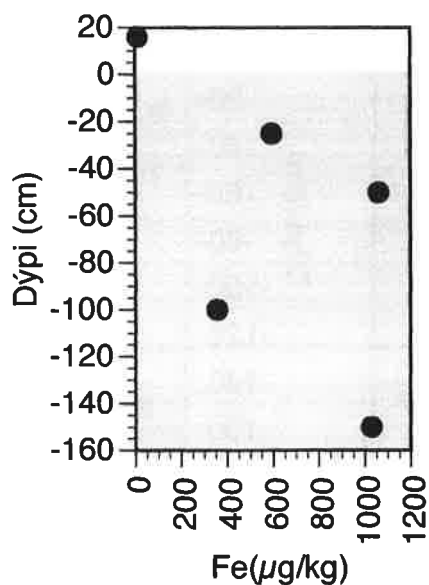
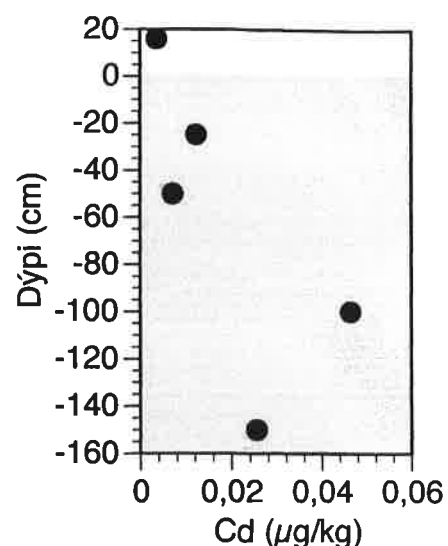
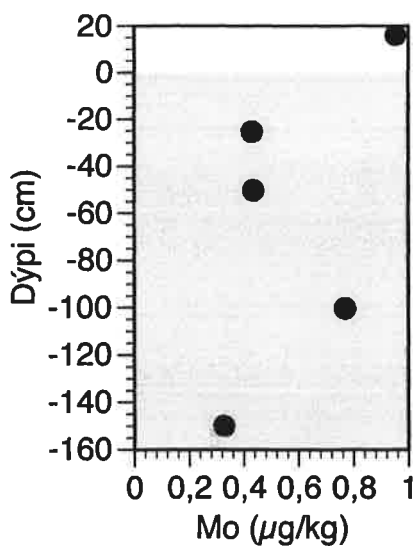
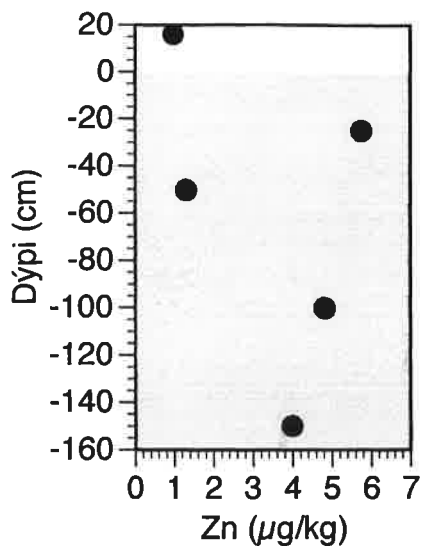
3. mynd b. Styrkur uppleystra aðalefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved major elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*



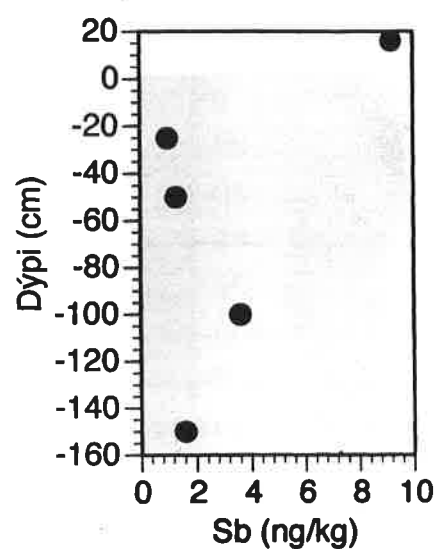
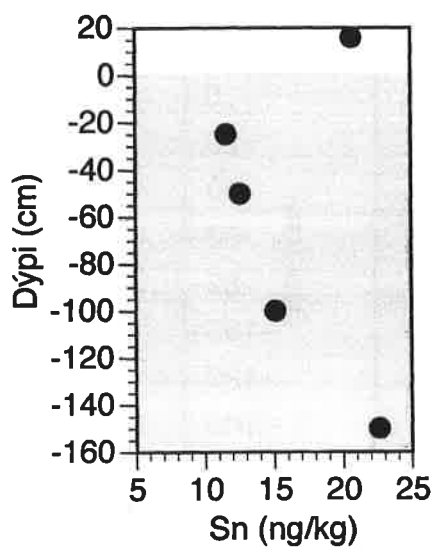
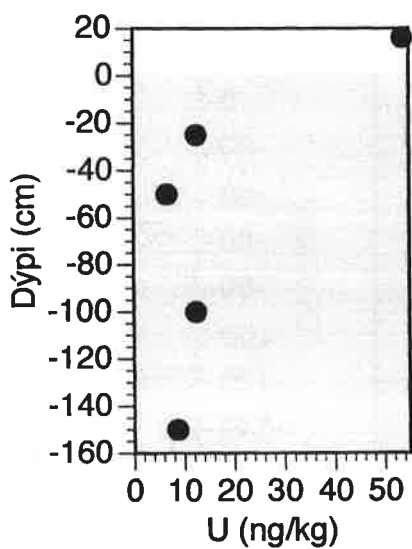
3. mynd c. Styrkur uppleystra næringarefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved inorganic nutrients in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*



3. mynd d. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*



3. mynd e. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*



3. mynd f. Styrkur uppleystra snefilefna í vatni í setinu á botni Álftavogs og rétt fyrir ofan setið uppi í vatnsbolnum. *Variation with depth in the concentration of dissolved trace elements in the interstitial water within the sediment and in the lake water 16 cm above the lake bottom at the sampling site.*