

Efnasamsetning Þingvallavatns 2007 – 2011

RH-04-2012

Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík.

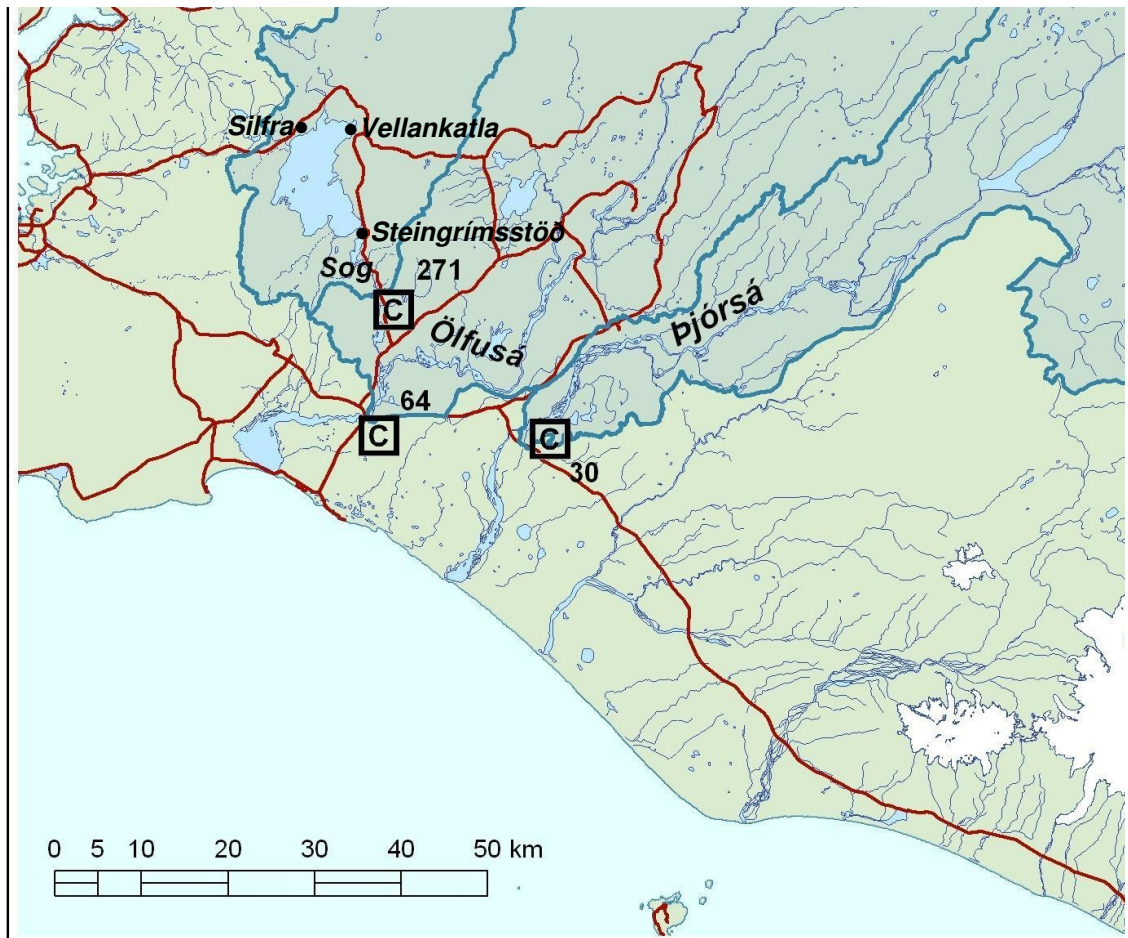


Mái 2012

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT

INNGANGUR	5
AÐFERÐIR	6
Sýnataka	6
Meðhöndlun sýna	6
Efnagreiningar og meðhöndlun sýna á rannsóknarstofu að lokinni söfnun.	7
NÍÐURSTÖÐUR MÆLINGA	9
Sýnataka og efnamælingar	9
Hleðslujafnvægi og hlutfallsleg skekkja í mælingum	10
Árstíðabundnar styrkbreytingar á uppleystum efnum.	11
Meðaltal uppleystra efna í innflæði og útflæði Þingvallavatns	11
ÞAKKARORÐ	15
HEIMILDIR	17
TÖFLUR OG MYNDIR	19



Mynd 1. Staðsetningar sýnatökustaða á Suðurlandi. Hluti vatnasviða Sogs, Ölfusár og Þjórsár er skyggður

INNGANGUR

Vorið 2007 gerðu Umhverfisstofnun, Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur og Þjóðgarðurinn á Þingvöllum með sér samkomulag og samstarfssamning um vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Vöktuninni er skipt í þrjá meginverkpætti og um hvern verkþátt sér framkvæmdaraðili í samræmi við þar að lútandi samning. Verkpættir og framkvæmdaraðilar voru eftirfarandi: 1. Efna- og eðlisþættir í írennsli og útfalli, Jarðvísindastofnun Háskólans, 2. Lífríkis- og efna- og eðlisþættir í vatnsbol, Náttúrufræðistofa Kópavogs og 3. Fiskistofnar, veiðimálastofnun.

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður á mælingum á efna- eðlisþætti í írennsli og útfalli Þingvallavatns á árunum 2007 til 2011. Vatnssýnum hefur verið safnað 19 sinnum úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð og sex sinnum úr lindunum Silfru og Vellankötlu á tímabilinu (Töflur 1 og 2). Um 64% af vatninu sem fellur í Þingvallavatn er komið úr Silfru og Vellankatla er ein af stærstu lindunum á svæðinu (Jón Ólafsson 1992). Verkefnið er kostað af Umhverfisstofnun, Þjóðgarðinum á Þingvöllum, Orkuveitu Reykjavíkur og Landsvirkjun. Í þessari áfangaskýrsla er gert grein fyrir aðferðum og niðurstöðum mælinga á rannsóknartímabilinu.



Mynd 2. Uppstreymi í Vatnsvík kemur upp um hina kraftmiklu lind, Vellankötlu, sem leggur til um 22% alls þess vatnsmagns sem streymir inn í Þingvallavatn (Jón Ólafsson 1992).

AÐFERÐIR

Sýnataka

Sýni til rannsókna á uppleystum efnum voru tekin úr Þingvallavatni af stíflu við Steingrímsstöð og úr lindunum Silfru og Vellankötlum. Sýnum úr Þingvallavatni var safnað með 5 lítra Niskin safnara og var safnað á um eins metra dýpi. Sýnunum var safnað eftir að vatn hafði runnið í nokkurn tíma í gegn um safnarann til hreinsunar. Sýnin voru svo geymd í safnaranum, sem er loftþéttur og ógegnsær, á meðan keyrt var að Þrastarlundi. Þar voru sýnin meðhöndluð eins og lýst verður síðar.

Sýnum úr Silfru og Vellankötlum var dælt beint úr lindunum af um hálf til eins metra dýpi, í gegnum síur og í sýnaflöskur eins og lýst er í næsta kafla. Reyndar var ekki tekið beint úr Vellankötlum, heldur úr sprungu í klöpp, þeirri sömu og Vellankatla streymir upp um á nokkru dýpi í Þingvallavatni. Það var gert til að forðast áhrif frá efnasamsetningu stöðuvatnsins.

Svifaurssýni til mælinga á lífrænum aurburði (POC) sem safnað var úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð var tekið með með handsýnataka (DH48) sem festur var á stöng og látinn síga um 1,5 m ofan í vatnið og upp aftur. Sýninu var safnað í sýruþvegnar aurburðarflöskur sem höfðu verið þvegnar í 4 klst. í 1 N HCl sýru fyrir sýnatöku. Flöskurnar voru merktar að utan, en ekki með pappírsmarki inni í flöskuhálsinum eins og tíðkast fyrir ólífrænan aurburð. Sýnum til mælinga á lífrænum aurburði var ekki safnað úr lindunum.



Mynd 3. Við söfnun úr Silfru. Sýni er dælt beint úr lindinni í gegn um síu í söfnunarflöskurnar.

Meðhöndlun sýna við söfnun

Áður en sýni frá Steingrímsstöð voru meðhöndluð var ekið að Þrastarlundi, í um 20–30 mínútur. Á meðan var sýnið geymt í loftþéttum sýnatakanum til að hindra samskipti vatns og andrúmslofts. Vatnið var síðan síað í gegnum sellulósa asetat-síu með 0,2 μm porustærð. Þvermál síu var 142 mm og Sartorius® („in line pressure filter holder, SM16540“) síuhaldari úr tefloni notaður. Sýninu var þrýst í gegnum síuna með „peristaltik“-dælu. Slöngur voru úr sílikoni. Síur, síuhaldari og slöngur voru þvegnar með því að dæla a.m.k. einum lítra af árvatni í gegnum síubúnaðinn og lofti var hleypt af síuhaldara með loftventli. Áður en síuðu sýni var safnað, voru sýnaflöskurnar þvegnar þrisvar sinnum hver með síuðu árvatni.

Fyrst var vatn sem ætlað var til mælinga á reikulum efnum, pH, leiðni og basavirkni, síað í tvær dökkar, 275 ml og 60 ml, glerflöskur. Næst var safnað í 1000 ml HDPE flösku til mælinga á brennisteinssamsætum. Síðan var vatn síað í 190 ml HDPE flösku til mælinga á styrk anjóna. Þá var safnað í tvær 125 ml HDPE sýruþvegnar flöskur til snefilefnagreininga. Þessar flöskur voru sýruþvegnar af rannsóknaraðilanum SGAB Analytica, sem annaðist snefilefnagreiningarnar og sumar aðalefnagreiningar. Út í þessar flöskur var bætt einum millilítra af fullsterkri hreinsaðri (suprapure) saltpéturssýru í lok söfnunar á hverjum stað. Þá var síuðu árvatni safnað á fjórar sýruþvegnar 20 ml HDPE flöskur. Flöskurnar voru þvegnar með 1 N HCl fyrir hvern leiðangur. Ein flaska var ætluð fyrir hverja mælingu eftirfarandi næringarsalta; NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4 . Sýnin til mælinga á NH_4 voru sýrð með 0,5 ml af þynntri (1/100) brennisteinssýru þar sem efnið er reikult við hátt pH. Svo virðist sem sýran sem notuð var árið 2011 hafi verið menguð af NH_4 og því voru mælingarnar gerðar á ósýrðum sýnum. Vatn ætlað til mælinga á heildarmagni á lífrænu og ólífrænu uppleystu næringarefninu nitur (N) var síað í sýruþvegna 100 ml flösku. Þessi sýni voru geymd í kæli söfnunardaginn en fryst í lok hvers dags. Allar flöskur og sprautur sem komu í snertingu við sýni fyrir POC og DOC voru þvegnar í 4 klukkustundir í 1 N HCl sýru. Sýni til mælinga á DOC var síað eins og önnur vatnssýni og sýrð með 0,4 ml af 1,2 N HCl. Sýnin voru geymd í kæli þar til þau voru send til Svíþjóðar þar sem þau voru greind.

Efnagreiningar og meðhöndlun sýna á rannsóknarstofu

Efnagreiningar voru gerðar á Jarðvísindastofnun, ALS Scandinavia í Luleå í Svíþjóð, Umeå Marine Sciences Center í Umeå í Svíþjóð og við Stokkhólmsháskóla. Niðurstöður þeirra greininga sem búið er að framkvæma eru sýndar í Töflum 1 og 2. Meðalefnasamsetning á sýnum sem safnað hefur verið úr Þingvallavatni er í Töflu 1 og einnig er gefnar upp sambærilegar upplýsingar frá Sogi við Þrastarlund, Ölfusá og Þjórásá. Í Töflu 2 er gert grein fyrir hlutföllum efna í lífrænum aurburði (C/N) og hlutföllum næringarefna, á lífrænu og ólífrænu formi.

Basavirkni („alkalinity“), leiðni og pH var mælt með títrun, rafskauti og leiðnimæli á Raunvísindastofnun að loknum sýnatökuleiðangri. Endapunktur títrunar var

ákvarðaður með Gran-falli (Stumm og Morgan, 1996). Aðalefni og snefilefni voru mæld af AB Analytica með ICP-AES, ICP-MS (Mass Spectrometry with Inductively Coupled Plasma) og atómljómun; AF (Atomic Fluorescence). Næringarsöltin NO_2 , og NH_4 voru efnagreind með sjálfvirkum litrófsmæli Jarðvísindastofnunar („autoanalyzer“). Heildarmagn af uppleystu nitri, N_{tot} , var mælt með jónaskilju (IC2000) sem og styrkur fosfórs (PO_4). Á árinu 2010 var farið að mæla styrk NO_3 með jónaskilju í sýnum frá árinu 2009 en áður höfðu þau sýni einnig verið mæld með litrófsmæli.

Sýni til næringarsaltagreininga voru tekin úr frysti og látin standa við stofuhita nóttina fyrir efnagreiningu þannig að þau bráðnuðu að fullu. Sýni til mælinga á N_{tot} voru geisluð í kísilstautum í útfjólubláu ljósi til að brjóta niður lífrænt efni í sýnunum. Fyrir geislun voru settir 0,17 μl af fullsterku vetnisperoxíði og 1 ml af 1000 ppm bórsýrubuffer (pH 9) í 11 millilítra af sýni. Þessi sýni voru greind innan tveggja daga eftir geislun. Nauðsynlegt var að stilla pH sýnanna við 8,5 – 9 því að geislun veldur klofnar vatns og peroxíðs niður í H^+ jónir, sem veldur sýringu sýnisins, og OH radikala, sem hvarfast við lífrænt efni í sýninu og brýtur það niður (Koroleff, 1982; Roig et al., 1999). Oxun efna er mjög háð pH í umhverfinu og hún gengur auðveldar fyrir sig við hátt pH en lágt (Koroleff, 1982; Roig et al., 1999). Þetta er sérstaklega nauðsynlegt á ferskvatni með lágt alkalinity (litla búffereiginleika), þar sem geislunin hefur mikil áhrif á pH gildi þess. Vatn með hátt alkalinity er með meiri möguleika á að stilla af pH gildið og þ.a.l. verður sýringin minni í því.

Anjónirnar flúor, klór og sulfat voru mæld með jónaskilju á Jarðvísindastofnun (IC 2000) á rannsóknartímabilinu. Sýni til greininga á heildarmagni uppleysts kolefnis (DOC) og á magni lífræns aurburðar (POC og PON) voru send til Umeå Marine Sciences Center í Umeå í Svíþjóð strax og búið var að sía POC og PON-sýni í gegnum glersíur eins og lýst verður hér á eftir. Sýni til mælinga á brennisteinssamsætum voru látin seytla í gegnum jónaskiptasúlur með sterku “anjóna-jónaskiptaresini”. Sýnaflöskur voru vigtaðar fyrir og eftir jónaskipti til þess að hægt væri að leggja mat á heildarmagn brennisteins í jónaskiptaefni. Þegar allt sýnið hafði seytlað í gegn og loft komist í jónaskiptasúlurnar var þeim lokað og þær sendar til Stokkhólms til samsætumælinga. Loftið var látið komast inn í súlurnar til þess að tryggja að nægt súrefni væri í þeim svo að allur brennisteinn héldist á formi sulfats (SO_4).

NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

Sýnataka og efnamælingar

Niðurstöður mælinga sem búið er að framkvæma eru sýndar í Töflum 1 og 2 og á myndum 5 og 10. Meðaltal mælinga fyrir vatnsföllin er sýnt í Töflu 1 og niðurstöður mælinga á einstökum sýnum í Töflu 2. Tímaseriur með niðurstöðum um styrk uppleystra efna eru á myndum 5 og 6. Meðalstyrkur uppleystra efna í Silfru, Vellankötlum, Þingvallavatni við Steingrímsstöð og úr Sogi við Þrastarlund (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2012) er svo sýndur á myndum 7 til 9 með 95% öryggismörkum. Það er gott til að átta sig á mismun á innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Niðurstöður úr Sogi er svo haft til viðmiðunar til að hægt sé að átta sig á hugsanlegum breytingum á efnasamsetningu vatnsins á leið frá Þingvallavatni að Þrastarlundi.

Leiðni og pH vatns er hitastigsháð, þess vegna er getið um hitastig vatnsins þegar leiðni og pH voru mæld á rannsóknarstofu (Tafla 2). Styrkur uppleystra aðalefna er gefinn í millimólum í lítra vatns (mmól/l), styrkur snefilefna sem míkrómól (µmól/l) eða nanómól í lítra vatns (nmól/l). Basavirkni, skammstöfuð Alk („Alkalinity“) í Töflum 1 og 2 er gefin upp sem „milliequivalent“ í kílógrammi vatns. Þar er einnig gefið upp heildarmagn uppleysts ólífræns kolefnis (Dissolved Inorganic Carbon, DIC) er gefið sem millimól C í hverju kg vatns. Það er reiknað er samkvæmt eftirfarandi jöfnu út frá mælingum á pH, hitastigi sem pH-mælingin var gerð við, basavirkni og styrk kísils. Gert er ráð fyrir að virkni („activity“) og efnastyrkur („concentration“) sé eitt og hið sama.

$$DIC = 1000 \frac{\left(Alk - \frac{K_w}{10^{-pH}} - \frac{Si_T}{\left(\frac{10^{-pH}}{K_{Si}} + 1 \right)} + 10^{-pH} \right)}{\left(\left(\frac{10^{-pH}}{K_1} + 1 + \frac{K_2}{10^{-pH}} \right)^{-1} + 2 \left(\frac{(10^{-pH})^2}{K_1 K_2} + \frac{10^{-pH}}{K_2} + 1 \right)^{-1} \right)} \quad (1)$$

K_1 er hitastigsháður kleyfnistuðull kolsýru (Plummer og Busenberg 1982), K_2 er hitastigsháður kleyfnistuðull bíkarbónats (Plummer og Busenberg 1982), K_{Si} er hitastigsháður kleyfnistuðull kísilsýru (Stefán Arnórsson o.fl. 1982), K_w er hitastigsháður kleyfnistuðull vatns (Sweeton o.fl. 1974) og Si_T er mældur styrkur Si (Tafla 2). Allar styrktölur eru í mólum á lítra nema „alkalinity“ sem er í „equivalentum“ á lítra. Þessi jafna gildir svo lengi sem pH vatnsins er lægra en 9

og heildarstyrkur uppleystra efna (TDS) er minni en u.þ.b. 100 mg/l. Við hærra pH þarf að taka tillit til fleiri efnasambanda við reikningana og við mikinn heildarstyrk þarf að nota virknistuðla til að leiðrétta fyrir mismun á virkni og efnastyrk.

Heildarmagn uppleystra efna (TDS: „total dissolved solids“) er samanlagður styrkur uppleystra aðalefna í milligrömmum í lítra vatns (mg/l) reiknaður á eftirfarandi hátt;

$$TDS_{reiknað} = Na + K + Ca + Mg + SiO_2 + Cl + SO_4 + CO_3 \quad (2)$$

Heildarmagn uppleysts ólífræns kolefnis sem gefið er í millimólum DIC í hverjum lítra vatns í Töflum 1 og 2 er umreiknað í karbónat (CO_3) í jöfnu 2. Ástæðan fyrir þessu er að þegar heildarmagn uppleystra efna er mælt eftir síun í gegnum 0,45 μm porur með því að láta ákveðið magn sýnis gufa upp, breytist uppleyst ólífrænt kolefni að mestu í karbónat áður en það fellur út sem kalsít ($CaCO_3$) og loks sem tróna ($Na_2CO_3/NaHCO_3$). Áður en að útfellingu trónu kemur tapast yfirleitt töluvert af CO_2 úr vatninu til andrúmslofts (Eugster 1970, Jones o.fl. 1977 og Hardy og Eugster 1970).

Næmi efnagreiningaraðferða er sýnt í Töflu 3. Þegar styrkur efna mælist minni en næmi efnagreiningaraðferðarinnar er hann skráður sem minni en (<) næmið (Tafla 3). Þessar tölur eru teknar með í meðaltalsreikninga, en meðaltalið er þá gefið upp sem minna en (<) tölugildi meðaltalsins.

Öll sýni eru tvímæld á Raunvísindastofnun. Meðalsamkvæmni milli mælinga er gefin í Töflu 3 sem hlutfallsleg skekkja milli mælinganna. Hún er breytileg milli mælinga og eftir styrk efnanna. Hún er hlutfallslega meiri fyrir lágan efnastyrk en háan. Styrkur næringarsalta er oft við greiningarmörk efnagreiningaraðferðanna. Af þessum sökum er skekkja mjög breytileg eftir styrk efnanna.

Hleðslujafnvægi og hlutfallsleg skekkja í mælingum

Hægt er að leggja mat á gæði mælinga á aðalefnum eða hvort mælingar vanti á aðalefnum eða ráðandi efnasamböndum með því að skoða hleðslujafnvægi í lausn (Tafla 2). Ef öll höfuðefni og ríkjandi efnasambönd eru greind og styrkur þeirra er réttur er styrkur neikvætt hlaðinna efnasambanda og jákvætt hlaðinna efnasambanda jafn. Hleðslujafnvægið (katjónir – anjónir) er reiknað með jöfnu (3) og mismunurinn sem hlutfallsleg skekkja með jöfnu (4).

$$Hleðslujafnvægi = (Na + K + 2 * Ca + 2 * Mg) - (Alk + Cl + 2 * SO_4 + F) \quad (3)$$

$$Mismunur (\%) = \frac{Hleðslujafnvægi}{(katjónir + anjónir)} \quad (4)$$

Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar í Töflu 2. Mismunurinn er lítil, að meðaltali 1,2%, sem verður að teljast gott þar sem skekkja milli einstakra mælinga er oftast yfir 3%.

Árstíðabundnar styrkbreytingar á uppleystum efnum.

Styrkur uppleystra aðalefna í lindunum sem renna í Þingvallavatn breytist lítið sem ekkert yfir rannsóknartímabilið (myndir 5 og 6). Styrkur uppleystra aðalefna var yfirleitt lægri í Vellankötlu en í Silfru, nema styrkur kísils (SiO_2) sem var eins á báðum stöðum. Einnig voru pH gildi og basavirkni (Alkalinity) örlítið lægri í Vellankötlu. Styrkur uppleystra aðalefna breyttist yfirleitt lítið í útfallinu við Steingrímsstöð. Það var helst pH gildið sem var breytilegt en það sveiflaðist frá 7,5 til um 8 og var hærri á sumrin en á veturna (mynd 5). Styrkur SiO_2 var lægri við Steingrímsstöð en í lindunum, vegna frumframleiðni í vatninu, og styrkur SO_4 , Mg og Cl var hærri, vegna ákomu þessara efna á vatnið. Styrkur annarra aðalefna féll saman við styrk þeirra í Silfru, þaðan sem megin þorri vatnsins í Þingvallavatni er upprunninn.

Styrkur næringarsaltanna NO_3 , PO_4 og P_{total} var alltaf lægri í útfallinu en í lindunum sem stafar af næringarefnanámi ljóstillífaði lífvera í vatninu. Styrkur NO_2 var yfirleitt lægri í útfallinu en í lindunum nema á árinu 2011 þar sem styrkurinn var jafn hár. Styrkur N total og NH_4 var hins óreglulegri (mynd 5).

Styrkur snefilefna breyttist óreglulega yfir árið (mynd 6). Ekki var að sjá neina árstíðabundna sveiflu nema helst í styrk Al, Fe og Mn, sem hækkaði yfir sumarið, þegar pH-gildi vatnsins var hæst. Styrkur snefilefnanna Fe, Mn, Sr, Ba, Zn, Mo og Ti var hærri í útfallinu við Steingrímsstöð en í lindunum, en styrkur Al og V var lægri. Styrkur Cu, Ni, Pb, As og B við Steingrímsstöð féll saman við styrk þeirra í lindunum. Styrkur Cr var svipaður í Vellankötlu og við Steingrímsstöð en mun hærri í Silfru. Styrkur Co, Hg og Cd var yfirleitt undir greiningarmörkum aðferðarinnar.

Meðaltal uppleystra efna í innflæði og útfllæði Þingvallavatns

Meðalstyrkur uppleystra efna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð og í lindunum Silfru og Vellankötlu er að finna í Töflu 1 og á myndum 7 til 9 eru upplýsingar um meðalstyrk uppleystra efna sett upp á myndrænan hátt. Þar eru einnig sambærilegar upplýsingar um styrk efna í Sogi við Þrastarlund (gögn frá árunum 2007 til 2011). Meðalstyrkur uppleystra efna í Þingvallavatni stýrist að miklu leyti af styrk þeirra í Silfru þar sem langmest af vatninu er komið frá því grunnvatnskerfi. Talið er að 64% rennslisins sé komið frá Flosagjá (Jón Ólafsson 1992), sem er á sama sprungukerfi og Silfra, en um 22% frá Vellankötlu og lindum tengdum henni í Vatnsvík. Það er því ekki að undra að styrkur margra uppleystra aðalefna í Silfru og í útfallinu við Steingrímsstöð sé svipaður.

Meðalgildi pH í lindunum Silfru og Vellankötlu er hátt, eða 9,27 og 9,19, sem er dæmigert fyrir lindavatn á basaltsvæðum sem er einangrað frá andrúmsloftinu. Gildi pH í útfalli Þingvallavatns er lægra, eða 7,64, sem er svipað og sést í Soginu (mynd 4). Heildarstyrkur uppleystra efna (TDS) í Silfru og í útfallinu við Steingrímsstöð er svipaður en hann var lægri í Vellankötlu (Tafla 1). Styrkur aðalefnanna Na, Mg, Ca, SO₄ og Cl var hærri í Silfru en í Vellankötlu þar liggur munurinn á heildarstyrk uppleystra efna (TDS) í lindunum tveimur.

Styrkur SiO₂ í lindunum var hærri en í útfalli Þingvallavatni sem bendir til kísilnáms kísilþörunga í vatninu. Meðalstyrkur kísils við Steingrímsstöð var svipaður meðalstyrk kísils í Sogi við Þrastarlund frá tímabilinu 1997 – 2011. Bera tók á hækkun kísilstyrks í Sogi í lok árs 2004 miðað við rannsóknartímabilið frá 1998 til 2004 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011). Meðalstyrkur SiO₂ í Sogi var 0,181 mmól/l en frá febrúar 2005 til ársloka 2010 hefur styrkurinn verið 19% hærri að meðaltali, eða 0,215 mmól/l. Sú styrk aukning hefur ekki verið skýrð. Mælingar á styrk kísils frá árinu 1975 (Jón Ólafsson 1992) á 4 sýnatökustöðum í Þivallavatni, á stöðvum 1 til 4, sýna að styrkur kísils er hæstur nyrst í vatninu, í innstreyminu, en lækkar til suðurs, í átt að útfallinu. Styrkur kísils á stöð 1, sem var næst útfallinu við Steingrímsstöð, var 0,156 til 0,177 mmól/l og að meðaltali 0,162 mmól/l. Styrkur kísils í núverandi rannsókn er á bilinu 0,206 til 0,219 mmól/l og að meðaltali 0,208 mmól/l. Þessi gögn benda til þess að meðalstyrkur kísils sé 28% hærri í sýnum frá 2007 til 2011 miðað við sýni frá 1975 í og við útfall Þingvallavatns.

Styrkur klórs, brennisteins og magnesíums var hærri við útfallið en í lindunum sem bendir til ákomu þessara efna í vatnið með úrkomu, en einnig getur uppgufun valdið styrk aukningu í vatninu. Árný Sveinbjörnsdóttir og Sigfús Johnsen (1992) gerðu rannsókn á stöðugum samsætum súrefnis og vetnis, sem eru viðkvæmar gagnvart uppgufun, á Þingvallasvæðinu og samkvæmt þeirra niðurstöðum er uppgufun lítil sem engin í Þingvallavatni.

Meðalstyrkur klórs við Steingrímsstöð var um 8% herra en í Silfru og meðalstyrkur brennisteins um 46% hærri á sömu stöðum. Styrkur snefilefnanna Sr, Fe, Mn og Zn var einnig hærri í útfallinu en í lindunum, hugsanlega vegna innstreymis með öðrum lindum á svæðinu eða athafna mannsins.

Í Töflu 1 eru meðalstyrkur og hlutföll næringarefna í vatninu tíundaður. Næringarefnin fosfór og nitur eru nauðsynlegur þáttur í ljóstillífun þörunga. Heildarstyrkur fosfórs (P_{total}) og ólífræns fosfórs (PO₄) í lindunum var að meðaltali hærri en við Steingrímsstöð (mynd 6). Ólífrænn fosfór (DIP) var um 3 sinnum hærri en lífrænn fosfór (DOP) (Tafla 1). Efnasambönd köfnunarefnis, NO₃, NO₂, NH₄ og N_{total}, voru einnig með hærri meðalstyrk í lindunum en við útfallið og var hluti ólífrænna og lífrænna nitursambanda svipaður í Silfru (DIN/DON~1), ólífræn nitursambönd voru að meðaltali um 2 sinnum hærri en lífræn í Vellankötlu og í útfallinu var um þriðjungur nitursambanda á ólífrænu formi (DIN/DON ~0,3; Tafla

1). Þessar niðurstöður endurspeglar næringarefnanám vegna ljóstillífunar í Þingvallavatni. Hlutfall fosfórs og niturs (P/N) bendir til þess að N sé takmarkandi fyrir vöxt ljóstillífandi lífvera, en það er einmitt raunin fyrir næringarefnabúskap í gosbeltinu, þar sem fosfór leystist úr bergi en nitur berst inn á vatnasviðin með úrkomu. Þörungarnir eru þurftarfrekari á nitursambönd en á fosfór og það sést í fyrirbyggjandi gögnum að efnastyrkur niturs (DIN) lækkar mikið í vatninu eftir að lindirnar streyma inn í stöðuvatnið.

Mynd 9 sýnir meðalstyrk ýmissa þungmálma og annarra snefilefna sem mældust fyrir ofan greiningarmörk. Reyndar var styrkur arsens, As, oft undir greiningarmörkum en var haft með í þessari samantekt þar sem mikið hefur bæst við af gögnum undanfarið um arsen og afdrif þess á Nesjavallasvæðinu (Bergur Sigfússon o.fl., 2011). Áður en farið var að dæla skiljuvatni frá Nesjavallavirkjun aftur niður í djúpar borholur, rann það fyrst á yfirborði og leitaði síðan inn undir basísk jarðlög á svæðinu. Þaðan sytraði vatnið í átt að Þingvallavatni. Uppleyst efni í vatni haga sér á ólíkan hátt þegar þau koma í snertingu við berg. Sum halda óáreitt áfram án þess að sjá bergið á meðan önnur fara að hafa samskipti við bergið, annað hvort verða efnaskipti eða að uppleystu efnin sogast að yfirborði bergsins. Klór frá skiljuvatni skilaði sér í Þingvallavatn nokkrum árum eftir að starfsemi Nesjavallavirkjunar hófst en arsen ásogast á yfirborð basaltsins á svæðinu og hægir það á streymi þess til Þingvallavatns. Líkanreikningar gera ráð fyrir að það muni byrja að skila sér í Þingvallavatn í kring um árið 2100 (Bergur Sigfússon o.fl. 2011). Efnagreining á arseni er erfið og hefur styrkur klórs í sýninu áhrif á greiningarmörk. Greiningarmörkin er því ekki alltaf þau sömu frá einu sýni til annars. Styrkur arsens í útfalli Þingvallavatns var neðan við greiningarmörk í 30% tilfella, As í sýnum úr Vellankötlum voru í öllum tilfellum undir greiningarmörkum og eitt sýni af sex úr Silfru voru undir greiningarmörkum. Þar sem sýni mældust undir greiningarmörkum voru tölugildi mælinganna notuð við reikningana á meðalstyrk. Samanburður á meðalstyrk As bendir til að styrkur As sé sambærilegur í útfallinu við Steingrímsstöð og í lindunum (myndir 4 og 7).

Meðalstyrkur málma var yfirleitt hærri í Silfru en í Vellankötlum. Sérstaklega var mikill munur á styrk Cr í lindunum. Í því sambandi mætti kannski ímynda sér að myntin í Peningagjá hafi áhrif á styrk málma í vatninu, en það er ekki líklegt þar sem íslenskar myntir innihalda ekki Cr (5 og 10 krónu peningur er 75% kopar og 25% nikkell og 50 og 100 krónu myntirnar eru 70% kopar, 24% sink og 6 % nikkell) (<http://www.sedlabanki.is>, 2012). Krómstyrkur er líka hlutfallslega hár í Hvítá við Kljáfoss (meðaltal 23 nmol/l, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2012) í Borgafirði. Vatnasvið Hvítár í Borgafirði nær upp í Langjökul líkt og vatnasvið Þingvallavatns og hugsanlega eru vatnasvið Hvítár og Silfru að taka vatn af svipuðu bergi.

Ál styrkur er mjög háður pH gildi vatnsins og það skýrir háan Al styrk í lindunum, þar sem pH fer upp undir 10. Styrkur annarra málma, t.d. Cr, Ni, Ti og B er einnig háður pH gildi vatnsins og ýmist hækkar eða lækkar með hækkandi pH. Styrkur Ba, Mn, Ti

og Zn er hærri, en breytilegur, í Þingvallavatni við Steingrímsstöð en í lindunum (Mynd 9) á meðan Cr styrkur er langhæstur í Silfru.

Samanburður við eldri gögn úr Þingvallavatni.

Árin 1975-1991 fór fram viðamikil rannsókn á Þingvallavatni (Jón Ólafsson, 1992). Yfgrípsmikil rannsókn var gerð sumarið 1975 og var sýnum safnað víða á Þingvallavatni (stöðvar 1 til 11) og á hverri stöð var safnað á mismunandi dýpi í vatninu. Þá voru mæld næringarefni Si, PO₄, NO₃ og svo Cl. Árið 1981 var aftur safnað á Stöð 2 í Þingvallavatni. Á mynd 10 hafa meðaltalsgögn úr rannsókninni frá árinu 1975 verið sett inn á tímaraðir úr núverandi rannsókn, þar sem sambærileg gögn voru til staðar. Þar má sjá að styrkur NO₃ var sambærileg í útfallinu eins og það var á sýnatökustöðinni sem var næst útfallinu (Stöð 1) árið 1975, en styrkur SiO₂ og PO₄ var herra í gagnasettinu frá 1975 en í núverandi rannsókn.

Flosagjá er á sömu sprungurein og Silfra, aðeins ofar á vatnasviðinu, og er hér tekin til samanburðar við Silfru. Meðalgildi pH, Cl, Ca, PO₄ og NO₃ í Flosagjá 1975 var sambærilegur þeim í Silfru 2007-2010, alkalinity og Na voru hærri í Flosagjá og SiO₂ og Mg voru lægri.

Árið 1975 var safnað beint úr Vellankötlu (Jón Ólafsson munnl. upplýsingar) og hugsanlega gæti vatnið úr Þingvallavatni hafa haft áhrif á efnasamsetningu sýnisins. Þegar sýnin úr núverandi rannsókn eru borin saman við þau eldri er margt sem bendir til þess því meðalstyrkurinn úr eldri rannsókninni lendir oft á milli gagnanna úr Silfru 2007-2011 og úr útfallinu, sem bendir til blöndunnar á þessum tveimur uppsprettum.

Ákoma á vatnasviði Þingvallavatns

Ákoma uppleystra efna hefur verið mæld á Mjóanesi sem er á austanverðri strönd Þingvallavatns (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2010; 2011). Þar er sérstaklega verið að athuga ákomu köfnunarefnis á vatnasvið Þingvallavatns með tilkomu Gjábakkavegar. Styrkur einstakra efna í úrkomu er ekki sambærilegur við styrk þeirra í yfirborðsvatni en hægt er að nota þær upplýsingar ásamt upplýsingum um úrkomumagn til að reikna ákomu einstakra efna á vatnasviðið. Hér verður gerð tilraun til að meta ákomu köfnunarefnis beint á Þingvallavatn, sem er 83 km² (Hákon Aðalsteinsson o.fl 1992). Notuð eru gögn um efnasamsetningu úrkomu frá Mjóanesi (miðgildi NO₃, NO₂ og NH₄) (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2011) og gögn um meðal úrkomumagn frá Írafossi 1997-2005, 1812 mm/ári (Eydís Salome Eiríksdóttir 2008). Til samanburðar eru upplýsingar um köfnunarefnissamböndin í Silfru og Vellankötlu úr þessari rannsókn (tölur 1 og 2) og rennsli lindanna (Jón Ólafsson, 1992). Það kemur í ljós að Silfra ber fram 67% af NH₄, 72% af NO₂ og 74% af NO₃ en Vellankatla á 32%, 28% og 25% af heildarframburði köfnunarefnissambanda í Þingvallavatn. Úrkoma skilar 0,7% af NH₄, 0,05% af NO₃ og 0,08% af NO₂ inn í Þingvallavatn miðað við ofangreindar

forsendur. Ef ákoma köfnunarefnis sambanda á Þingvallavatn er borinn saman við framburð Sogs við Þrastarlund (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2012) á sömu efnum kemur í ljós að NO_3 ákoma á Þingvallavatn með úrkomu er um 0,4% af árlegum framburði Sogs af NO_3 , 0,03% af NO_2 og 0,5% af NH_4 .

Samanburður við NO_3 gögn frá rannsókninni sem gerð var 1975 (Jón Ólafsson 1992) sýnir svipaðar niðurstöður, mest kemur inn með Flosagjá (sambærilegt við Silfru), ~72%, þá með Vellankötlum, ~19%. Restin kemur inn með hinum ýmsu litlu lindum, ~4%, og yfirborðsvatni, ~5%, og úrkomu ~0,065%.

ÞAKKARORÐ

Umhverfissráðuneytið, Orkuveita Reykjavíkur, Þjóðgarðurinn á Þingvöllum og Landsvirkjun kostuðu rannsóknina og hafa fulltrúar hennar sýnt verkefninu mikinn áhuga og stuðning. Bestu þakkir fá litlu hjálparhellurnar mínar, Baldur og Arnaldur Daðasynir, sem hafa verið mjög liðlegir í gegn um tíðina við hitamælingar, sýnasöfnun og myndatökur.



Mynd 4. Hitamælingar í Vatnsvík hafa leitt í ljós að vatnið sem hér flæðir inn í Þingvallavatn er mjög kalt, eða um $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

HEIMILDIR

- Árný Sveinbjörnsdóttir og Sigfús Johnsen 1992. Stable isotope study of the Thingvallavatn area. Groundwater origin, age and evaporation models. *Oikos*, 64, 136-150.
- Bergur Sigfusson, Sigurdur R. Gislason, Andrew A. Meharg 2011. A field and reactive transport model study of arsenic in a basaltic rock aquifer. *Applied Geochemistry*, 26, bls. 553-564
- Eydís Salome Eiríksdóttir, 2008. Efnasamsetning úrkomu á Íslandi. Samantekt gagna frá Rjúpnahæð, Írafossi, Vegatungu, Litla-Skarði og Langjökli. Jarðvísindastofnun Háskólans, RH-01-2008, 30 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir 2010. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008 – 2009, RH-13-2010, Jarðvísindastofnun Háskólans, 22 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2011. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008 – 2011. RH-19-2011, 37 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Jórunn Harðardóttir, Kristjana G. Eyþórsdóttir og Svava Björk Þorláksdóttir, Peter Torssander, 2012. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XV. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar, RH-06-2012, 52 bls
- Eugster, H. P. 1970. Chemistry and origin of the brines of Lake Magadi, Kenya. *Mineral. Soc. Am. Spec. Paper* 3, bls. 213-235.
- Koroleff F. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Grasshoff K, Ehrhardt M. Kremling K. (Eds.). 2nd edition Verlag Chemie GmbH, Weinheim. Bls. 163-173
- Hardy, L. A. og Eugster, H. P. 1970. The evolution of closed-basin brines. *Mineral. Soc. Am. Spec. Pub.* 3, bls. 273-290.
- Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson og Sigurjón Rist, 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos*, 64, 121-135.
- Jones, B. F., Eugster H. P. og Rettig S. L. 1977. Hydrochemistry of the Lake Magadi basin, Kenya. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, bls. 53-72.
- Jón Ólafsson 1992. Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. *Oikos* 64, bls 151-16
- Plummer, N.L., og Busenberg, E. 1982. The solubility of calcite, aragonite and vaterite in CO₂-H₂O solutions between 0 and 90°C, and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO₃-CO₂-H₂O: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 1011-1040.
- Sedlabanki Íslands, 2012. <http://www.sedlabanki.is/?PageID=31>
- Stefán Arnórsson og Hörður Svavarsson, 1982. The chemistry of geothermal waters in Iceland. I. Calculation of aqueous speciation from 0°C to 370°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 46, pp. 1513 - 1532.
- Stumm, W. og Morgan, J. 1996. *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. John Wiley. New York.
- Sweeton R. H., Mesmer R. E. og Baes C. R. Jr. 1974. Acidity measurements at elevated temperatures. VII. Dissociation of water. *J. Soln. Chem.* 3, nr. 3 bls. 191-214.

TÖFLUR OG MYNDIR

Tafla 1. Meðalstyrkur uppleystra efna í innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Reikningarnir eru byggðir á gögnum frá 2007 til 2011.

Vatnsfall	n	Rennsli Vatns-		Loft- pH	Leiðni µS/sm	SiO ₂ mmól/l	Na mmól/l	K mmól/l	Ca mmól/l	Mg mmól/l	Alkalinity meq./kg (a)	DIC mmól/l	SO ₄	SO ₄	δ ³⁴ S ‰ (b)	Cl mmól/l I.C.	F µmól/l I.C.	TDS mg/l reiknað	
		m ³ /sek	hiti °C										hiti °C	ICP-AES					I.C.
Silfra 2007-2011	6		3,38	5,53	9,35	70,4	0,262	0,356	0,012	0,097	0,042	0,454	0,424	0,017	0,016	9,63	0,161	3,35	62,0
Vellankatla 2007-2011	6		2,80	4,07	9,26	52,4	0,263	0,258	0,0111	0,069	0,069	0,323	0,292	0,015	0,013	10,1	0,126	2,68	49,3
Steingrímsst. 2007-2011	19		6,44	7,63	7,72	21,2	72,5	0,204	0,359	0,016	0,102	0,059	0,472	0,481	0,026	0,023	7,90	0,175	64
Heimsmeðaltal							0,173	0,224	0,033	0,334	0,138		0,853	0,090	0,090		0,162	5,26	100

Vatnsfall	n	DOC		PON µg/kg	C/N mól	Svifaur mg/l	P _{total} µmól/l	DIP	DOP	TDN N _{total} µmól/l	NO ₃ -N µmól/l	NO ₂ -N µmól/l	NH ₄ -N µmól/l	DIN	DON	DIN/ DON	
		mmól/l	µg/kg					µmól/l	P _{total} -DIP µmól/l					DIP/ DOP	µmól/l	µmól/l	µmól/l
Silfra 2007-2011	6	0,035					0,788	0,563	0,225	3,50	8,28	3,81	0,0047	0,562	4,42	3,86	1,15
Vellankatla 2007-2011	6	<0,047					0,916	0,660	0,256	3,58	6,84	3,76	<0,053	0,689	<4,50	>2,34	>1,93
Steingrímsst. 2007-2011	19	0,051	452	40,3	12		0,311	<0,212	0,099	3,13	5,15	0,495	<0,035	0,666	<1,19	>3,96	>0,30
Heimsmeðaltal							0,323			0,67		7,14	0,065	1,14	8,57	18,60	0,46

Vatnsfall	n	Al	Fe	B	Mn	Sr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Mo	Ti	V
		µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l
Silfra 2007-2011	6	1,38	<0,0095	0,646	<0,001	0,0323	<1,27	0,656	<0,02	<0,068	45,9	<1,89	1,67	<0,078	<10,5	<0,01	1,12	<0,949	0,472
Vellankatla 2007-2011	6	1,22	<0,001	0,333	<0,001	0,036	<1,00	0,582	<0,018	<0,084	19,5	<1,78	<1,58	<0,075	<9,27	<0,01	0,894	0,825	0,433
Steingrímsst. 2007-2011	19	0,324	0,099	0,694	0,011	0,057	<1,18	11,79	<0,021	<0,120	16,9	<2,43	<1,77	<0,080	72,8	<0,010	1,56	3,66	0,354
Heimsmeðaltal		1,85	0,716		1,85	0,716												209	

a) Alkalinity eða basavirkni.

Tafla 2. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra efna, lífræns kolefnis og lífræns níturs í innflæði og útrennsli Þingvallavatns.

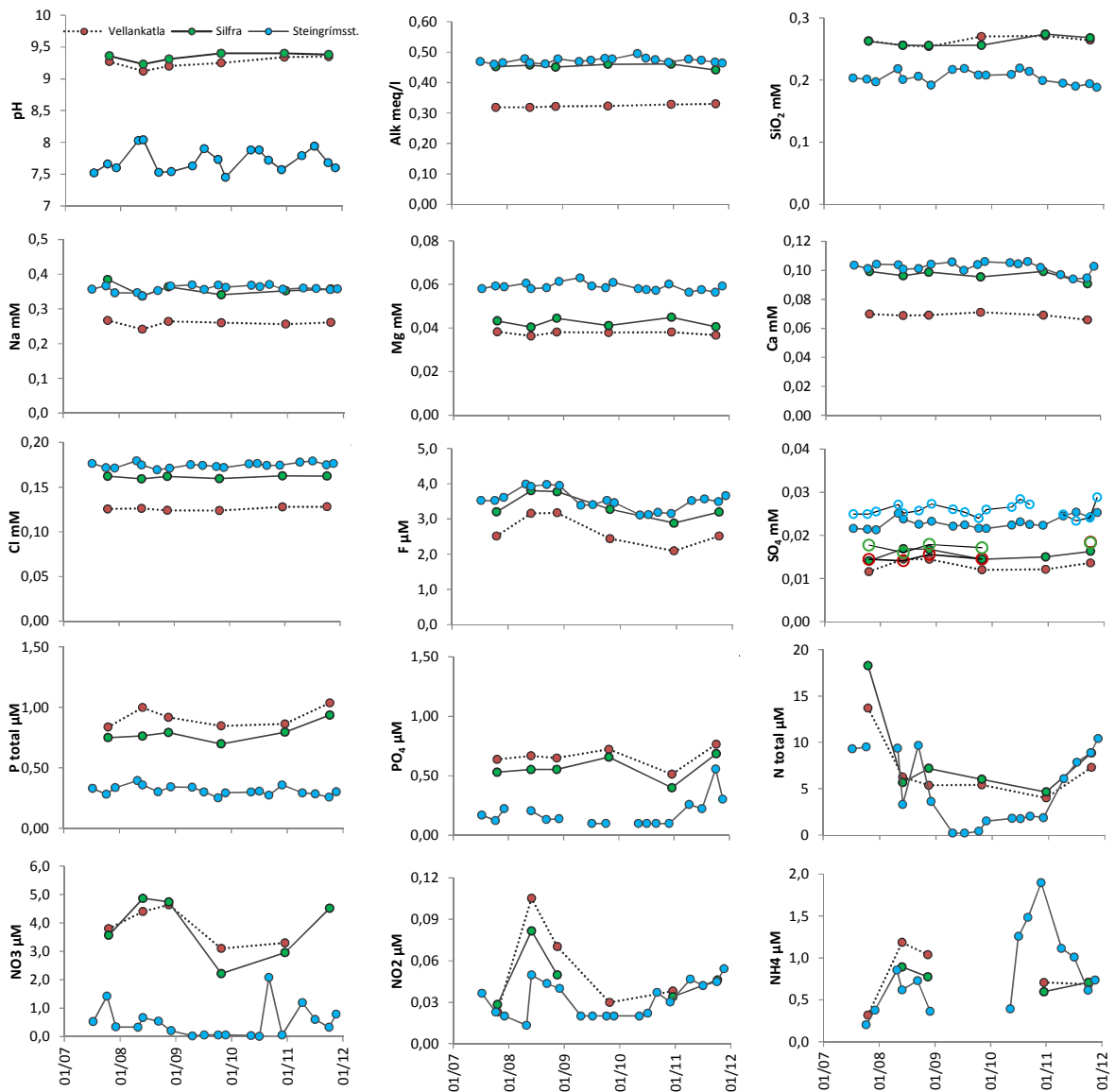
Sýna númer	Staðsetning	Dags. Tími	Vatns- hiti °C	Loft- hiti °C	pH	T °C (pH/leiðni)	Leiðni µS/sm	SiO ₂ mmól/l	Na mmól/l	K mmól/l	Ca mmól/l	Mg mmól/l	Alk (a) meq./kg	DIC mmól/l	S _{total} mmól/l	SO ₄ mmól/l	δ ³⁴ S ‰	Cl mmól/l	F µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007 14:50	11,7	17	7,52	19,4	60,6	0,203	0,357	0,016	0,104	0,058	0,469	0,468	0,025	0,022	6,8	0,176	3,53
07U002	Steingr.st	19.10.2007 17:05	6,8	5,9	7,66	22,8	70,6	0,202	0,367	0,016	0,101	0,059	0,460	0,459	0,025	0,021	6,3	0,172	3,52
07U003	Silfra	9.7.2007 14:05	3,4	9,5	9,36	22,9	72,5	0,263	0,385	0,013	0,099	0,043	0,452	0,399	0,018	0,014	8,6	0,162	3,20
07U004	Vellankatla	8.10.2007 14:05	2,8	10,2	9,27	23,3	51,7	0,263	0,267	0,011	0,070	0,038	0,319	0,273	0,014	0,012	9,1	0,126	2,52
07U005	Steingr.st	5.12.2007 13:55	3,7	3,2	7,6	20	71,8	0,197	0,346	0,015	0,104	0,059	0,465	0,464	0,025	0,021	7,8	0,171	3,61
08U001	Steingr.st	28.4.2008 14:00	3,2	9,6	8,03	22	72,0	0,218	0,347	0,016	0,104	0,060	0,479	0,489	0,027	0,025	7,9	0,179	3,99
08U002	Silfra	31.5.2008 13:55	3,4	10,8	9,23	22,5	69,2	0,256	0,337	0,010	0,096	0,040	0,458	0,450	0,016	0,017	11	0,159	3,81
08U003	Vellankatla	31.5.2008 14:50	2,8	2,8	9,12	21,3	51,8	0,256	0,241	0,011	0,069	0,036	0,319	0,305	0,014	0,014	10	0,126	3,16
08U004	Steingr.st	31.5.2008 16:00	6,7	9,5	8,04	22,2	72,2	0,201	0,338	0,014	0,101	0,058	0,465	0,475	0,025	0,024	8,2	0,175	3,93
08U005	Steingr.st	10.9.2008 15:15	10	12,8	7,53	20,9	73,2	0,206	0,353	0,015	0,101	0,058	0,461	0,494	0,026	0,023	9,4	0,169	3,98
08U006	Silfra	17.11.2008 13:30	3,4	4,6	9,31	20,4	73	0,256	0,364	0,012	0,099	0,044	0,451	0,444	0,018	0,017	9,3	0,162	3,77
08U007	Vellankatla	17.11.2008 14:45	2,8	5,1	9,2	20,3	54,4	0,254	0,264	0,011	0,069	0,038	0,322	0,307	0,016	0,014	11	0,124	3,18
08U008	Steingr.st	2.12.2008 16:45	2,9	-3,9	7,54	20,3	77,5	0,192	0,366	0,017	0,104	0,061	0,478	0,511	0,027	0,023	7,8	0,171	3,95
09U001	Steingr.st	21.4.2009 14:55	2,1	6,1	7,63	20,2	73	0,217	0,369	0,017	0,106	0,063	0,469	0,495	0,026	0,022	8,8	0,175	3,39
09U002	Steingr.st	8.7.2009 13:20	11,1	13,6	7,9	22,6	73,7	0,219	0,356	0,018	0,100	0,059	0,473	0,487	0,025	0,022		0,174	3,41
09U003	Steingr.st	8.10.2009 12:50	6,7	2,3	7,73	21,6	69,2	0,208	0,368	0,018	0,104	0,058	0,480	0,501	0,024	0,022		0,173	3,53
09U004	Silfra	28.10.2009 12:15	3,4	6,7	9,4	20,1	65,4	0,256	0,341	0,011	0,096	0,041	0,460	0,454	0,017	0,014		0,159	3,27
09U005	Vellankatla	28.10.2009 13:20	2,8	6,7	9,25	20	49,1	0,270	0,260	0,013	0,071	0,038	0,323	0,305	0,015	0,012		0,124	2,44
09U006	Steingr.st	26.11.2009 12:30	4,4	-2,2	7,45	21	69,4	0,208	0,362	0,017	0,106	0,061	0,477	0,518	0,026	0,022		0,172	3,46
10U001	Steingr.st	12.5.2010 13:00	3,3	8,3	7,88	22,1	71,1	0,209	0,368	0,016	0,105	0,058	0,495	0,493	0,027	0,022		0,176	3,11
10U002	Steingr.st	6.7.2010 13:05	9,8	15,6	7,88	21,1		0,219	0,365	0,016	0,105	0,058	0,480	0,478	0,028	0,023		0,176	3,12
10U003	Steingr.st	6.9.2010 13:15	8,7	10,7	7,72	21,2	72,4	0,214	0,370	0,016	0,106	0,057	0,475	0,474	0,027	0,022		0,174	3,19
10U004	Steingr.st	2.12.2010 12:30			7,57	22	73,7	0,199	0,357	0,015	0,102	0,060	0,466	0,466		0,022		0,175	3,15
10U005	Silfra	20.12.2010 12:30	3,3	-3,4	9,4	19,3	66,8	0,274	0,352	0,012	0,099	0,045	0,461	0,409		0,015		0,163	2,88
10U006	Vellankatla	20.12.2010 13:40	2,8	-3,8	9,34	18,9	51,6	0,271	0,256	0,011	0,069	0,038	0,328	0,283		0,012		0,128	2,09
11U001	Steingr.st	14.4.2011 13:17	1,4	2,6	7,79	19,3	75,3	0,195	0,360	0,015	0,097	0,056	0,477	0,476	0,025	0,024		0,178	3,52
11U002	Steingr.st	7.7.2011 13:45	9,9	16,5	7,94	21	76,6	0,190	0,359	0,017	0,094	0,058	0,473	0,471	0,023	0,025		0,179	3,57
11U003	Steingr.st	6.10.2011 12:45	7,9	7,5	7,68	20	78,3	0,194	0,355	0,018	0,095	0,056	0,467	0,466	0,024	0,024		0,175	3,50
11U004	Silfra	10.10.2011 13:25	3,4	5	9,38	22,4	75,3	0,268	0,357	0,012	0,091	0,041	0,442	0,386	0,018	0,016		0,162	3,20
11U005	Vellankatla	10.10.2011 14:20	2,8	3,4	9,35	21,1	55,6	0,264	0,261	0,012	0,066	0,037	0,330	0,281	0,018	0,014		0,128	2,51
11U006	Steingr.st	22.11.2011 13:00	5,7	2,3	7,6	22,3	74,2	0,188	0,358	0,016	0,103	0,059	0,464	0,463	0,029	0,025		0,176	3,66

Tafla 2 frh. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra efna, lífræns kolefnis og lífræns níturs í innflæði og útrennsli Þingvallavatns.

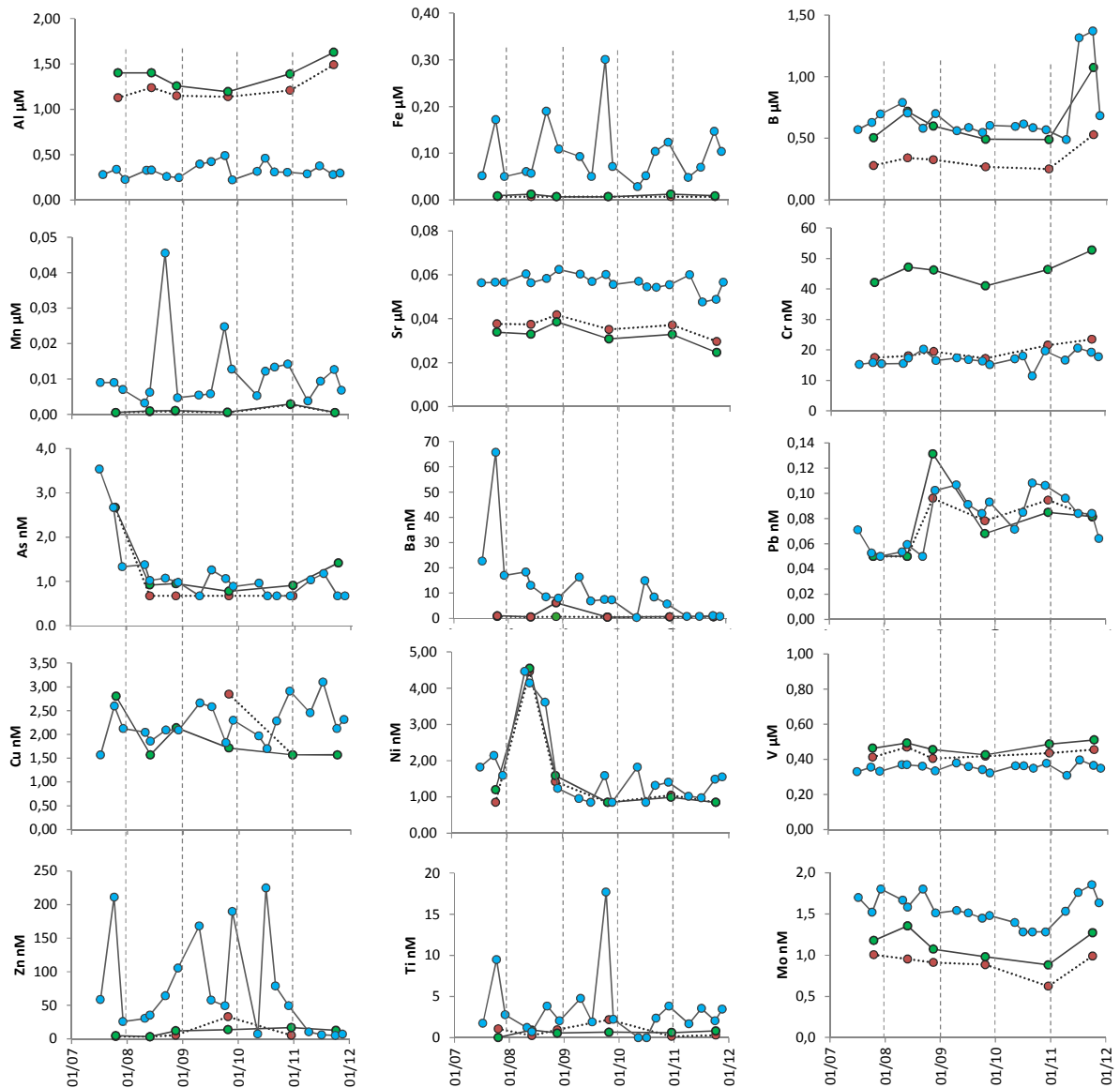
Sýna númer	Staðsetning	Dags.	Tími	Hleðslu- jafnvægi	% skekka	TDS _{reiknað} mg/kg	DOC mmól/l	POC µg/kg	PON µg/kg	C/N mól	P µmól/l	PO ₄ -P µmól/l	NO ₃ -N µmól/l	NO ₂ -N µmól/l	NH ₄ -N µmól/l	N _{tot} µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007	14:50	0,00	0,20	63	0,063	250,1	37	7,9	0,329	0,170	0,53	0,036	<0,2	9,30
07U002	Steingr.st	19.10.2007	17:05	0,02	1,29	63	0,043	335,2	54,6	7,2	0,282	0,124	1,42	0,023	0,203	9,50
07U003	Silfra	9.7.2007	14:05	0,03	2,23	62	0,026				0,749	0,530	3,57	0,028	<0,2	18,3
07U004	Vellankatla	8.10.2007	14:05	0,02	1,91	48	0,028				0,836	0,638	3,80	0,023	0,318	13,7
07U005	Steingr.st	5.12.2007	13:55	0,00	0,27	62	0,037	150	17,9	9,8	0,336	0,224	0,34	<0,02	0,376	
08U001	Steingr.st	28.4.2008	14:00	0,025	1,77	66	0,026	352	58,0	7,1	0,394		0,336	0,013	0,856	9,36
08U002	Silfra	31.5.2008	13:55	0,032	2,49	63	0,018				0,762	0,553	4,865	0,082	0,893	5,67
08U003	Vellankatla	31.5.2008	14:50	0,013	1,43	49	<0,1				0,998	0,668	4,403	0,105	1,185	6,25
08U004	Steingr.st	31.5.2008	16:00	0,025	1,85	63	0,009	296	32,2	11	0,358	0,206	0,671	0,050	0,619	3,30
08U005	Steingr.st	10.9.2008	15:15	0,001	0,06	65	0,0549	471	33,6	16	0,302	0,133	0,545	0,044	0,728	9,68
08U006	Silfra	17.11.2008	13:30	0,010	0,75	63	0,034				0,791	0,553	4,739	0,050	0,774	7,19
08U007	Vellankatla	17.11.2008	14:45	0,010	1,02	50	0,1157				0,917	0,650	4,638	0,070	1,039	5,37
08U008	Steingr.st	2.12.2008	16:45	0,007	0,46	66	0,0358	2392	112	25	0,342		0,210	<0,04	0,363	3,61
09U001	Steingr.st	21.4.2009	14:55	0,02	1,67	66	0,0516	472	42,3	13	0,339	0,770	0,028	0,024		<0,2
09U002	Steingr.st	8.7.2009	13:20	0,01	0,63	65	0,0308	639	51,7	14	0,301	<0,1	<0,06	0,046		<0,2
09U003	Steingr.st	8.10.2009	12:50	0,01	0,47	66	0,0641	244	26,5	11	0,252	<0,1	<0,06	0,039		0,407
09U004	Silfra	28.10.2009	12:15	0,03	2,48	63	0,0450				0,697	0,658	2,221	0,044		6,01
09U005	Vellankatla	28.10.2009	13:20	0,01	1,29	51	0,0466				0,846	0,723	3,102	0,030		5,42
09U006	Steingr.st	26.11.2009	12:30	0,01	0,62	67	0,0383	244	23,6	12	0,293		<0,06	0,027		1,51
10U001	Steingr.st	12.5.2010	13:00	0,08	5,49	65	0,067	335	31,1	13	0,300	<0,1	0,037	<0,02	0,39	1,80
10U002	Steingr.st	6.7.2010	13:05	0,01	0,58	65	0,044	180	19,2	11	0,307	<0,1	0,016	0,022	1,26	1,75
10U003	Steingr.st	6.9.2010	13:15	0,00	0,09	64	<0,008	240	30,3	9,2	0,273	<0,1	2,09	0,037	1,48	2,04
10U004	Steingr.st	2.12.2010	12:30	0,01	1,06	63	0,027	317	48,1	7,7	0,358	<0,1	<0,06	0,030	1,90	1,87
10U005	Silfra	20.12.2010	12:30	0,01	0,55	62	0,009				0,794	0,400	2,96	0,034	0,60	4,64
10U006	Vellankatla	20.12.2010	13:40	0,00	0,33	49	0,017				0,862	0,514	3,30	0,038	0,71	4,01
11U001	Steingr.st	14.4.2011	13:17	0,03	1,87	63	0,072	399	34,0	14	0,293	0,259	1,20	0,047	1,11	6,07
11U002	Steingr.st	7.7.2011	13:45	0,02	1,70	62	0,155	637	62,8	12	0,284	0,224	0,61	0,042	1,01	7,85
11U003	Steingr.st	6.10.2011	12:45	0,02	1,30	62	0,063	417	30,8	16	0,257	0,557	0,33	0,045	0,615	8,88
11U004	Silfra	10.10.2011	13:25	0,01	0,92	60	0,075				0,936	0,686	4,52	0,046	0,709	8,86
11U005	Vellankatla	10.10.2011	14:20	0,02	2,01	49	0,068				1,036	0,766	3,32	0,055	0,687	7,30
11U006	Steingr.st	22.11.2011	13:00	0,00	0,29	63	0,030	225	18,6	14	0,303	0,304	0,79	0,054	0,737	10,4

Tafla 2 frh. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra efna, lífræns kolefnis og lífræns níturs í innflæði og útrennsli Þingvallavatns.

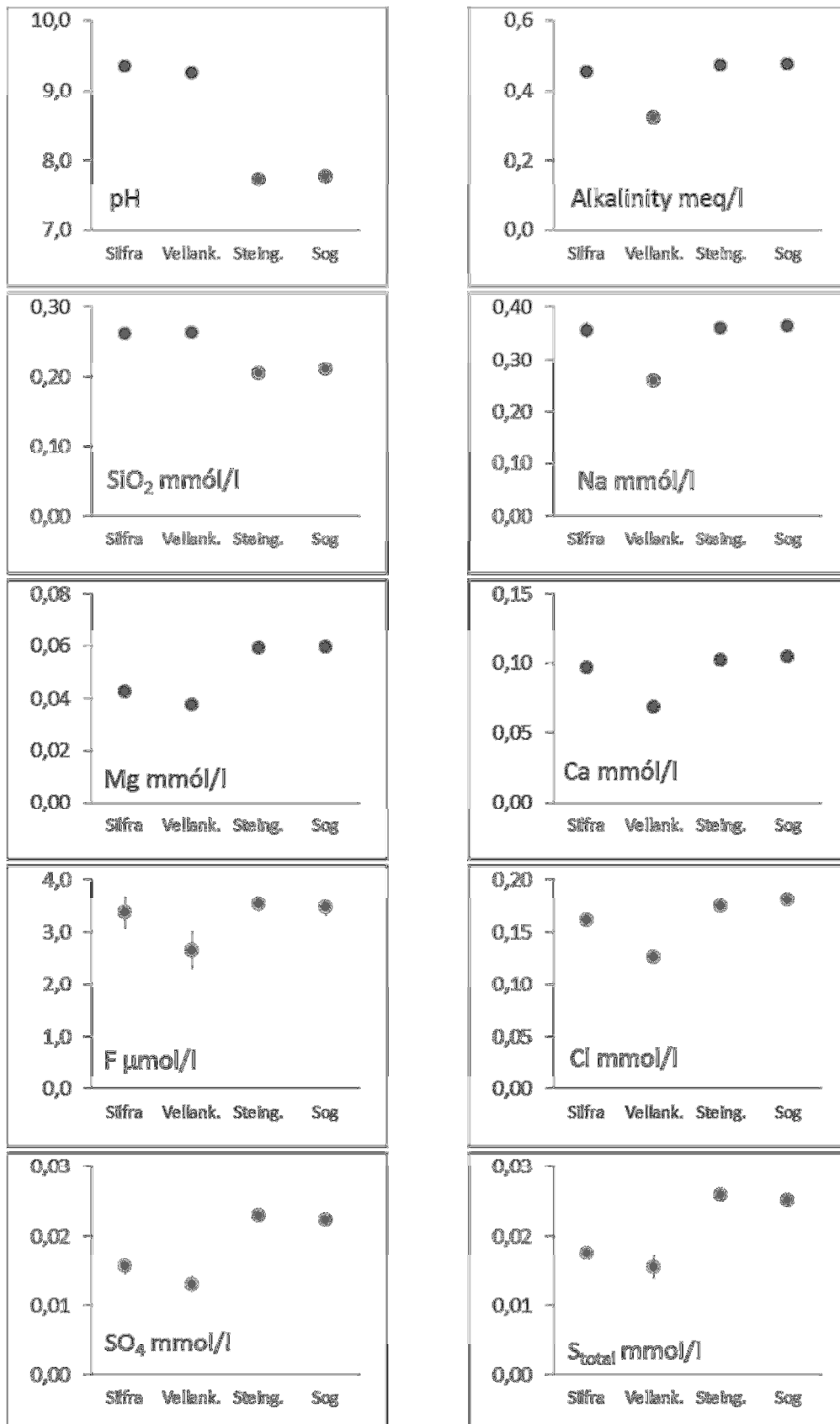
Sýna	Staðsetning	Dags.	Tími	Al	Fe	B	Mn	Sr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Mo	Ti	V
númer				µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007	14:50	0,279	0,052	0,571	0,009	0,056	3,54	22,6	<0,018	<0,085	15,2	<1,57	1,82	0,071	58,6	<0,01	1,70	1,75	0,330
07U002	Steingr.st	19.10.2007	17:05	0,338	0,172	0,628	0,009	0,057	<2,67	65,75	<0,018	<0,085	15,8	2,60	2,15	0,05	211	<0,01	1,52	9,48	0,36
07U003	Silfra	9.7.2007	14:05	1,40	0,009	0,505	<0,001	0,034	<2,67	1,01	<0,018	<0,085	42,1	2,80	1,20	<0,05	4,74	<0,01	1,18	<0,021	0,46
07U004	Vellankatla	8.10.2007	14:05	1,13	<0,007	0,279	<0,001	0,038	<2,67	0,72	<0,018	<0,085	17,5	<1,57	<0,85	<0,05	3,36	<0,01	1,00	1,08	0,41
07U005	Steingr.st	5.12.2007	13:55	0,226	0,050	0,697	0,007	0,057	<1,33	16,97	<0,018	0,11	15,4	2,12	1,59	<0,05	25,7	0,011	1,80	2,78	0,33
08U001	Steingr.st	28.4.2008	14:00	0,328	0,061	0,789	0,003	0,060	1,37	18,35	<0,018	0,12	15,5	2,05	4,46	0,05	30,4	<0,01	1,67	1,23	0,37
08U002	Silfra	31.5.2008	13:55	1,40	0,013	0,718	0,001	0,033	0,92	0,57	<0,018	<0,085	47,1	<1,57	4,55	<0,05	<3,05	<0,01	1,36	0,91	0,49
08U003	Vellankatla	31.5.2008	14:50	1,24	<0,007	0,341	0,001	0,037	<0,67	0,52	<0,018	<0,085	18,0	<1,57	4,46	<0,05	<3,05	<0,01	0,95	0,25	0,47
08U004	Steingr.st	31.5.2008	16:00	0,330	0,057	0,704	0,006	0,056	1,02	13,03	<0,018	0,11	17,3	1,86	4,14	0,06	35,3	<0,01	1,58	0,72	0,37
08U005	Steingr.st	10.9.2008	15:15	0,259	0,190	0,581	0,046	0,058	1,07	8,52	<0,018	0,16	20,2	2,09	3,61	<0,05	64,2	<0,01	1,80	3,84	0,36
08U006	Silfra	17.11.2008	13:30	1,26	<0,007	0,599	0,001	0,039	0,95	6,15	<0,018	<0,085	46,2	2,14	1,59	0,13	11,97	<0,01	1,07	0,56	0,46
08U007	Vellankatla	17.11.2008	14:45	1,15	<0,007	0,327	0,001	0,042	<0,67	0,65	<0,018	0,11	19,4	<1,57	1,42	0,10	5,35	<0,01	0,91	0,96	0,40
08U008	Steingr.st	2.12.2008	16:45	0,246	0,109	0,700	0,005	0,062	0,98	8,01	<0,018	0,13	16,5	2,09	1,24	0,10	105,21	<0,01	1,51	2,05	0,33
09U001	Steingr.st	21.4.2009	14:55	0,397	0,093	0,561	0,005	0,060	<0,67	16,3	<0,018	<0,085	17,3	2,66	0,95	0,11	168	<0,01	1,54	4,76	0,379
09U002	Steingr.st	8.7.2009	13:20	0,423	0,050	0,587	0,006	0,057	1,25	6,90	0,04	<0,085	16,8	2,58	<0,85	0,09	57,7	<0,01	1,51	1,91	0,359
09U003	Steingr.st	8.10.2009	12:50	0,489	0,301	0,547	0,025	0,060	1,06	7,43	0,05	0,34	16,3	1,83	1,59	0,08	49,2	<0,01	1,45	17,69	0,342
09U004	Silfra	28.10.2009	12:15	1,20	0,007	0,493	0,001	0,031	0,77	0,44	<0,018	<0,085	41,0	1,72	<0,85	0,07	13,82	<0,01	0,98	0,67	0,426
09U005	Vellankatla	28.10.2009	13:20	1,14	<0,007	0,268	<0,001	0,035	<0,67	0,50	<0,018	<0,085	17,2	2,85	<0,85	0,08	33,03	<0,01	0,88	2,19	0,418
09U006	Steingr.st	26.11.2009	12:30	0,221	0,072	0,604	0,013	0,056	0,88	7,28	<0,018	0,18	15,1	2,30	<0,85	0,09	189,63	<0,01	1,48	2,23	0,322
10U001	Steingr.st	12.5.2010	13:00	0,315	0,029	0,597	0,005	0,057	0,96	0,31	<0,018	0,10	17,04	1,97	1,82	0,07	7,28	<0,01	1,40	<2,1	0,36
10U002	Steingr.st	6.7.2010	13:05	0,460	0,052	0,616	0,012	0,054	<0,67	14,93	<0,018	0,11	17,96	1,70	<0,85	0,08	224,81	<0,01	1,28	<2,1	0,36
10U003	Steingr.st	6.9.2010	13:15	0,309	0,104	0,586	0,013	0,054	<0,67	8,45	<0,018	0,15	11,44	2,28	1,32	0,11	78,61	<0,01	1,28	2,38	0,35
10U004	Steingr.st	2.12.2010	12:30	0,305	0,124	0,568	0,014	0,055	<0,67	5,69	0,03	0,16	19,62	2,91	1,41	0,11	49,40	<0,01	1,28	3,84	0,38
10U005	Silfra	20.12.2010	12:30	1,390	0,013	0,489	0,003	0,033	0,91	0,64	<0,018	<0,034	46,35	<1,57	0,99	0,08	16,82	<0,01	0,88	0,63	0,49
10U006	Vellankatla	20.12.2010	13:40	1,208	<0,007	0,251	0,003	0,037	<0,67	0,53	<0,018	0,11	21,54	<1,57	1,05	0,09	5,25	<0,01	0,62	0,16	0,44
11U001	Steingr.st	14.4.2011	13:17	0,288	0,048	0,489	0,004	0,060	1,03	0,735	<0,018	<0,034	16,64	2,45	1,02	0,096	10,41	<0,01	1,53	1,68	0,308
11U002	Steingr.st	7.7.2011	13:45	0,374	0,070	1,31	0,009	0,048	1,18	0,779	<0,018	<0,034	20,58	3,10	0,97	0,084	5,95	<0,01	1,76	3,55	0,397
11U003	Steingr.st	6.10.2011	12:45	0,279	0,147	1,37	0,013	0,049	<0,67	1,06	<0,018	0,10	19,23	2,12	1,49	0,084	5,06	<0,01	1,86	2,04	0,365
11U004	Silfra	10.10.2011	13:25	1,63	0,009	1,07	<0,0005	0,025	1,41	0,609	<0,018	<0,034	52,70	<1,57	<0,85	0,082	12,71	<0,01	1,27	0,83	0,510
11U005	Vellankatla	10.10.2011	14:20	1,49	<0,007	0,529	<0,0005	0,030	<0,67	0,572	<0,018	<0,034	23,46	<1,57	<0,85	0,081	5,57	<0,01	0,99	0,31	0,455
11U006	Steingr.st	22.11.2011	13:00	0,296	0,104	0,684	0,007	0,057	<0,67	0,786	<0,018	0,11	17,75	2,31	1,55	0,064	7,05	<0,01	1,64	3,47	0,349



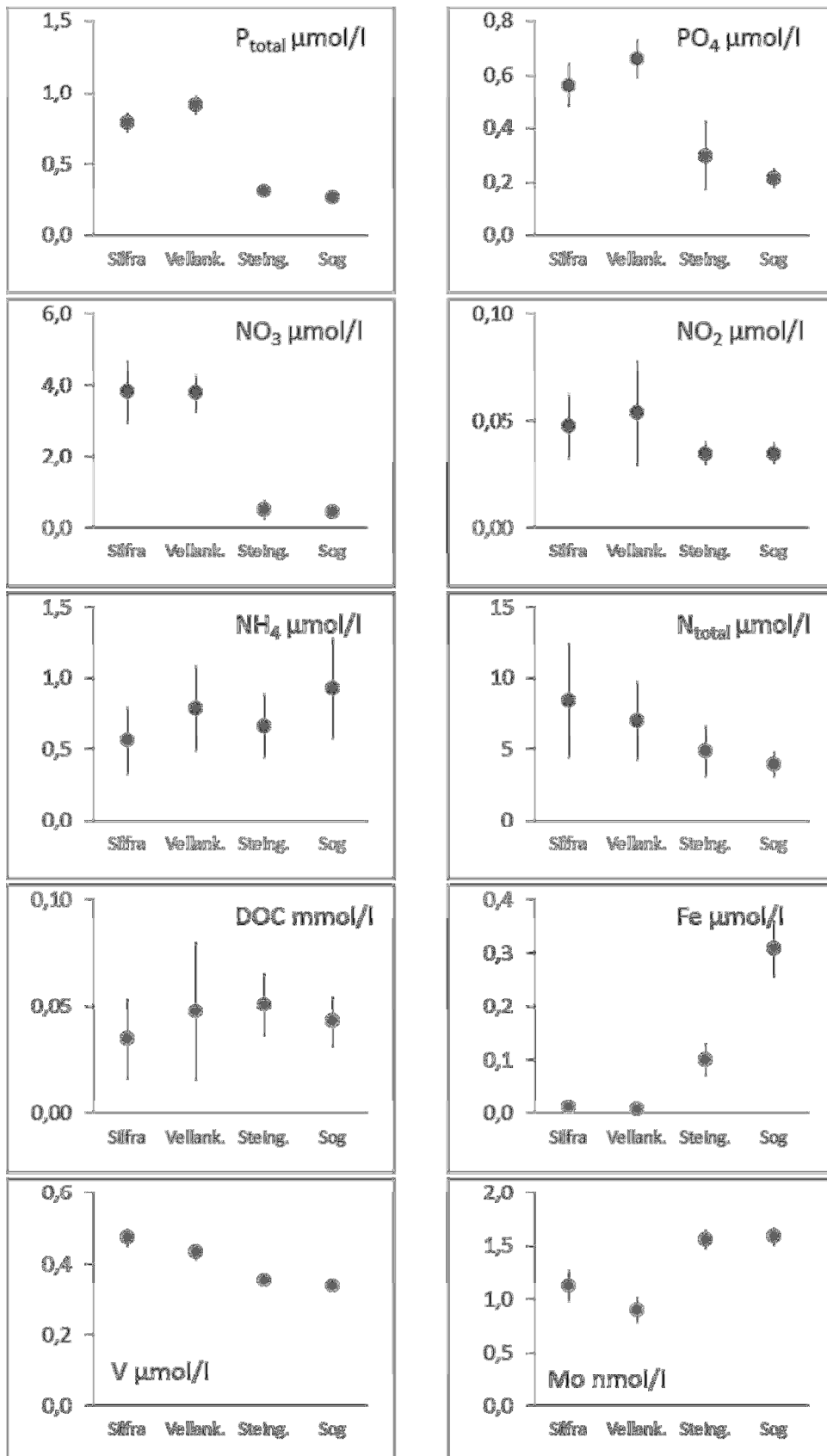
Mynd 5. Árstíðabundnar breytingar á basavirkni (Alk), pH og styrk uppleystra aðal- og næringarefna í inn- og útflæði Þingvallavatns. Blár: útfall úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð, grænn: Silfra, rauður: Vellankatla. Lóðréttu, brotnu línurnar tákna upphaf hvers árs þannig að gildin á milli tveggja lína eru niðurstöður úr sýnum sem safnað var á einu ári. Opnu hringirnir á SO₄ grafinu tákna heildarstyrk S. Lítirnir vísa til söfnunarstaðanna.



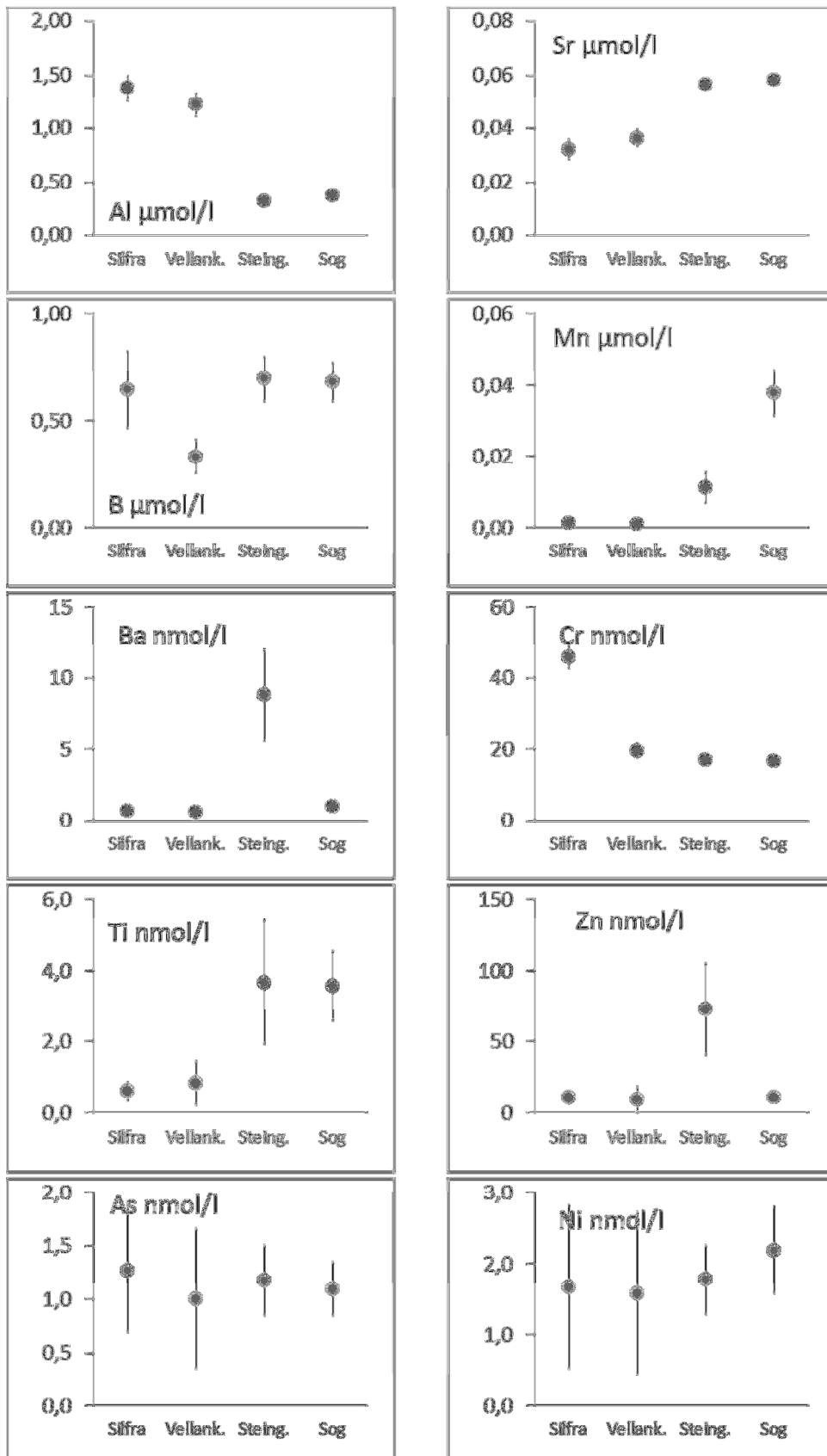
Mynd 6. Árstíðabundnar breytingar í styrk uppleystra snefilefna í inn- og útflæði Þingvallavatns. Blár: útfall úr Þingvallavatni við Steingrimsstöð, grænn: Silfra, rauður: Vellankatla. . Lóðréttu, brotnu línurnar tákna upphaf hvers árs þannig að gildin á milli tveggja lína eru niðurstöður úr sýnum sem safnað var á einu ári.



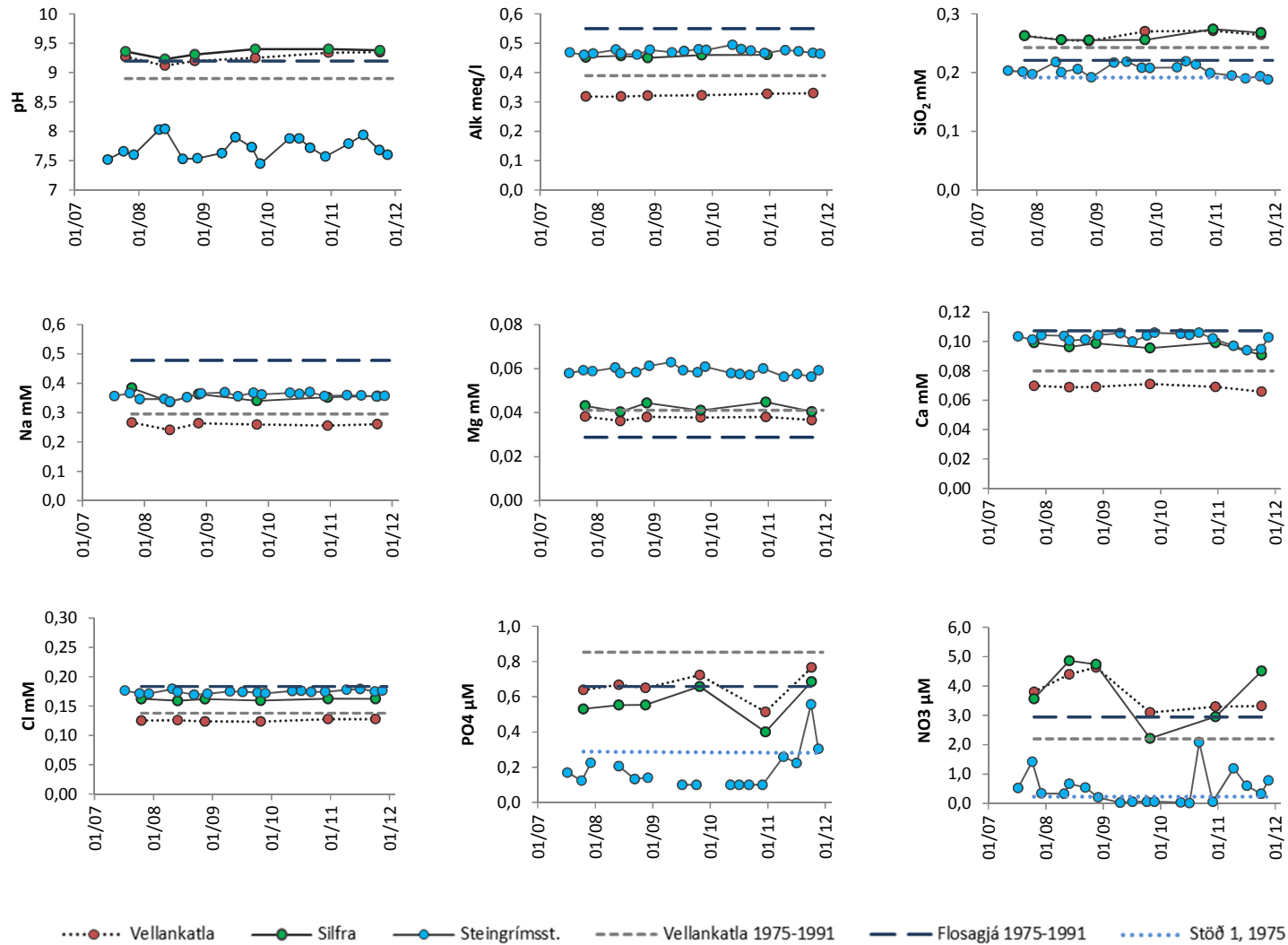
Mynd 7. Meðalstyrkur uppleystra aðalefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Þrastarlund frá 2007 til 2011 eru til samanburðar.



Mynd 8. Meðalstyrkur lífræns kolefnis og uppleystra næringarefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Prastarlund frá 2007 til 2011 eru til samanburðar.



Mynd 9. Meðalstyrkur uppleystra þungmálma og annarra snefilefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Prastarlund frá 2007 til 2011 eru til samanburðar.



Mynd 10. Samanburður á gögnum frá 2007-2011 við gögn sem aflað var á árunum 1975 til 1991 í Þingvallavatni og í lindum sem renna í vatnið (Jón Ólafsson, 1992).

Tafla 3. Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja mælinga.

Efni	Næmi µmól/l	Skekkja hlutfallsleg skekkja	Staðal frávik	ICP- SFMS	ICP- AES	AFS	IC	AA	Raf- skaut	Títrun	Auto analyser
Leiðni		± 1.0									
T°C		± 0,1									
pH		± 0,05							x		
SiO ₂ ICP-AES (RH)	1,66	2,00%	1,8								
SiO ₂ ICP-AES	1	4%			x						
Na ICP-AES (RH)	0,435	3,30%	2,8								
Na ICP-AES	4,35	4%			x						
K Jónaskilja (RH)	1,28	3%									
K ICP-AES (RH)	12,8										
K ICP-AES (SGAB)	10,2	4%			x						
K AA	1,1	4%									
Ca ICP-AES (RH)	0,025	2,60%	1,6								
Ca ICP-AES	2,5	4%			x						
Mg ICP-AES (RH)	0,206	1,60%	1,6								
P-AES (SGAB)	3,7	4%			x						
Alk.		3%								x	
CO ₂		3%					x				
SO ₄ ICP-AES (RH)	10,4	10%	8,2								
SO ₄ HPCL	0,52	5%									
SO ₄ ICP-AES	1,67	15%			x						
Cl	28,2	5%					x				
F	1,05	1,05-1,58 µmól/l ±10% >1,58µmól/l ±3%					x				
P ICP-MS (SGAB)	0,032	3%			x						
P-PO ₄	0,065	0,065-0,484 µmól/l ±1 µmól/l >0,484 µmól/l ±5%									x
N-NO ₂	0,04	0,040-0,214 µmól/l ±0,014 µmól/l >0,214 µmól/l ±5%									x
N-NO ₃	0,143	0,142-0,714 µmól/l ±0,071 µmól/l >0,714 µmól/l ±10%									x
N-NH ₄	0,2	10%									x
Al ICP-AES (RH)	0,371	3,80%	3,2								
B ICP-AES (SGAB)	0,925										
B ICP-MS (SGAB)	0,037			x							
Sr ICP-AES (RH)	0,023	15%									
Sr ICP-MS (SGAB)	0,023	4%			x						
Ti ICP-MS (SGAB)	0,002	4%			x						
Fe ICP-AES (RH)	0,358	12%	15								
Fe ICP-AES (SGAB)	0,143	10%		x							
Mn ICP-AES (RH)	0,109	26%	24								
Mn ICP-MS (SGAB)	0,546	8%		x							
Al ICP-MS (SGAB)	7,412	12%		x							
As ICP-MS (SGAB)	0,667	9%		x							
Cr ICP-MS (SGAB)	0,192	9%		x							
Ba ICP-MS (SGAB)	0,073	6%		x							
Fe ICP-MS (SGAB)	7,162	4%		x							
Co ICP-MS (SGAB)	0,058	8%		x							
Ni ICP-MS (SGAB)	0,852	8%		x							
Cu ICP-MS (SGAB)	1,574	8%		x							
Efni	Næmi µmól/l	Skekkja hlutfallsleg skekkja	Staðal frávik	ICP- SFMS	ICP- AES	AFS	IC	AA	Raf- skaut	Títrun	Auto analyser
Zn ICP-MS (SGAB)	3,059	12%		x							
Mo ICP-MS (SGAB)	0,521	12%		x							
Cd ICP-MS (SGAB)	0,018	9%		x							
Hg ICP-AF (SGAB)	0,01	4%				x					
Pb ICP-MS (SGAB)	0,048	8%		x							
V ICP-MS (SGAB)	0,098	5%		x							
Th ICP-MS (SGAB)	0,039			x							
U ICP-MS (SGAB)	0,002	12%		x							
Sn ICP-MS (SGAB)	0,421	10%		x							
Sb ICP-MS (SGAB)	0,082	15%		x							

ICP-SFMS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
 ICP-AES: Inductively coupled plasma optical emission
 AFS: Atomic Fluoriscence
 IC2000 Ion Chromatograph Dionex 2000
 AA: Atomic adsorption