

# Efnasamsetning Þingvallavatns 2007 – 2010

**RH-07-2011**

Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík.

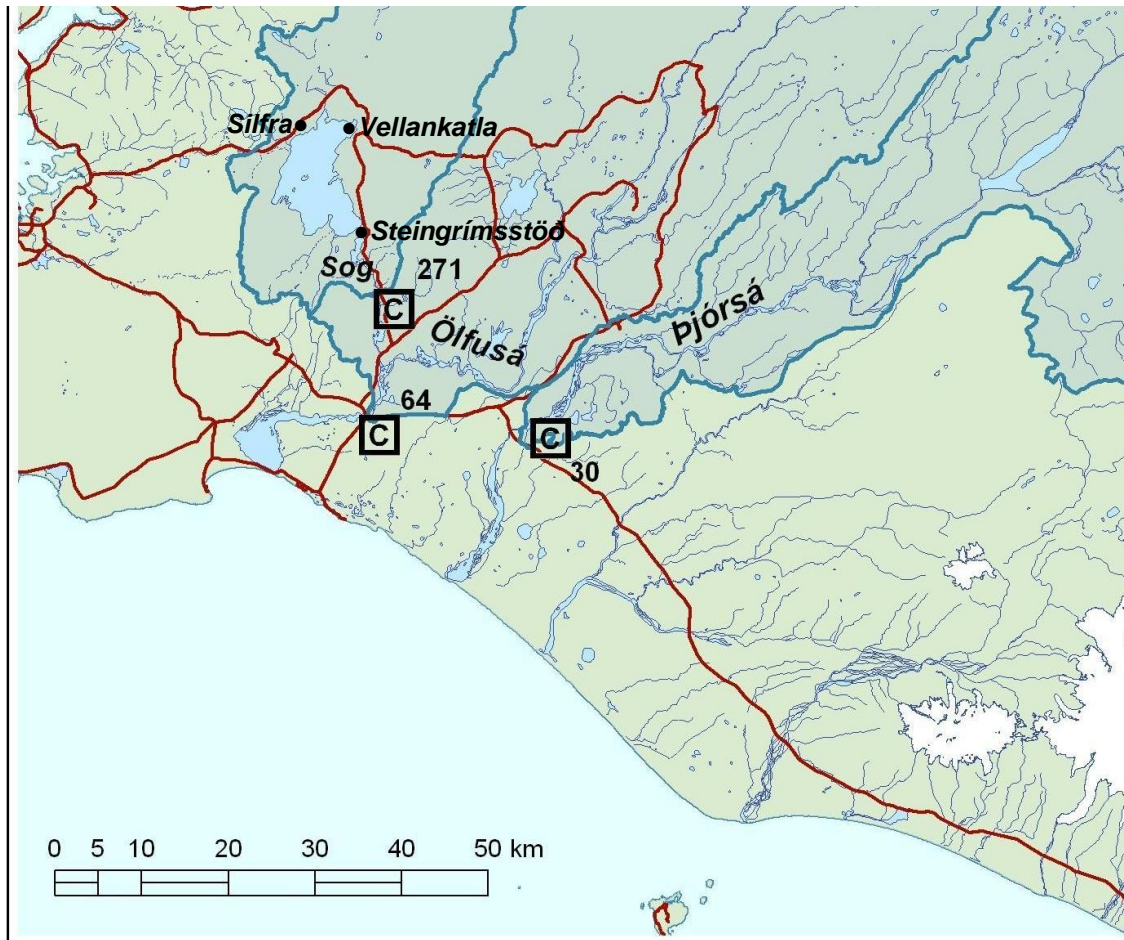


**Mái 2011**



## EFNISYFIRLIT

INNGANGUR	5
AÐFERÐIR	5
Sýnataka	5
Meðhöndlun sýna	6
Efnagreiningar og meðhöndlun sýna á rannsóknarstofu að lokinni söfnun.	6
NÍÐURSTÖÐUR MÆLINGA	7
Sýnataka og efnamælingar	7
Hleðslujafnvægi og hlutfallsleg skekkja í mælingum	9
Árstíðabundnar styrkbreytingar á uppleystum efnum.	10
Meðaltal uppleystra efna í innflæði og útflæði Þingvallavatns	10
ÞAKKARORÐ	13
HEIMILDIR	14
TÖFLUR OG MYNDIR	17



Mynd 1. Staðsetningar sýnatökustaða á Suðurlandi. Hluti vantasviða 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 verkpátt 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 2010. Vatnssýnum var safnað 15 sinnum úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð og fimm sinnum úr lindunum Silfru og Vellankötlu á tímabilinu (Tafla 1). 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. Þessi áfangaskýrsla er fyrst og fremst ætluð til þess að gera grein fyrir aðferðum og niðurstöðum mælinga rannsóknartímabilsins.

## AÐFERÐIR

### Sýnataka

Sýni til rannsókna á uppleystum efnum voru tekin úr Þingvallavatni af stíflu við Steingrímsstöð og úr lindunum Silfru og Vellankötlu. 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 Vellankötlu var dælt beint úr lindunum af um hálfis til eins metradýpi, í gegnum síur og í sýnaflöskur eins og lýst er í næsta kafla. Reyndar var ekki tekið beint úr Vellankötlu, 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 stöðuvatninu.

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.

Sýnum til mælinga á lífrænum aurburði var ekki safnað úr lindunum. Flöskurnar voru merktar að utan, en ekki með pappírsmarki inni í flöskuhálsinum eins og tíðkast fyrir ólífrænan aurburð.

### Meðhöndlun sýna við söfnun

Áður en sýni sem safnað var við Steingrímsstöð var meðhöndlað 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  $\mu\text{m}$  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;  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ . Sýnin til mælinga á  $\text{NH}_4$ , voru sýrð með 0,5 ml af þynntri (1/100) brennisteinssýru. 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 Raunvísindastofnun, 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  $\text{NO}_2$ , og  $\text{NH}_4$  voru efnagreind með sjálfvirkum litrófsmæli Jarðvísindastofnunar („autoanalyzer“). Heildarmagn af uppleystu nitri,  $\text{N}_{\text{tot}}$ , var mælt með jónaskilju (IC2000) sem og styrkur fosfórs ( $\text{PO}_4$ ). Á árinu 2010 var einnig farið að mæla styrk  $\text{NO}_3$  með jónaskilju (sýni frá árinu 2009) en áður höfðu þau sýni einnig verið mæld með litrófsmæli.

Sýni til næringarsaltgreininga voru tekin úr frysti og látin standa við stofuhita nóttina fyrir efnagreiningu þannig að þau bráðnuðu að fullu. Sýni til mælinga á  $\text{N}_{\text{tot}}$  voru geisluð í kísilstautum í útfjólubláu ljósi til að brjóta niður lífrænt efni í sýnunum. Fyrir geislun voru settir 0,17  $\mu\text{l}$  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  $\text{H}^+$  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, því geislunin hefur mest áhrif á pH gildi þess.

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 seytila 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 seytilað 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 ( $\text{SO}_4$ ).

## NIDURSTÖÐUR MÆLINGA

### Sýnataka og efnamælingar

Niðurstöður mælinga sem búið er að framkvæma eru sýndar í Töflum 1 og 2 og á myndum 1 til 3. Meðaltal mælinga fyrir vatnsföllin er sýnt í Töflu 1 og niðurstöður mælinga á einstökum sýnum í Töflu 2. Meðalstyrkur uppleystra efna í Silfru, Vellankötlu, Þingvallavatni við Steingrímsstöð og úr Sogi við Þrastarlund (Eydís

Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011) er svo sýndur á myndum 1 til 3 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 3 – 6). Styrkur uppleystra aðalefna er gefinn í millimólum í lítra vatns (mmól/l), styrkur snefilefna sem míkromól (µmól/l) eða nanómól í lítra vatns (nmól/l). Basavirkni, skammstöfuð Alk („Alkalinity“) í Töflum 1, 3, - 6, er gefin upp sem „milliequivalent“ í kílógrammi vatns. Heildarmagn uppleysts ólífræns kolefnis (Dissolved Inorganic Carbon, DIC) er gefið sem millimól C í hverju kg vatns í Töflum 1, 3 - 6. 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.

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

$K_1$  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 (Töflur 1, 3, 4, 5 og 6). 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 hærri 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  $0,45 \mu m$  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 ( $Na_2CO_3NaHCO_3$ ). 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 (Töflur 3-6). 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).

$$Hleðslujafnvægi = \quad (3)$$

$$\text{—————} \quad (4)$$

Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar í Töflu 3 og fyrir tímabilið 2007 til 2010 fyrir þau vatnsföll sem við á í Töflum 4 til 6. 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 3 og 4). Styrkur uppleystra aðalefna var yfirleitt lægri í Vellankötlun en í Silfru, nema kísill ( $\text{SiO}_2$ ) sem var eins á báðum stöðum. Einnig voru pH gildi og basavirkni (Alkalinity) örlítið lægri í Vellankötlun. 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. Styrkur  $\text{SiO}_2$  var lægri við Steingrímsstöð en í lindunum og styrkur  $\text{SO}_4$ , Mg og Cl var hærri. Styrkur annarra aðalefna féll saman við styrk þeirra í Silfru.

Næringarsöltin  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$  og  $\text{P}_{\text{total}}$  voru lægri í útfallinu en í lindunum sem stafar af næringarefnanámi ljóstillífanði lífvera í vatninu. Styrkur N total var hins óreglulegri (mynd 2).

Styrkur snefilefna breyttist óreglulega yfir árið (mynd 4). Ekki var að sjá neina árstíðabundna sveiflu nema helst í styrk Al og V, sem jókst yfir sumarið, þegar pH-gildi vatnsins var hæst. Vensl pH við V og Al voru töluverð. Styrkur snefilefnanna Fe, Mn, Sr, Ba, Zn 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 Vellankötlun og við Steingrímsstöð en mun hærri í Silfru.

### Meðaltal uppleystra efna í innflæði og útflæði Þingvallavatns

Meðalstyrkur uppleystra efna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð og í lindunum Silfru og Vellankötlun er að finna í Töflu 1 og á myndum 4-6 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 2010). 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 Vellankötlun og lindum tengdum henni í Vatnsvík. Það er því ekki að undra að styrkur uppleystra aðalefna í Silfru og í útfallinu við Steingrímsstöð sé oft svipaður.

Gildi pH í lindunum er hátt, 9,2 og 9,3, sem er dæmigert fyrir lindavatn á basaltsvæðum sem er einangrað frá andrúmsloftinu. Gildi pH í útfalli Þingvallavatns er lægra, eða um 7,7, og 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 Vellankötlun (Tafla 1). Styrkur aðalefnanna Na, Mg, Ca,  $\text{SO}_4$  og Cl var hærri í Silfru en í Vellankötlun þar liggur munurinn á styrk TDS í lindunum tveimur. Styrkur  $\text{SiO}_2$  í lindunum var hærri en í Þingvallavatni sem bendir til kísilnáms

kísilþörungum í vatninu. Meðalstyrkur kísils við Steingrímsstöð var svipaður meðalstyrk kísils í Sogi við Þrastarlund frá tímabilinu 1997 – 2009. 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 SiO<sub>2</sub> 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 styrkukning hefur ekki verið skýrð en samanburður við eldri kísilgögn úr Þingvallavatni (Jón Ólafsson 1992) bendir til að styrkur kísils í Þingvallavatni hafi hækkað (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011). Styrkur klórs og brennisteins og magnesíums var hærri við útfallið en í lindunum sem bendir til ákomu þessara efna í vatnið, líklega með úrkomu. Meðalstyrkur klórs við Steingrímsstöð var um 8% hærra 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 er styrkur og hlutföll næringarefna í vatninu tíundaður. Næringarefnin fosfór og nitur eru nauðsynlegur þáttur í ljóstillífum þörungum. Heildarstyrkur fosfórs (P<sub>total</sub>) og ólífræns fosfórs (PO<sub>4</sub>) í lindunum var hærri en við Steingrímsstöð (mynd 6). Ólífrænn fosfór (DIP) var 3-6 sinnum hærri en lífrænn fosfór (DOP) (Tafla 1). Næringarefnið nitur (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> og N<sub>total</sub>) var einnig í hærri styrk í lindunum en við útfallið og var hluti ólífrænna og lífrænna nitursambanda svipaður í Silfru (DIN/DON~1), ólífræn nitursambönd voru um 2 sinnum hærri en lífræn í Vellankötlum og í útfallinu var tæplega helmingur nitursambanda á ólífrænu formi (DIN/DON ~0,45; Tafla 1). Þessar niðurstöður endurspeglar næringarefnaþám 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. Á mynd 3 má einnig sjá meðalstyrk málmana Fe, V, og Mo sem eru nauðsynlegir við ljóstillífun.

Mynd 7 sýnir styrk 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 óáreið 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 40% tilfella, As í sýnum úr Vellankötlunni voru í öllum tilfellum undir greiningarmörkum og eitt sýni af fimm úr Silfrunni voru undir greiningarmörkum. Þar sem sýni mældust undir greiningarmörkum voru tölugildi mælinganna notuð við reikningana á meðalstyrk. Samanburður á meðalstyrk As, sem reiknaður er út frá mælanlegum gildum, bendir til að As sé lítillega hærra í útfallinu við Steingrímsstöð en í Silfrunni (mynd 4) en ekki er tölfræðilega marktækur munur á niðurstöðunum.

Meðalstyrkur málma var yfirleitt hærri í Silfrunni en í Vellankötlunni, sérstaklega styrkur Cr. 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 (10 krónu peningur er 98% nikkell og 2% járn og 50 og 100 krónu myntirnar eru 70% kopar, 24% sink og 6% nikkell) (Egill Skúlason, 2005). 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 7) á meðan Cr styrkur er langhæstur í Silfrunni.

### Samanburður við eldri gögn úr Þingvallavatni.

Árin 1975-1991 fór fram viðamikil rannsókn á Þingvallavatni (Jón Ólafsson, 1992). Á mynd 8 hafa meðaltalsgögn úr þeirri rannsókn verið sett inn á tímaraðir úr núverandi rannsókn, þar sem sambærileg gögn voru til staðar.

Flosagjá er í sömu sprungurein og Silfrunni, aðeins ofar á vatnasviðinu, og er hér tekin til samanburðar við Silfrunni. Meðalgildi pH, Cl, Ca, PO<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub> í Flosagjá 1975 var sambærilegur þeim í Silfrunni 2007-2010, alkalinity og Na voru hærri í Flosagjá og SiO<sub>2</sub> og Mg voru lægri.

Árið 1975 var safnað beint úr Vellankötlunni (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 Silfrunni 2007-2010 og úr útfallinu, sem bendir til blöndunnar á þessum tveimur uppsprettum.

Árið 1981 var sýnum safnað um 1 km norður af Sandey, og var styrkur næringarefna mældur í þeim. Safnað var á mismunandi dýpi, 1, 6, 15 og 40 m dýpi og á mynd 8 er meðalstyrkur næringarefnanna PO<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub> úr sýnum sem tekin voru á 1 m dýpi sett inn í tímaraðirnar til samanburðar við sýnin sem tekin voru við Steingrímsstöð í

núverandi rannsókn. Þær niðurstöður eru sambærilegar við niðurstöður mælinga á  $\text{PO}_4$  og  $\text{NO}_3$  í núverandi rannsókn.

### Ákoma á vatnasviði Þingvallavatns

Ákoma uppleystra efna hefur verið mæld á Mjóanesi sem er á austanverðri strönd Þingvallavatns (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2010). Þar er sérstaklega verið að athuga ákomu köfnunarefnis á vatnasvið Þingvallavatns með tilkomu Gjábackavegar. 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  $83 \text{ km}^2$  (Hákon Aðalsteinsson o.fl 1992). Notuð eru gögn um efnasamsetningu úrkomu frá Mjóanesi (miðgildi  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  og  $\text{NH}_4$ ) (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2010) 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 (töflur 1 og 2) og rennsli lindanna (Jón Ólafsson, 1992). Það kemur í ljós að Silfra ber fram 67% af  $\text{NH}_4$ , 72% af  $\text{NO}_2$  og 74% af  $\text{NO}_3$  en Vellankatla á 32%, 28% og 25% af heildarframburði köfnunarefnis í Þingvallavatn. Úrkoma skilar 0,7% af  $\text{NH}_4$ , 0,05% af  $\text{NO}_3$  og 0,08% af  $\text{NO}_2$  inn í Þingvallavatn miðað við ofangreindar forsendur. Samanburður við  $\text{NO}_3$  gögn frá rannsókninni sem gerð var 1975 (Jón Ólafsson 1992) sýnir svipaðar niðurstöður, mest kemur inn með Flosagjá (sambærilegt við Silfru), ~72%, þá með Vellankötlu, ~19%. Restin kemur inn með hinum ýmsu litlu lindum, ~4%, og yfirborðsvatni, ~5%, og úrkomu ~0,065%.

### **ÞAKKARORÐ**

Umhverfisráðuneytið, Orkuveita Reykjavíkur, Þjóðgarðurinn á Þingvöllum og Landsvirkjun kostuðu rannsóknina og hafa fulltrúar hennar sýnt verkefninu mikinn áhuga og stuðning.

## HEIMILDIR

- Bergur Sigfusson, Sigurdur R. Gíslason, Andrew A. Meharg 2011. A field and reactive transport model study of arsenic in a basaltic rock aquifer. *Applied Geochemistry*, 26, bls. 553-564
- Egill Skúlason, 2005. Rafeindasmásjárskoðun á Iðntæknistofnun, eðlisefnafræði 5. Háskóli Íslands, 8 bls. [www.hi.is/~egillsk/stuff/ee5/raf.doc](http://www.hi.is/~egillsk/stuff/ee5/raf.doc)
- Eydís Salome Eiríksdóttir 2010. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008 – 2009, RH-13-2010, Jarðvísindastofnun Háskólans, 22 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Jórunn Harðardóttir, Kristjana G. Eyþórsdóttir og Svava Björk Þorláksdóttir, Peter Torssander, 2011. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XIV. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar, RH-05-2011, 52 bls
- 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.
- 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
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., (1999) User's guide to PHREEQC (Version 2)—a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S.G.S. Water-Resources. Inv. Report 99-4259.
- Plummer, N.L., og Busenberg, E. 1982. The solubility of calcite, aragonite and vaterite in CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O solutions between 0 and 90°C, and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 1011-1040.
- Roig B., Gonzalez C., Thomas O. 1999. Measurement of dissolved total nitrogen in wastewater by UV photooxidation with peroxodisulphate. *Analytica Chimica Acta* 389, 267-274.
- Sigurður R. Gíslason S. R og Eydís S. Eiríksdóttir E. S. 2004. Molybdenum control of primary production in the terrestrial environment. Í; *Water-Rock Interactions* (Wanty R. B. and Seal II R. R., ritsj.), 1119-1122. Taylor & Francis Group, London.
- Sigurður R. Gíslason, Jón Ólafsson og Árni Snorrason 1997a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi. Gagnagrunnur

- Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnunarskýrsla, RH-25-97, 28 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Jón Ólafsson, Árni Snorrason, Ingvi Gunnarsson og Snorri Zóphóníasson 1998f. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, II. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknarstofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-20-98, 39 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Sverrir Óskar Elefsen, Ásgeir Gunnarsson og Peter Torssander 2000a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, III . Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnnunar. Raunvísindastofnun, RH-13-2000, 32 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Sverrir Óskar Elefsen, Ásgeir Gunnarsson og Peter Torssander 2001. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, IV . Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnnunar. Raunvísindastofnun, RH-13-2000, 36 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, og Peter Torssander 2002a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, V. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, RH-12-2002, 36 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason , Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, og Peter Torssander 2003a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, VI. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnnunar. Raunvísindastofnun, RH-03-2003, 85 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason , Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, Einar Örn Hreinsson og Peter Torssander 2004. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, VII. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnnunar. Raunvísindastofnun, RH-06-2004, 40 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Guðmundur Bjarki Ingvarsson, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, Bjarni Kristinsson, Svava Björk Þorláksdóttir og Peter Torssander 2005. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi VIII. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, Reykjavík, Iceland, RH-11-2005, 46 p.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Guðmundur Bjarki Ingvarsson, Luiz Gabriel Quinn Camargo, Eydís Salome Eiríksdóttir, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir og Peter Torssander 2006a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi IX. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. RH-05-2006.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Guðmundur Bjarki Ingvarsson, Luiz Gabriel Quinn Camargo, Eydís Salome Eiríksdóttir, Jórunn Harðardóttir,

- Kristjana G. Eyþórsdóttir og Svava Björk Þorláksdóttir 2007. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi X. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. RH-12-2007, 52 bls.
- 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 Willey. 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 2010.

Vatnsfall	n	Rennsli m <sup>3</sup> /sek	Vatns- hiti °C	Loft- hiti °C	pH	Leiðni µS/sm	SiO <sub>2</sub> mmól/l	Na mmól/l	K mmól/l	Ca mmól/l	Mg mmól/l	Alkalinity meq/kg (a)	DIC mmól/l	SO <sub>4</sub> mmól/l ICP-AES	SO <sub>4</sub> mmól/l I.C.	δ <sup>34</sup> S ‰ (b)	Cl mmól/l I.C.	F µmól/l I.C.	TDS mg/l reiknað
<b>Silfra 2007-2010</b>	5	3,38	5,64	9,34	69,4	0,261	0,356	0,012	0,098	0,043	0,456	0,431	0,017	0,015	8,60	0,174	3,52	64,0	
<b>Vellankatla 2007-2010</b>	5	2,80	4,20	9,24	51,7	0,263	0,258	0,0114	0,070	0,070	0,322	0,292	0,015	0,013	9,12	0,125	2,68	49,1	
<b>Steingrímsst. 2007-2010</b>	15	6,51	7,75	7,71	71,46	0,208	0,359	0,0160	0,104	0,059	0,473	0,479	0,026	0,022		0,173	3,66	63	
<b>Heimsmeðaltal</b>						0,173	0,224	0,033	0,334	0,138		0,853	0,090	0,090		0,162	5,26	100	

Vatnsfall	DOC mmól/l	POC µg/kg	PON µg/kg	C/N	Svifaur mg/l	P <sub>total</sub> µmól/l	DIP PO <sub>4</sub> -P µmól/l	DOP P <sub>tot</sub> -DIP µmól/l	DIP/ DOP	TDN N <sub>total</sub> µmól/l	NO <sub>3</sub> -N µmól/l	NO <sub>2</sub> -N µmól/l	NH <sub>4</sub> -N µmól/l	DIN µmól/l	DON µmól/l	DIN/ DON
<b>Silfra 2007-2010</b>	5	0,026				0,759	0,539	0,220	3,45	8,40	3,67	0,0048	0,533	4,25	4,11	1,03
<b>Vellankatla 2007-2010</b>	5	<0,043				0,892	0,639	0,253	3,53	6,95	3,85	<0,059	0,812	4,72	>2,23	>2,12
<b>Steingrímsst. 2007-2010</b>	15	0,042	461	41,2	11,6	0,318	<0,271	0,047	6,48	3,89	0,566	<0,032	0,612	1,12	>2,68	>0,45
<b>Heimsmeðaltal</b>						0,323			0,67		7,14	0,065	1,14	8,57	18,60	0,46

Vatnsfall	Al µmól/l	Fe µmól/l	B µmól/l	Mn µmól/l	Sr µmól/l	As nmól/l	Ba nmól/l	Cd nmól/l	Co nmól/l	Cr nmól/l	Cu nmól/l	Ni nmól/l	Pb nmól/l	Zn nmól/l	Hg nmól/l	Mo nmól/l	Ti nmól/l	V µmól/l	
<b>Silfra 2007-2010</b>	5	1,33	<0,01	0,56	<0,001	0,034	<1,24	0,668	<0,02	<0,08	44,5	<1,96	1,84	<0,08	<10,8	<0,01	1,09	<0,56	0,465
<b>Vellankatla 2007-2010</b>	5	1,17	<0,0070	0,293	<0,001	0,0380	<1,07	0,584	<0,018	<0,094	18,7	<1,83	<1,73	<0,074	<10,0	<0,01	0,88	0,93	0,428
<b>Steingrímsst. 2007-2010</b>	15	0,328	0,101	0,622	0,012	0,057	<1,26	11,06	<0,022	<0,134	16,50	<2,17	<1,91	<0,079	90,4	<0,010	1,51	3,93	0,354
<b>Heimsmeðaltal</b>		1,85	0,716		1,85	0,716												209	

(a) Alkalinity eða basavirkni, (b) aðeins ein mæling á δ<sup>34</sup>S frá 2007

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

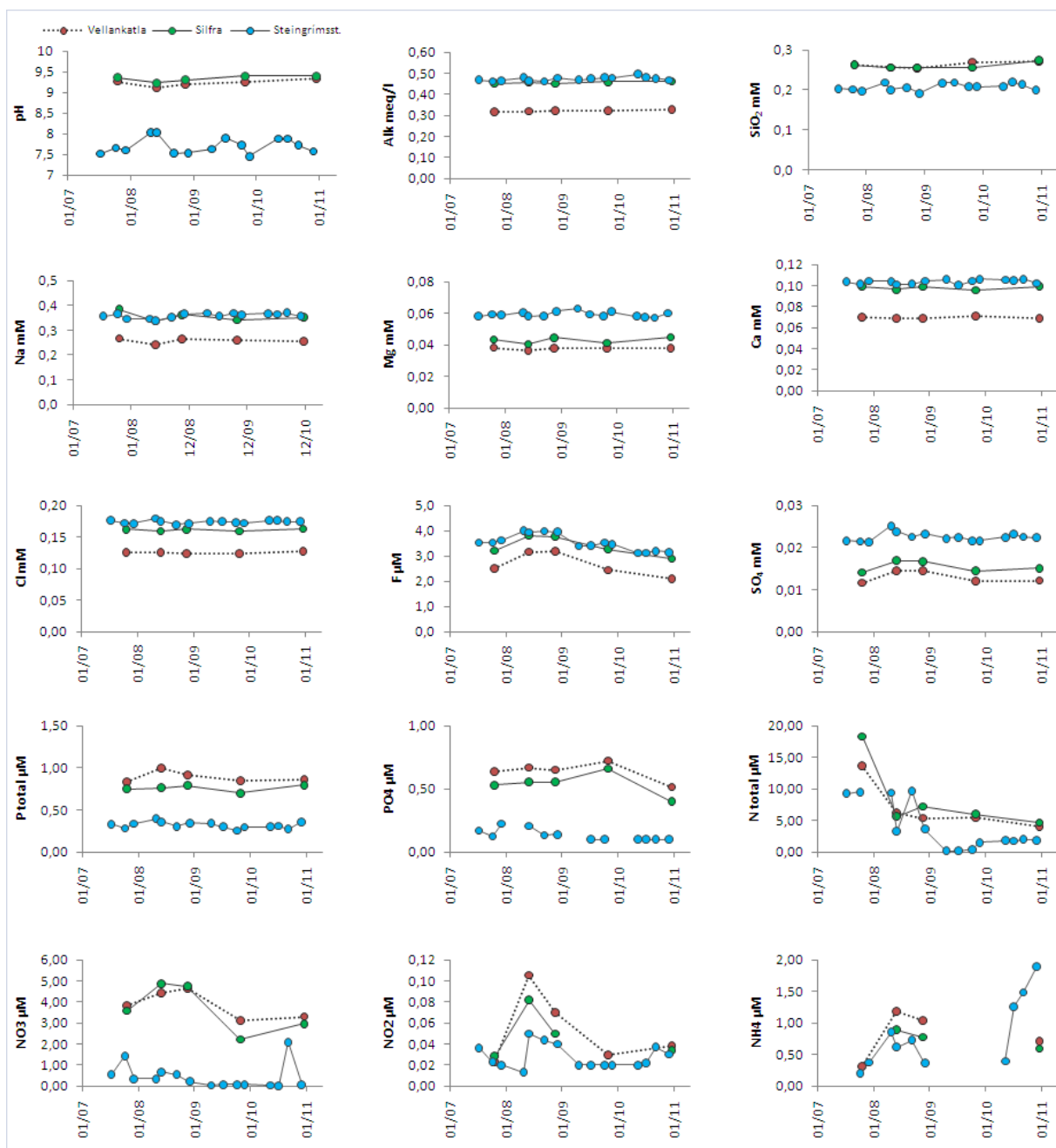
Sýna númer	Staðsetning	Dags. Tími	Vatns- hiti °C	Loft- hiti °C	pH	T °C (pH/leiðni)	Leiðni µS/sm	SiO <sub>2</sub> mmól/l	Na mmól/l	K mmól/l	Ca mmól/l	Mg mmól/l	Alk (a) meq./kg	DIC mmól/l	S <sub>total</sub> mmól/l	SO <sub>4</sub> mmól/l	δ <sup>34</sup> S ‰	Cl mmól/l	F µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007 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		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		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		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		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		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		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		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		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		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		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

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

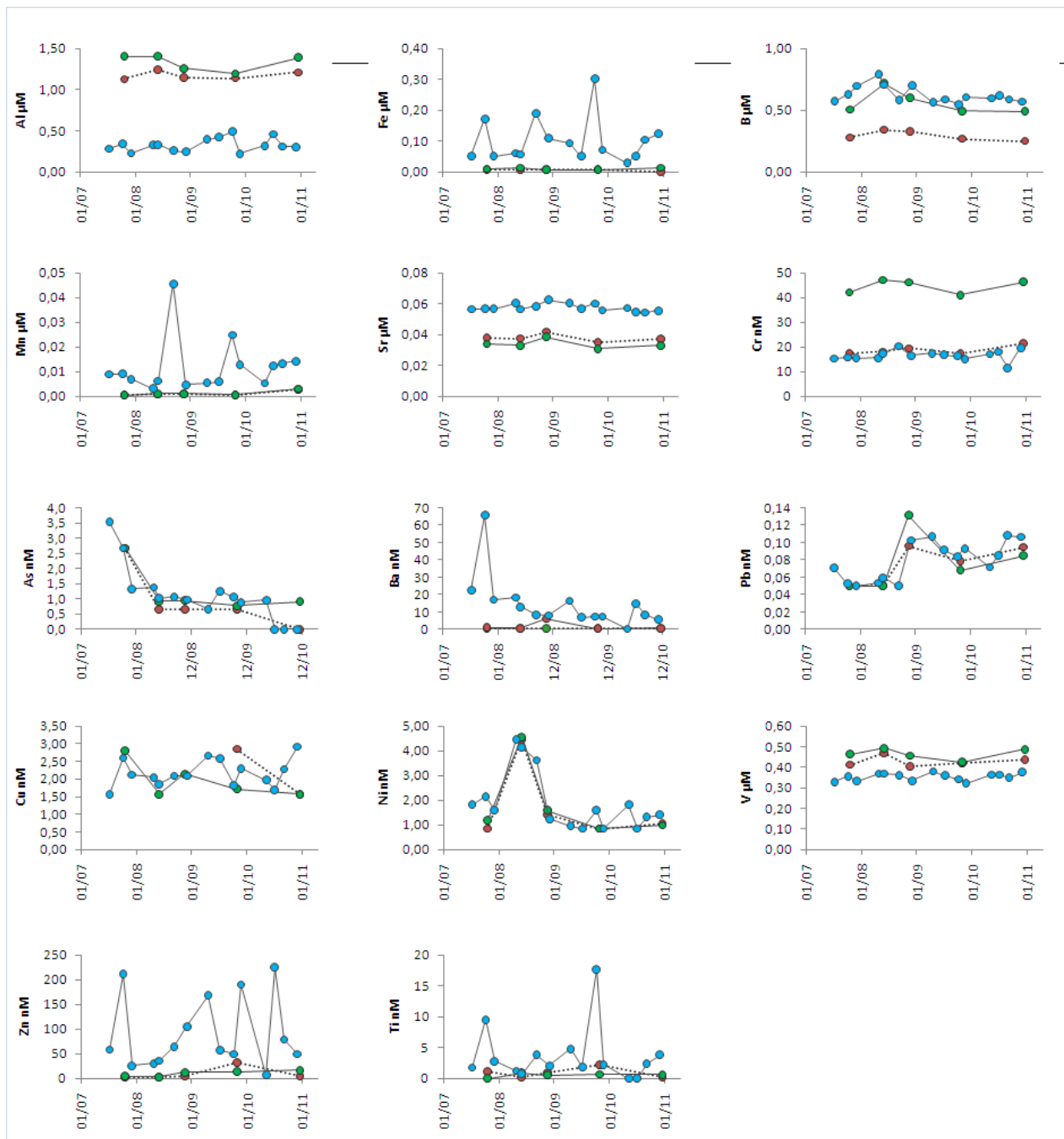
Sýna númer	Staðsetning	Dags. Tími	Hleðslu- jafnvægi	% skekkja	TDS <sub>reiknað</sub> mg/kg	DOC mmól/l	POC µg/kg	PON µg/kg	C/N	P µmól/l	PO <sub>4</sub> -P µmól/l	NO <sub>3</sub> -N µmól/l	NO <sub>2</sub> -N µmól/l	NH <sub>4</sub> -N µmól/l	N <sub>tot</sub> µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007 14:50	0,00	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

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

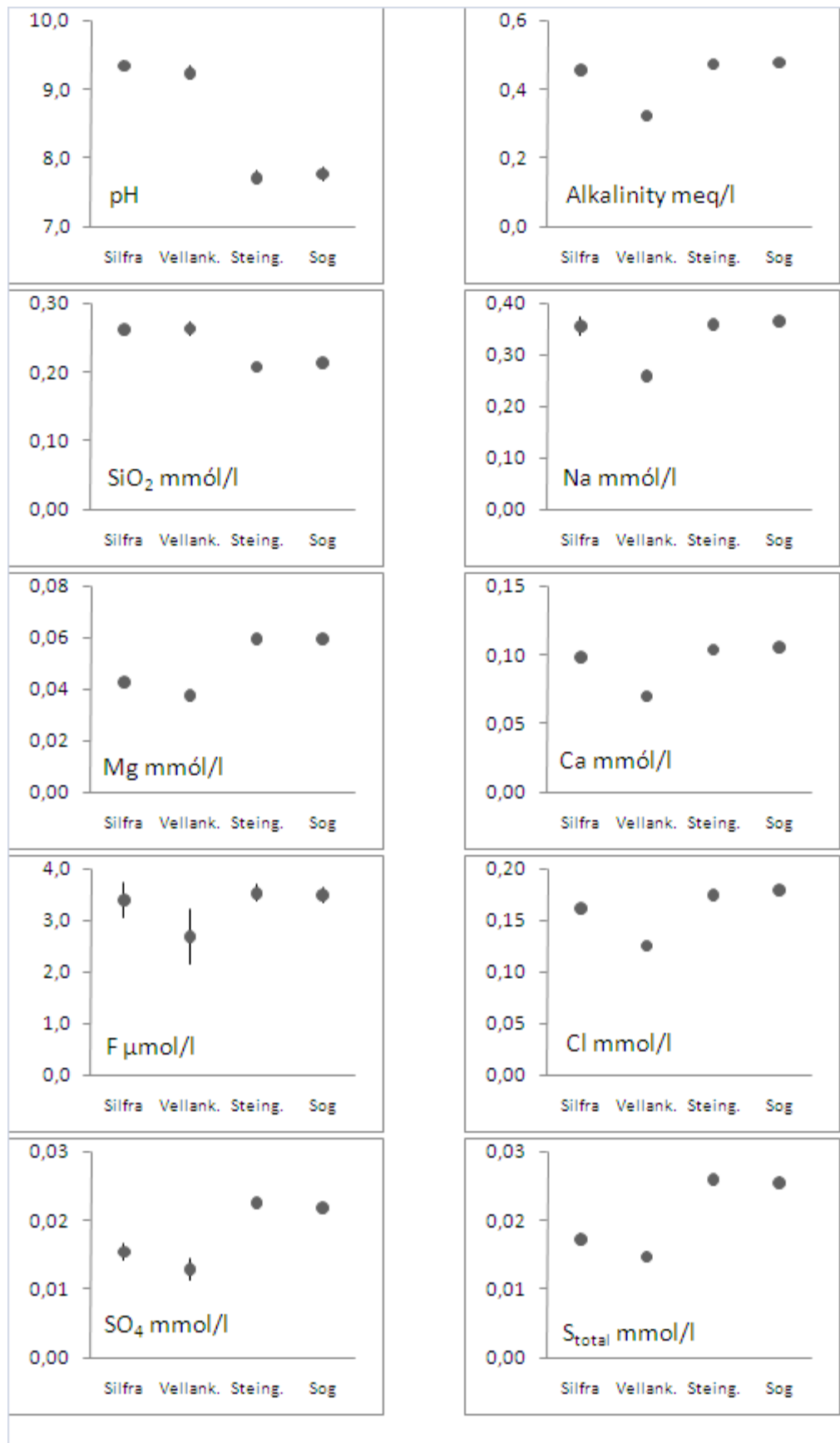
Sýna númer	Staðsetning	Dags. Tími	Al	Fe	B	Mn	Sr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Mo	Ti	V
			µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	nmól/l	µmól/l
07U001	Steingr.st	19.10.2007 14:50	0,279	0,052	0,571	0,009	0,056	3,54	22,6	<0,018	<0,085	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



Mynd 3. Árstíðabundnar breytingar á basavirkni (Alk), pH og styrk uppleystra aðal- og næringarefna í inn- og útlæði Þingvallavatns.

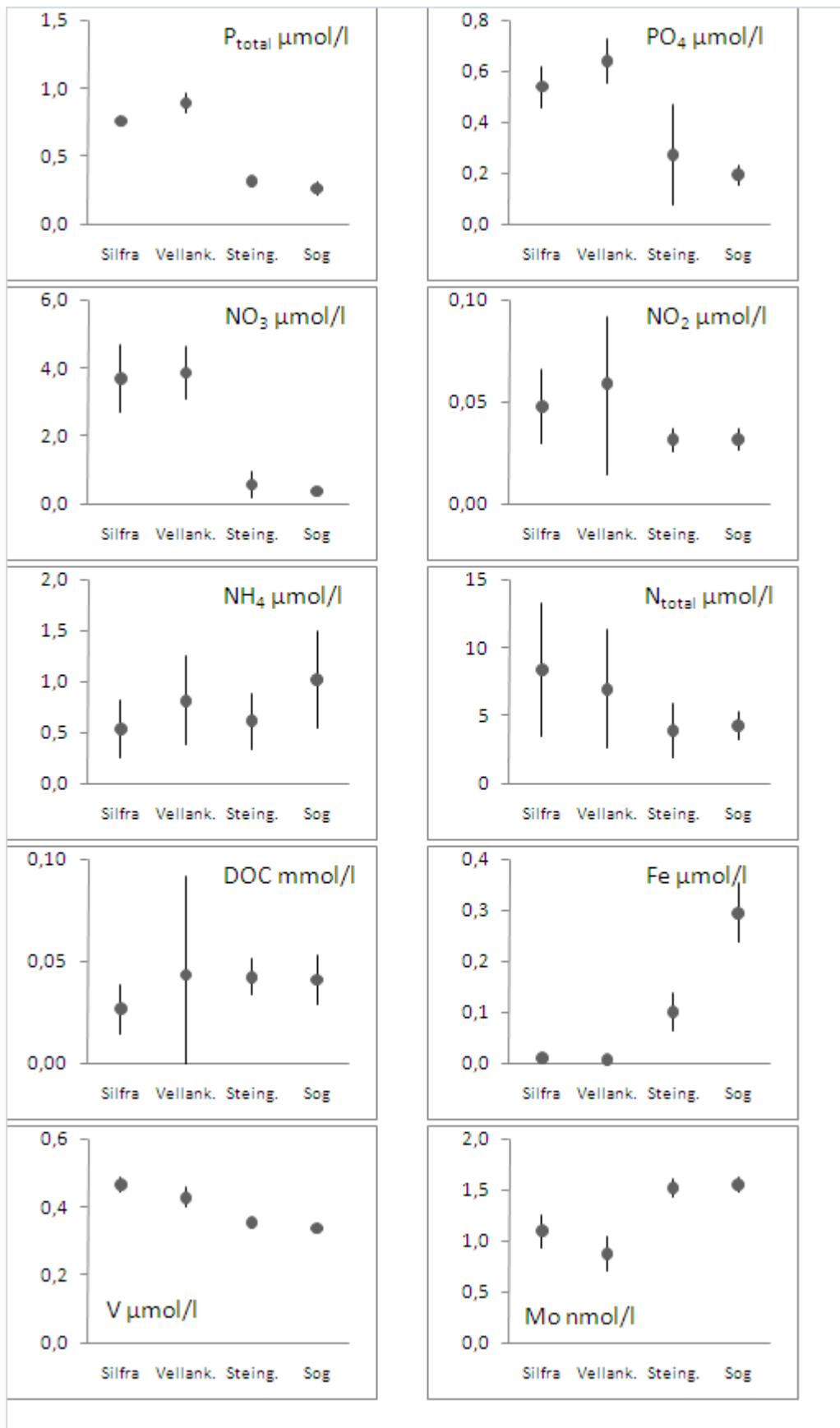


Mynd 4. Árstíðabundnar breytingar í styrk uppleystra snefilefna í inn- og útlæði Þingvallavatns.

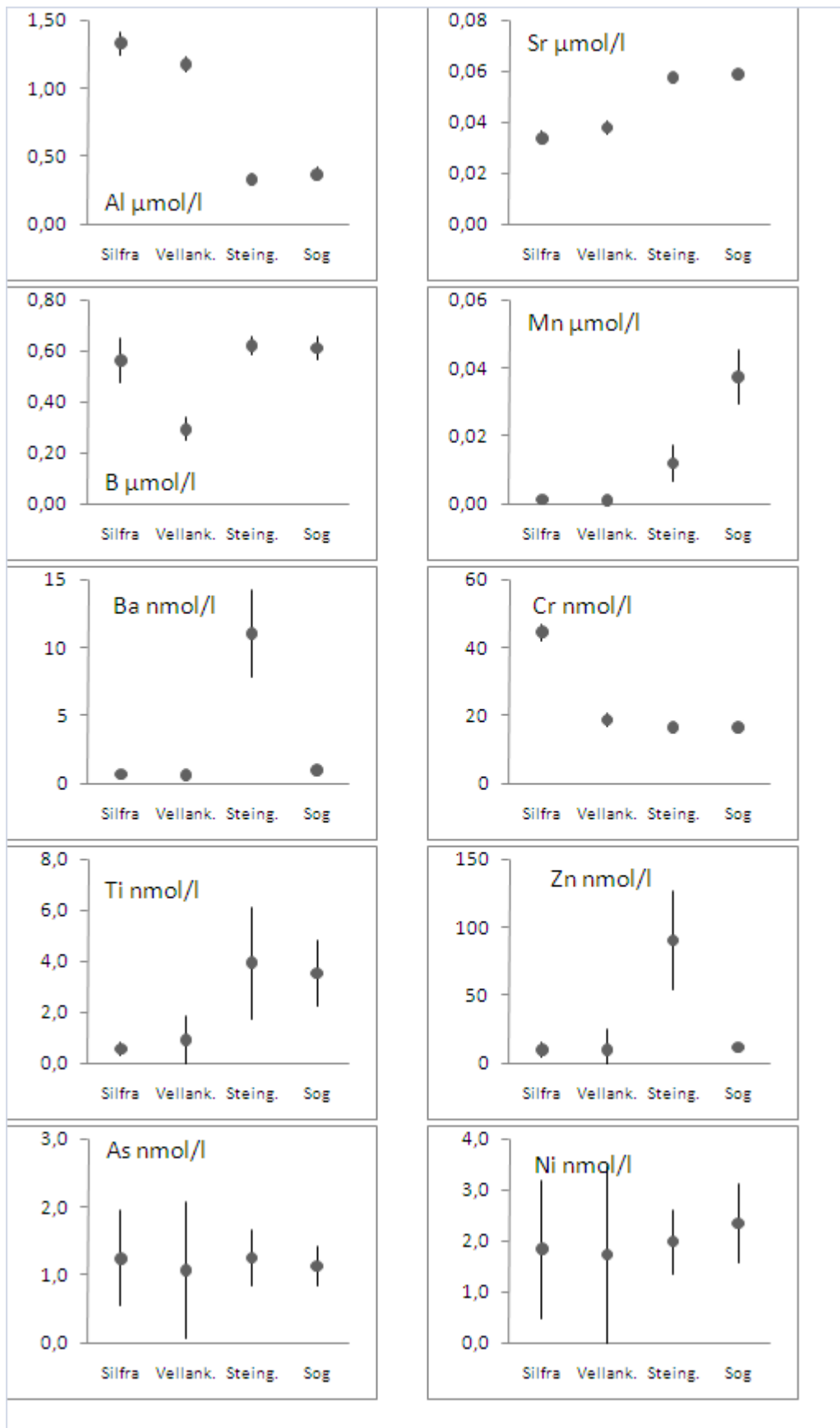


Mynd 5. Meðalstyrkur uppleystra aðalefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Þrastarlund frá 2007 til 2010 eru til samanburðar.

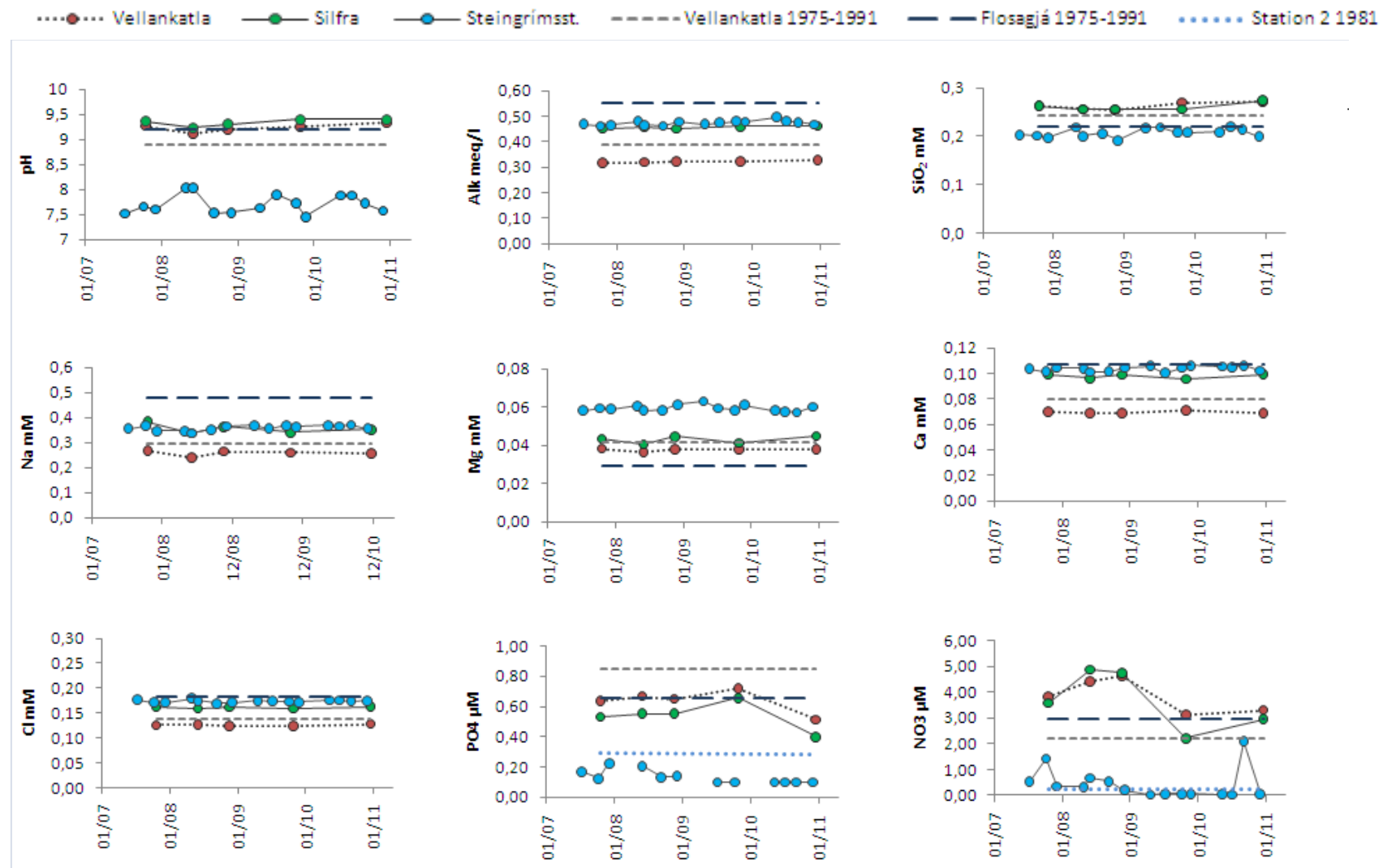




Mynd 6. Meðalstyrkur lífræns kolefnis og uppleystra næringarefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Þrastarlund frá 2007 til 2010 eru til samanburðar.



Mynd 7. Meðalstyrkur uppleystra þungmálma og annarra snefilefna (með 95% öryggismörkum) úr innstreymi og útrennsli Þingvallavatns. Gögn úr Sogi við Þrastarlund frá 2007 til 2010 eru til samanburðar.



Mynd 8. Samanburður á gögnum frá 2007-2010 við gögn sem aflað var á árunum 1981-1991 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 <sub>2</sub> ICP-AES (RH)	1,66	2,00%	1,8								
SiO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>		3%					x				
SO <sub>4</sub> ICP-AES (RH)	10,4	10%	8,2								
SO <sub>4</sub> HPCL	0,52	5%									
SO <sub>4</sub> 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 <sub>4</sub>	0,065	0,065-0,484 µmól/l ±1 µmól/l >0,484 µmól/l ±5%									x
N-NO <sub>2</sub>	0,04	0,040-0,214 µmól/l ±0,014 µmól/l >0,214 µmól/l ±5%									x
N-NO <sub>3</sub>	0,143	0,142-0,714 µmól/l ±0,071 µmól/l >0,714 µmól/l ±10%									x
N-NH <sub>4</sub>	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