

HV 2020-27  
ISSN 2298-9137



# **HAF- OG VATNARANNSÓKNIR**

## *MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND*

Efnasamsetning þingvallavatns 2019

*Eydís Salome Eiríksdóttir og Alice Benoit-Cattin*

---

REYKJAVÍK JÚNÍ 2020



# Efnasamsetning þingvallavatns 2019

*Eydís Salome Eiríksdóttir og Alice Benoit-Cattin*

*Skýrsla er unnin fyrir þjóðgarðinn á þingvöllum, Landsvirkjun,  
Orku Náttúrunnar og Bláskógabyggð*

Upplýsingablað

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                 |                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Titill:</b> Efnasamsetning Þingvallavatns 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                 |                                                 |
| <b>Höfundar:</b> Eydís Salome Eiríksdóttir og Alice Benoit-Cattin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                 |                                                 |
| <b>Skýrsla nr.</b><br>HV 2019-27                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Verkefnisstjóri:</b><br>Eydís Salome<br>Eiríksdóttir                                                                         | <b>Verknúmer:</b><br>9204                       |
| <b>ISSN</b><br>2298-9137                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Fjöldi síðna:</b><br>22                                                                                                      | <b>Útgáfudagur:</b><br>9. júní 2020             |
| <b>Unnið fyrir:</b><br>Þjóðgarðinn á Þingvöllum,<br>Landsvirkjun, Orku Náttúrunnar<br>og Bláskógabyggð                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Dreifing:</b><br>Opin                                                                                                        | <b>Yfirfarið af:</b><br>Fjóla Rut Svavarsdóttir |
| <b>Ágrip</b><br>Vöktun á efnasamsetningu Þingvallavatns hefur staðið frá árinu 2007. Framkvæmdin var í höndum Jarðvísindastofnunar Háskólans fram til ársins 2018 þegar hún færðist til Hafrannsóknastofnunar. Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir niðurstöðum mælinga og efnagreininga á sýnum sem tekin voru í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð frá mars til desember 2019. Þær niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður fyrra rannsóknartímabils, 2007–2018, í sýnum úr útfalli Þingvallavatns, lindunum Vellankötlu og Silfru, og Sogi við Þrastarlund.                                                           |                                                                                                                                 |                                                 |
| <b>Abstract</b><br><i>The outlet of Lake Þingvallavatn has been monitored since 2007 until today. The project was run by the Institute of Earth Science from 2007–2018 but was taken over by the Marine and Freshwater Research Institute in 2019. This report presents the results of measurements and chemical analyzes of samples taken at the outlet of Þingvallavatn at Steingrímsstöð from March to December 2019.</i><br><i>These results are compared with the results of the previous research period, 2007–2018, in samples from the outlet of the lake, the springs Vellankatla and Silfra, and Sog at Þrastarlundur.</i> |                                                                                                                                 |                                                 |
| <b>Lykilorð:</b> Efnavöktun, næringarefni, sólblettir, efnabúskapur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                 |                                                 |
| <b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Undirskrift forstöðumanns sviðs:</b><br> |                                                 |

## Efnisyfirlit

## Bls.

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1 Inngangur .....                         | 1  |
| 2 Eiginleikar vatnasviðsins .....         | 1  |
| 3 Framkvæmd vöktunar .....                | 3  |
| 3.1 Sýnataka .....                        | 3  |
| 3.2 Meðhöndlun sýna og efnamælingar ..... | 5  |
| 4 Niðurstöður og umræður .....            | 5  |
| 4.1 Aðalefni .....                        | 5  |
| 4.2 Næringarefni .....                    | 8  |
| 4.3 Snefilefni .....                      | 10 |
| 5 Samanburður við fyrri rannsóknir .....  | 13 |
| 6 samantekt .....                         | 19 |
| Þakkir .....                              | 20 |
| Heimildir .....                           | 20 |
| Viðauki .....                             | 21 |

## Myndaskrá

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. mynd. Sýnatökustaðir við Þingvallavatn og Sog .....                                                                                                                   | 3  |
| 2. mynd. Stíflan á Þingvallavatni við Steingrímsstöð .....                                                                                                               | 5  |
| 3. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra aðalefna í útfalli Þingvallavatns 2019. ....                                                                             | 7  |
| 4. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns 2019. ....                                                                         | 9  |
| 5. mynd. Niðurstöður P-total, N-total og heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC) í útfalli Þingvallavatns miðað við mörk I, II og III í reglugerð reglugerð 796/1999. .... | 10 |
| 6. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra snefilefna í útfalli Þingvallavatns við 2019 .....                                                                       | 12 |
| 7. mynd. Samanburður á styrk uppleystra efna í útfalli Þingvallavatns og í lindunum Silfru og Vellanköttlu 2007-2018 og 2019. ....                                       | 14 |
| 8. mynd. Langtímasveifla í styrk uppleysts kísils ( $\mu\text{mól/l}$ ) í Sogi við Þrastarlund og útfalli Þingvallavatns. ....                                           | 15 |
| 9. mynd. Samband árlegs fjölda sólbletta á ári og ársmeðalstyrks kísils ( $\text{SiO}_2$ ) í Sogi við Þrastarlund. ....                                                  | 16 |
| 10. mynd. Samanburður á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns og í lindunum Silfru og Vellanköttlu 2007-2018 og 2019 .....                              | 17 |
| 11. mynd. Samanburður á styrk uppleystra snefilefna í útfalli Þingvallavatns og í lindunum Silfru og Vellanköttlu 2007-2018 og 2019. ....                                | 18 |

## Töfluskrá

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tafla 1. Niðurstöður mælinga og greininga á uppleystum aðalefnum í útfalli Þingvallavatns .....  | 6   |
| Tafla 2. Niðurstöður greininga á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns .....    | 8   |
| Tafla 3. Niðurstöður greininga á styrk uppleystra snefilefna í útfalli Þingvallavatns .....      | 111 |
| Tafla V1. Niðurstöður greininga á vatnssýnum frá 2019 úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð ..... | 23  |

## 1 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 var skipt í þrjá megin verkþætti og sáu Náttúrufræðistofa Kópavogs og Jarðvísindastofnun um vöktunarþætti í samræmi samninga. Verkþættir og framkvæmdaraðilar voru eftirfarandi: 1. Efna- og eðlisþættir í írennsli og útfalli, Jarðvísindastofnun Háskólans, 2. Lífríkis-, efna- og eðlisþættir í vatnsbol, Náttúrufræðistofa Kópavogs og 3. Fiskistofnar, Veiðimálastofnun (nú Hafrannsóknastofnun).

Árið 2019 dró Umhverfisstofnun sig úr samstarfinu þegar vöktun samkvæmt stjórn vatnamála hófst í Þingvallavatni. Við það byrjaði nýr kafli í vöktuninni. Umhverfisstofnun gerði sérstaka samninga við Hafrannsóknastofnun og Náttúrufræðistofu Kópavogs um vöktun á eðlisefnafræðilegum gæðapáttum og forgangsefnum í vatninu. Á sama tíma gerðu Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur, Þjóðgarðurinn á Þingvöllum og Bláskógabyggð (hér eftir kallaðir samstarfsaðilar) með sér samstarfssamning um frekari vöktun á efnaþáttum, öðrum en þeim sem Umhverfisstofnun stóð fyrir, og lífríki í Þingvallavatni. Í kjölfarið gerðu samstarfsaðilar samning við Hafrannsóknastofnun og Náttúrustofu Kópavogs um framkvæmd vöktunar.

## 2 Eiginleikar vatnasviðsins

Þingvallavatn er myndað þar sem sigdalurinn á Þingvöllum sker grunnvatnsborðið. Það er 84 km<sup>2</sup> að flatarmáli og er meðaldýpi um 34 m, en mesta dýpi allt að 100 m (Árni Snorrason, 2002). Heildarrúmmál vatnsins er 3 km<sup>3</sup> og meðalrennsli úr vatninu er um 100 m<sup>3</sup>/s. Dvalartími vatnsins í Þingvallavatni er því um 1 ár.

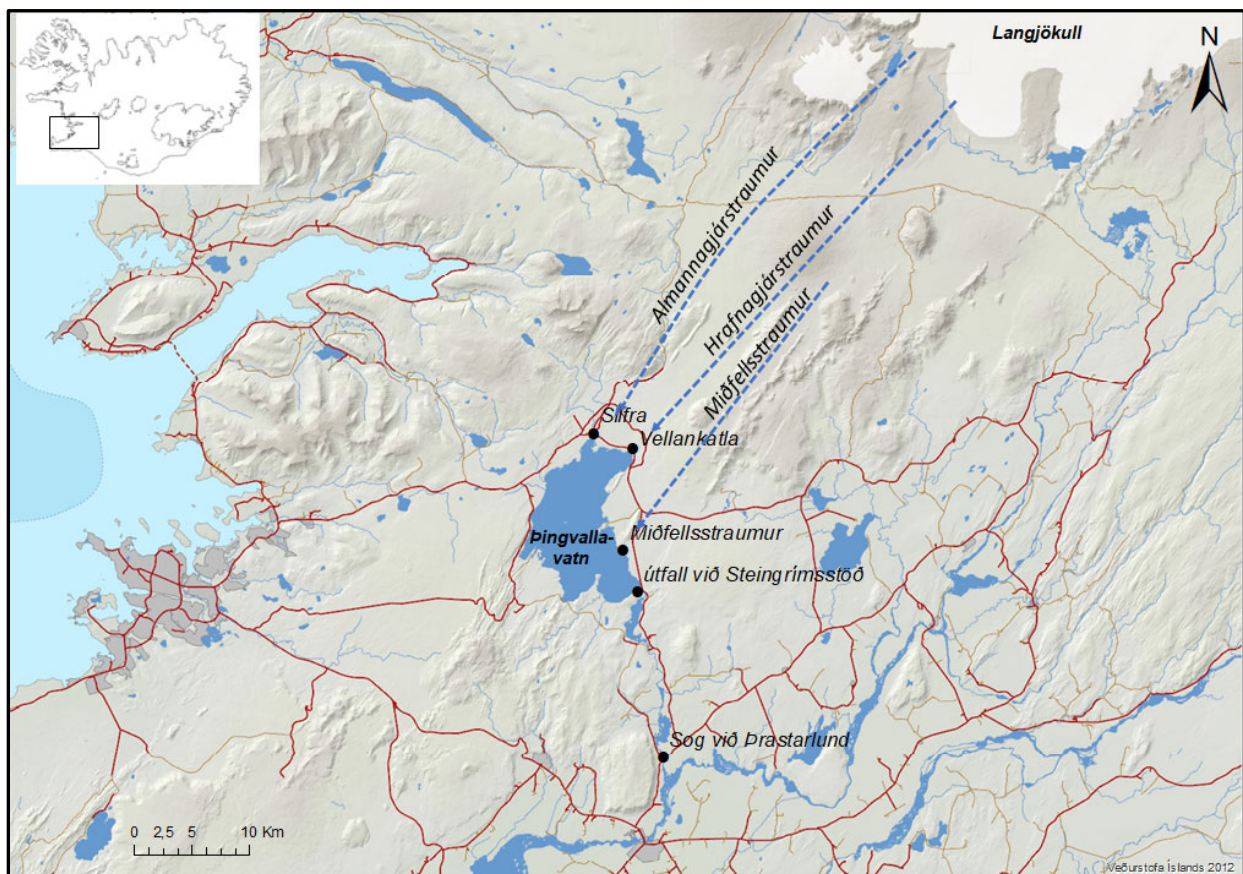
Meðalrennsli grunnvatns til vatnsins er um 90 m<sup>3</sup>/s en 5 m<sup>3</sup>/s af yfirborðsvatni renna í vatnið (Öxará, Villingavatnsá og Ölfusvatnsá). Auk þess fellur úrkoma sem nemur um 4 m<sup>3</sup>/s á vatnið (Árni Snorrason, 2002). Samkvæmt Árnýju E. Sveinbjörnsdóttur og Sigfúsi J. Johnsen (1992) er um 90% vatnsins upprunnið í lindum sem falla í norðanvert vatnið. Grunnvatnið sem kemur upp í lindunum, hefur runnið allt frá Langjökli og ber með sér uppleyst efni úr bergi og jarðvegi út í vatnið (Hákon Aðalsteinsson o.fl., 1992; Jón Ólafsson, 1992).

Hákon Aðalsteinssyni og félagar (1992) telja að um 64% af innstreymi til vatnsins sé úr Silfru og um 20% úr Vellankötlum og öðrum lindum í Vatnsvíki. Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnason (2002) telja hins vegar að lindarvatnið skiptist í þrjá meginstrauma;

Almannagjárstraumur (Silfra) 30 m<sup>3</sup>/s, Hrafnagjárstraumur (Vellankatla) um 20 m<sup>3</sup>/s og Miðfellsstraumur um 25 m<sup>3</sup>/s sem fellur í austanvert vatnið sunnan undan Miðfelli (1. mynd).

Auk leystra efna sem berast í vatnið með grunnvatnsstraumum eru sjávarættuð efni sem koma inn á vatnasviðið með úrkomu og önnur efni sem berast með yfirborðsvatni, sum vegna náttúrulegra ferla og önnur ekki. Óhvarfgjörn efni ferðast með vatnsmassanum að útfalli Þingvallavatns og berast til sjávar. Hvarfgjörn efni og næringarefni tefjast innan stöðuvatnsins sökum efnahvarfa og upptöku lífvera í vatninu.

Í þessari skýrslu eru dregnar saman niðurstöður efnavöktunar sem gerð var árið 2019. Safnað hefur verið saman öllum efnagögnum (utan forgangsefna), hvort sem þeim var aflað fyrir Umhverfisstofnun eða samstarfsaðila um vöktun Þingvallavatns. Það er gert til að samantektin sé sem heildstæðust. Eins eru niðurstöðurnar bornar saman við eldri gögn sem safnað var á árunum 2007 til 2018 (Eyðís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2019).



1. mynd. Sýnatökustaðir við Þingvallavatn og Sog. Brotnu línurnar tákna grunnvatnsstrauma eins og þeir voru skilgreindir af Freysteini Sigmundssyni og Guttormi Sigbjarnasyni (2002).

## 3 Framkvæmd vöktunar

### 3.1 Sýnataka

Sýni til rannsókna á efnasamsetningu Þingvallavatns voru tekin úr útfalli vatnsins af stíflu við Steingrímsstöð (64,13297 °N 21,02862 °V). Sýnum var safnað mánaðarlega frá apríl til desember 2019, alls níu sýni. Sýnunum var safnað samtímis söfnun sýna til mælinga á forgangsefnum. Að vöktuninni stóðu Hafrannsóknastofnun og Náttúrufræðistofa Kópavogs. Náttúrufræðistofa Kópavogs bar ábyrgð á söfnun sýna til forgangsefna og Hafrannsóknastofnun bar ábyrgð á söfnun annarra efnasýna. Einn starfsmaður fór frá hvorri stofnun í sýnatökuferðir. Hér verður greint frá niðurstöðum greininga á styrk aðalefna, snefilefna, næringarefna og lífræns kolefnis.

Vatnssýnum var safnað með því að kasta fötu í bandi af stíflu Steingrímsstöðvar (2. mynd). Söfnunin var gerð þeim megin sem opið var fyrir loku stíflunnar til að tryggja hreyfingu á vatninu. Fatan var skuluð með vatninu og svo fyllt aftur til söfnunar. Vatninu var hellt úr fötunni í brúsa sem áður hafði verið þvegin þrisvar sinnum úr vatninu. Mæling á pH, leiðni og súrefnisstyrk/-mettun var gerð beint í vatninu á sama tíma og söfnunin fór fram. Sýnin voru síuð á staðnum með Cellulose Acetate síum með 0,2 µm porustærð, 47 mm í þvermál. „In-line“ síuhaldari úr plasti var notaður til að sía sýnin og peristaltisk dæla var notuð til að dæla vatninu í gegnum síuna. Áður voru flöskur hreinsaðar þrisvar sinnum með síuðu sýni. Fyrst var síað í 300 ml brúna glerflösku fyrir mælingar á basavirkni/alkalinity. Flaskan var fyllt frá botni og upp til að minnka snertingu vatns við andrúmsloft. Þá var síað í eina 1000 ml plastflösku til mælinga á brennisteinsísótópum. Að því loknu var síað í tvær 100 ml PE plastflöskur til mælinga á næringarefnum ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ , N-total og P-total) og anjónum (Cl, F,  $\text{SO}_4$ ) og síðast var vatn síað í 50 ml PE plastflösku til mælinga á katjónum og snefilmálmum (SiO<sub>2</sub>, Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, B, Mn, Sr, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Mo, Ti, V). Í síðustu flöskuna var bætt 0,5 ml af fullsterkri hreinsaðri  $\text{HNO}_3$  sýru. Sýni til mælinga á heildarstyrk lífræns kolefnis (TOC) var ekki síað heldur var því hellt beint í sýnaglasíð úr brúsanum. Sýni til mælinga á næringarefnum og TOC voru sett í frysti þegar komið var á rannsóknastofu og þau geymd þar þangað til þau voru send til greininga í Svíþjóð.





2. mynd. Stíflan á Þingvallavatni við Steingrímsstöð. Sýnum er safnað af stíflunni, yfir þeirri loku sem er opin í hvert skipti til að tryggja hreyfingu á vatninu. Ljósm. Eydís S. Eiríksdóttir

### 3.2 Meðhöndlun sýna og efnamælingar

Efnagreiningar voru gerðar á Hafrannsóknastofnun, Jarðvísindastofnun Háskólans og hjá ALS í Svíþjóð og Danmörku.

Mælingar á leiðni og pH voru gerðar á söfnunarstað samtímis sýnasöfnun. Basavirkni („alkalinity“) og pH var mælt með títrun og pH-rafskauti á Hafrannsóknastofnun að loknum sýnatökuleiðangri. Endapunktur títrunar var ákvarðaður með Gran-falli (Stumm og Morgan, 1996).

Aðalefni og snefilefni voru mæld af ALS Scandinavia með ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy)<sup>1</sup>, ICP-MS (Mass Spectrometry with Inductively Coupled Plasma)<sup>2</sup> og atómljómun; AF (Atomic Fluorescence)<sup>3</sup>.

Styrkur flúors, klórs og sulfats var mældur með anjónaskilju (Dionex IC2000) á Jarðvísindastofnun Háskólans. Alþjóðlegu staðlarnir BIGMOOSE-02 og MAURI 09 voru notaðir til kvörðunar á þeim greiningunum.

Styrkur næringarefna var mældur með sjálfvirkum litrófsmæli (Autoanalyser)<sup>4</sup> hjá ALS í Danmörku. Heildarstyrkur TOC var einnig mældur hjá ALS í Danmörku<sup>5</sup>.

Sýnum hefur verið safnað til mælinga á brennisteinssamböndum á rannsóknatímabilinu en þau hafa ekki verið greind ennþá. Til stendur að mæla þau í samstarfi við Carl-Magnus Mörtz prófessor við Stokkhólmsháskóla en það samstarf er framhald á því sem verið hefur síðan 2007.

## 4 Niðurstöður og umræður

Niðurstöður mælinga og efnagreininga eru í töflum 1–3 og á 3–11. mynd. Gögnin eru einnig samatekin í töflu V1 í viðauka.

### 4.1 Aðalefni

Niðurstöður mælinga á eðlisfræðilegum þáttum og styrk aðalefna er í töflu 1 og á mynd 3. Þar sést að leiðni var stöðug frá 68–74  $\mu\text{S}/\text{cm}$  og að meðaltali 72  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Leiðni er óbein mæling á styrk hlaðinna efna (jóna) í lausn. Stöðugleiki leiðni í vatninu bendir til að styrkur uppleystra aðalefna sé stöðugur. Gildi pH var frá 7,29–7,97 og hæst var það um sumarið 2019 vegna áhrifa af ljóstillífun sem veldur upptöku á  $\text{H}^+$  jónum (sýru). Súrefnismettun vatns í útfallinu var frá 97–

<sup>1</sup> SS EN ISO 11885: 2009 and US EPA Method 200.7: 1994

<sup>2</sup> SS EN ISO 17294- 2: 2016 and US EPA Method 200.8: 1994

<sup>3</sup> SS EN ISO 17852: 2008.

<sup>4</sup> DS/EN ISO 11732:2005; DS/ISO 29441:2010; DS/EN ISO 6878:2004

<sup>5</sup> DS/EN 1484:1997

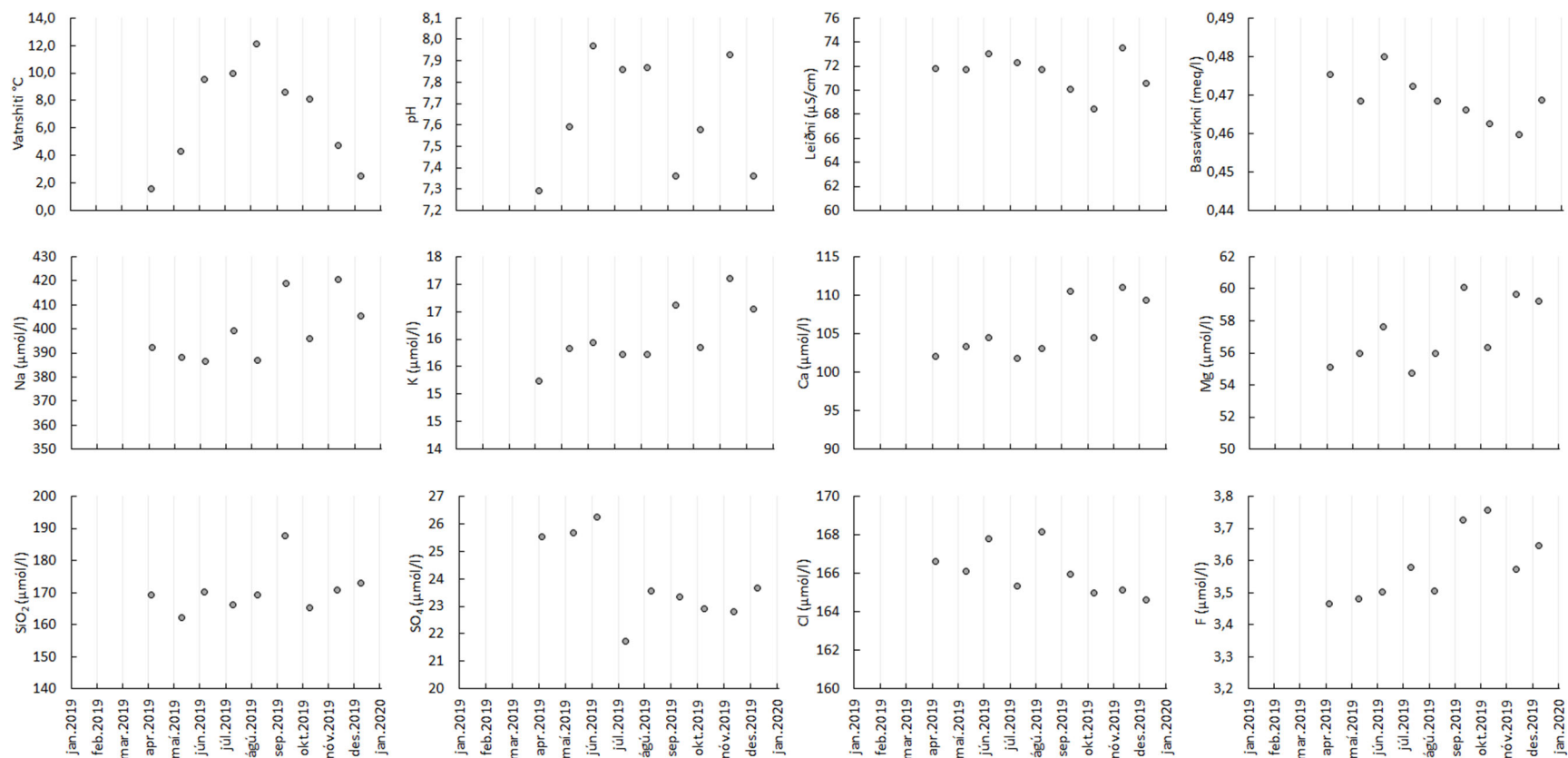
110% og styrkur súrefnis var frá 11,3–13,6mg/l. Styrkur súrefnis var lægri að sumri en vetri vegna þess að leysni súrefnis í vatni minnkar með auknum vatnshita.

Heildarmagn uppleystra efna (TDS) var stöðugt frá 61–64 mg/l. Hlutfallslega er mest magn af uppleystu kolefni (DIC í töflu 1) og þá koma  $\text{SiO}_2 > \text{Na} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{SO}_4 > \text{Mg} > \text{K}$ . Ef miðað er við fjölda móla (mól/l) breytist röðin og þá er mest af  $\text{DIC} > \text{Na} > \text{SiO}_2 > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{SO}_4 > \text{K}$ .

Styrkur uppleystra aðalefna breytist mjög lítið eftir árstíðum. Þess vegna hefur y-ásinn á 3. mynd verið stilltur þannig að smávægilegar breytingar sjáist ef einhverjar eru. Þrátt fyrir það sjást engar árstíðabundnar sveiflur í styrk uppleystra aðalefna í útfalli Þingvallavatns árið 2019. Efnin Na og Cl eru óhvarfgjörn efni sem taka lítið þátt í efnahvörfum í vatninu. Önnur efni, eins og Ca og Mg, eru hvarfgjarnari og geta fallið út eða verið tekin upp af lífverum í vatninu. Kísill er það aðalefni sem er mikilvægt næringarefni fyrir kísilþörunga. Styrkur kísils ætti því að breytast eftir því hvernig frumframleiðni kísilþörunga er hátt. Það væri því viðbúið að sjá lækkun á styrk kísils á sumrin en hækkun á veturna þegar frumframleiðni er takmörkuð af sólarljósi. Það er hins vegar ekki að sjá neina árstíðabundna breytingu á kísilstyrk í Þingvallavatni árið 2019.

Tafla 1. Niðurstöður mælinga og greininga á uppleystum aðalefnum í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð í sýnum frá 2019. Gögnin eru einnig sýnd í töflu V1 í viðauka.

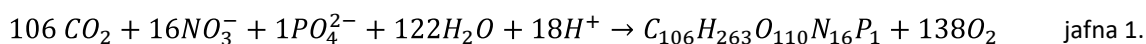
| Þingvallavatn við Steingrímsstöð |            |       |          |           |      |        |                |                |                  |        |        |        |        |            |        |                 |        |        |          |
|----------------------------------|------------|-------|----------|-----------|------|--------|----------------|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----------------|--------|--------|----------|
| Sýnanúmer                        | Dagsetning | Tími  | Lofthiti | Vatnshiti | pH   | Leiðni | O <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | Na     | K      | Ca     | Mg     | Alkalinity | DIC    | SO <sub>4</sub> | Cl     | F      | Hleðslu- |
|                                  |            |       | °C       | °C        |      | µS/cm  | %              | mg/l           | µmól/l           | µmól/l | µmól/l | µmól/l | µmól/l | meq/l      | µmól/l | µmól/l          | µmól/l | µmól/l | jafnvægi |
|                                  |            |       |          |           |      |        |                |                |                  |        |        |        |        |            |        |                 |        |        | skekkja  |
| 20190408-11:40                   | 8.4.2019   | 11:40 |          | 1,6       | 7,29 | 71,8   |                |                | 169              | 392    | 15,2   | 102    | 55,1   | 0,475      | 0,475  | 25,5            | 167    | 3,5    | 0,03     |
| 20190514-11:30                   | 14.5.2019  | 11:30 |          | 4,3       | 7,59 | 71,7   | 104            | 13,6           | 162              | 388    | 15,8   | 103    | 56,0   | 0,468      | 0,468  | 25,7            | 166    | 3,5    | 0,03     |
| 20190611-12:15                   | 11.6.2019  | 12:15 |          | 9,5       | 7,97 | 73,0   | 110            | 12,5           | 170              | 387    | 15,9   | 105    | 57,6   | 0,480      | 0,479  | 26,3            | 168    | 3,5    | 0,02     |
| 20190715-12:30                   | 15.7.2019  | 12:30 |          | 10,0      | 7,86 | 72,3   | 109            | 12,3           | 166              | 399    | 15,7   | 102    | 54,7   | 0,472      | 0,472  | 21,7            | 165    | 3,6    | 0,04     |
| 20190813-12:20                   | 13.8.2019  | 12:20 |          | 12,1      | 7,87 | 71,7   | 105            | 11,3           | 169              | 387    | 15,7   | 103    | 56,0   | 0,468      | 0,468  | 23,6            | 168    | 3,5    | 0,03     |
| 20190916-12:15                   | 16.9.2019  | 12:15 | 5        | 8,6       | 7,36 | 70,1   | 99,4           | 11,6           | 188              | 419    | 16,6   | 111    | 60,1   | 0,466      | 0,466  | 23,3            | 166    | 3,7    | 0,09     |
| 20191015-12:00                   | 15.10.2019 | 12:30 | 9,8      | 8,1       | 7,58 | 68,4   | 101            | 11,9           | 165              | 396    | 15,9   | 105    | 56,4   | 0,463      | 0,462  | 22,9            | 165    | 3,8    | 0,06     |
| 20191118-12:15                   | 18.11.2019 | 12:15 | 3        | 4,7       | 7,93 | 73,5   | 97,4           | 12,5           | 171              | 421    | 17,1   | 111    | 59,7   | 0,460      | 0,459  | 22,8            | 165    | 3,6    | 0,11     |
| 20191216-11:30                   | 16.11.2019 | 11:30 | 1        | 2,5       | 7,36 | 70,6   | 96,6           | 13,2           | 173              | 405    | 16,5   | 109    | 59,2   | 0,469      | 0,469  | 23,7            | 165    | 3,6    | 0,07     |
| Meðaltal                         |            |       |          | 6,82      | 7,65 | 71,5   | 103            | 12,4           | 170              | 399    | 16,1   | 106    | 57,2   | 0,47       | 0,47   | 23,9            | 166    | 3,58   | 0,05     |
| Staðalfrávik                     |            |       |          | 3,65      | 0,27 | 1,56   | 4,91           | 0,78           | 7,21             | 13,09  | 0,58   | 3,68   | 2,03   | 0,01       | 0,01   | 1,53            | 1,24   | 0,11   | 0,03     |
|                                  |            |       |          |           |      |        |                |                |                  |        |        |        |        |            |        |                 |        | 2,07   | 0,79     |



3. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra aðalefna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð 2019. Sjá gögn í töflu 1 og í töflu V1 í viðauka.

## 4.2 Næringarefni

Niðurstöður mælinga á styrk næringarefna er í töflu 2 og á 4 og 5. mynd. Ljóstillífandi lífverur (frumframleiðendur) þarfnast sólarljóss og næringarefna til vaxtar (jafna 1). Næringarefni sem þurfa að vera til staðar í miklu magni, auk kolefnis (C), eru köfnunarefni (N) og fosfór (P) og þegar um kísilþörunga er að ræða, kísill (Si). Ef sólarljós, styrkur næringarefna og hiti er nægilegur er ljóstillífun samfelld, en ef eitt þeirra næringarefna sem nauðsynleg eru frumframleiðendum klárast úr umhverfinu, stöðvast ljóstillífunin og þörungarnir taka að rotna (jafna 1 gengur til vinstri). Við það skilast næringarefni aftur inn í vistkerfið og geta nýst öðrum frumframleiðendum. Þannig myndast hringrás næringarefna innan vistkerfa og aðeins hluti þeirra skolest út úr kerfinu með straumvötnum.



Ljós er grundvallar forsenda fyrir ljóstillífun og skortur á því hefur takmarkandi áhrif á hana. Þess vegna er ljóstillífun og upptaka næringarefna lítil á dimmasta tíma ársins. Þá er niðurbrot lífræns efnis hins vegar meira og því er styrkur uppleystra næringarefna í vatninu yfirleitt meiri að vetri en að sumri.

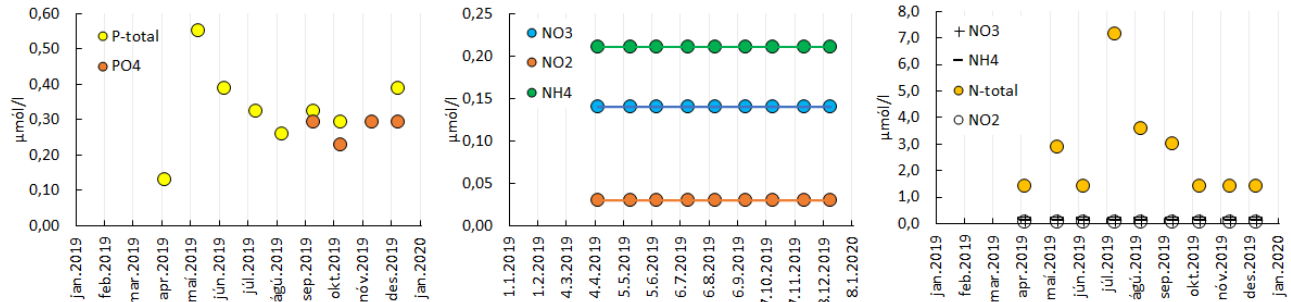
Tafla 2. Niðurstöður greininga á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð í sýnum frá 2019. Mælingar á  $\text{PO}_4$  mistókust hjá ALS og því eru niðurstöðurnar skálettraðar í töflunni. Styrkur  $\text{PO}_4$  í sýnum frá apríl til desember er skálettraður í töflunni og er ekki tekin með í útreikninga á meðalstyrk eða við mat á DOP þar sem mistök voru gerð við greiningar á  $\text{PO}_4$ . Gögnin eru einnig sýnd í töflu V1 í viðauka.

| Sýnanúmer           | Dagsetning | Tími  | TOC   | P-total <sup>1</sup> | P-total <sup>2</sup> | $\text{PO}_4$     | DOP               | N-total           | $\text{NO}_3$     | $\text{NO}_2$     | $\text{NH}_4$     | DIN               | DON               | DIN/DON           | $\text{PO}_4/\text{DOP}$ |
|---------------------|------------|-------|-------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
|                     |            |       | mg/l  | $\mu\text{mól/l}$    | $\mu\text{mól/l}$    | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$ | $\mu\text{mól/l}$        |
| 20190408-11:40      | 8.4.2019   | 11:40 | <0,10 | 0,387                | 0,129                | <0,03             |                   | <1,4              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 1,02              | 0,373             |                          |
| 20190514-11:30      | 14.5.2019  | 11:30 | 0,38  | 0,299                | 0,549                | <0,03             |                   | 2,86              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 2,48              | 0,153             |                          |
| 20190611-12:15      | 11.6.2019  | 12:15 | 0,29  | 0,355                | 0,387                | <0,03             |                   | <1,4              | <0,14             | <0,03             | 0,286             | 0,456             | 0,944             | 0,482             |                          |
| 20190715-12:30      | 15.7.2019  | 12:30 | 0,21  | 0,336                | 0,323                | <0,03             |                   | 7,14              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 6,76              | 0,056             |                          |
| 20190813-12:20      | 13.8.2019  | 12:20 | 0,23  | 0,281                | 0,258                | <0,03             |                   | 3,57              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 3,19              | 0,119             |                          |
| 20190916-12:15      | 16.9.2019  | 12:15 | <0,5  | 0,312                | 0,323                | 0,291             | 0,021             | 3,00              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 2,62              | 0,145             | 14,2                     |
| 20191015-12:00      | 15.10.2019 | 12:30 | <0,5  | 0,310                | 0,291                | 0,226             | 0,084             | <1,4              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 1,02              | 0,373             | 2,70                     |
| 20191118-12:15      | 18.11.2019 | 12:15 | <0,5  | 0,423                |                      | 0,291             | 0,132             | <1,4              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 1,02              | 0,373             | 2,21                     |
| 20191216-11:30      | 16.11.2019 | 11:30 | <0,5  | 0,426                | 0,387                | 0,291             | 0,135             | <1,4              | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,380             | 1,02              | 0,373             | 2,15                     |
| <b>Meðaltal</b>     |            |       | <0,36 | 0,35                 | 0,33                 | 0,27              | 0,09              | <2,62             | <0,14             | <0,03             | <0,21             | 0,39              | 2,23              | 0,27              | 5,30                     |
| <b>Staðalfrávik</b> |            |       | 0,15  | 0,05                 | 0,12                 | 0,03              | 0,05              | 1,90              |                   |                   |                   | 0,03              | 1,91              | 0,15              | 5,91                     |

<sup>1</sup> Heildarstyrkur uppleysts fosfórs mældur með ICP-OES

<sup>2</sup> Heildarstyrkur uppleysts fosfórs mældur með litrófsmæli





4. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð 2019. Greiningarmörk fyrir hvert köfnunarefnissamband eru sýnd með línun á grafinu. Styrkur ólífrænna köfnunarefnissambanda ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  og  $\text{NH}_4$ ) er alltaf undir greiningarmörkum. Sjá gögn í töflu 2 og í töflu V1 í viðauka.

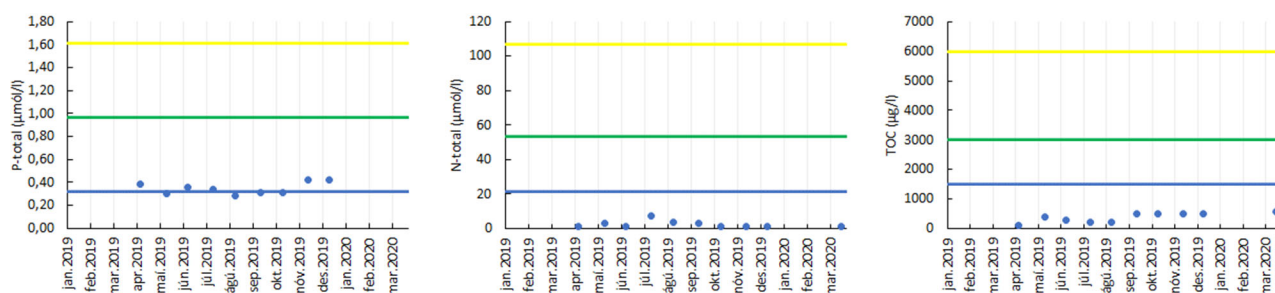
Greining á styrk fosfats ( $\text{PO}_4$ ) í fyrstu fimm sýnunum sem safnað var á árinu 2019 var líklega gölluð hjá greiningaraðila (ALS). Gerð var athugasemd við það þegar niðurstöðurnar bárust framkvæmdaraðila og farið fram á að sýnin yrðu endurmæld. Samkvæmt greiningaraðila var það gert með sömu niðurstöðu. Það má þó telja afar ólíklegt að styrkur  $\text{PO}_4$  hafi verið undir greiningarmörkum þar sem hann hefur verið um tífalt hærri síðan 2007. Sýni til næringarefnagreininga voru tekin í tvítaki og vonir standa til að hægt verði að mæla þau aftur til að komast til botns í málinu. Niðurstöðum þessara mælinga er sleppt á mynd 4 þar sem þær eru ótrúverðugar.

Minni upptaka næringarefna og aukið niðurbrot lífræns efnis endurspeglast í árstíðasveiflu í heildarstyrk köfnunarefnis (dissolved inorganic nitrogen; DIN; Tafla 2), og þar með styrk lífræns köfnunarefnis (dissolved organic nitrogen; DON), sem var um  $1 \mu\text{mol/l}$  að vetri og hausti en fór upp í  $7 \mu\text{mol/l}$  sumarið 2019. Sambærilega sveiflu í styrk var ekki að sjá í P-total en styrkur þess var um tvöfalt hærri í sýni frá apríl 2019 en yfir sumarið. Mælingar á fosfati ( $\text{PO}_4$ ) frá vori og sumri 2019 mistókust eins og fyrr segir (tafla 2) og eru ekki með á mynd 4. Ekki var að sjá neina árstíðasveiflu í styrk uppleystra ólífrænna köfnunarefnissambanda ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) og var styrkur þeirra alltaf undir greiningarmörkum aðferðanna (tafla 2, 4. mynd).

Hlutfallslega er mun meira af uppleystu fosfati (P) en köfnunarefni (N) í Þingvallavatni miðað við þörf ljóstillífandi lífvera (jafna 1). Það er í takt við aðrar greiningar á styrk næringarefna í vatni sem rennur af ungu, auðleystu basalti á eldvirka beltinu á Íslandi (sjá t.d. samantekt í Sigríður Magnea Óskarsdóttir o.fl. 2011). Það bendir til þess að frumframleiðni í Þingvallavatni sé takmörkuð af styrk köfnunarefnis fremur en öðrum næringarefnum. Það endurspeglast einnig í því að styrkur köfnunarefnis er mjög lágur í útfalli Þingvallavatns og alltaf undir greiningarmörkum þar sem hann hefur verið tekinn upp af frumframleiðandi lífverum á meðan dvalartíma vatnsins stóð. Frumframleiðni hefur ekki áhrif á styrk nitrats ( $\text{NO}_3$ ) í lindarvatni sem streymir inn í Þingvallavatn en

styrkur þess er að meðaltali um 3,8  $\mu\text{mol/l}$  (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2019) sem er 27 sinnum hærra en það sem mælist að meðaltali í útfallinu. Minna munar á styrk  $\text{NO}_2$  og  $\text{NH}_4$  í innrennslinu og útfallinu.

Heildarstyrkur lífræns kolefnis (total organic carbon; TOC í töflu 2) var mældur í sýnunum og var hann oftast undir greiningarmörkum. Greiningarmörkin voru tvenns konar, <0,1 og <0,5 mg/l. Í gagnasettinu þar sem greiningarmörkin voru <0,1 mg/l mældist styrkurinn frá 0,21 til 0,38 mg/l. Í gagnasettinu þar sem greiningarmörkin voru <0,5 mg/l voru öll sýnin undir greiningarmörkum. Í framtíðinni verður leitast við að fá greiningar sem hafa lægri greiningarmörk til að fá betri upplýsingar um raunverulegan styrk lífræns kolefnis í vatninu.



5. mynd. Niðurstöður P-total, N-total og heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC) í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð miðað við mörk I, II og III í reglugerð um varnir gegn mengun vatns (reglugerð 796/1999). Viðmið um P-total og N-total eru miðuð við stöðuvötn en TOC eru miðuð við straumvötn þar sem viðmið eru ekki gefin upp fyrir stöðuvötn í reglugerðinni.

Þegar heildarstyrkur uppleysts fosfórs og köfnunarefnis (P-total og N-total) og heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC) er borinn saman við mörk efnanna í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns sést að heildarstyrkur uppleysts fosfats liggur á mörkum I og II en það eru mörk á milli næringarfátæks vatns og vatns með lágu næringarefnagildi skv. reglugerðinni. Heildarstyrkur uppleysts köfnunarefnis (N-total) er langt undir lægstu mörkum, sem og heildarstyrkur lífræns kolefnis (TOC) (Mynd 5).

### 4.3 Snefilefni

Snefilefni eru efni sem eru í mjög litlu magni í vatninu og eru mörg hver nauðsynleg næringarefni fyrir lífverur. Ólíklegt er þó að skortur á þeim fari að hamla framleiðni í Þingvallavatni miðað við það sem fram kemur í kafla 4.1 um næringarefni. Sum snefilefni eru eitruð lífverum t.d. kadmín (Cd), blý (Pb), kvikasilfur (Hg) og arsen (As) og mikilvægt er að fylgjast með styrk þeirra því styrkur margra snefilefna getur aukist vegna mengunar af völdum manna.

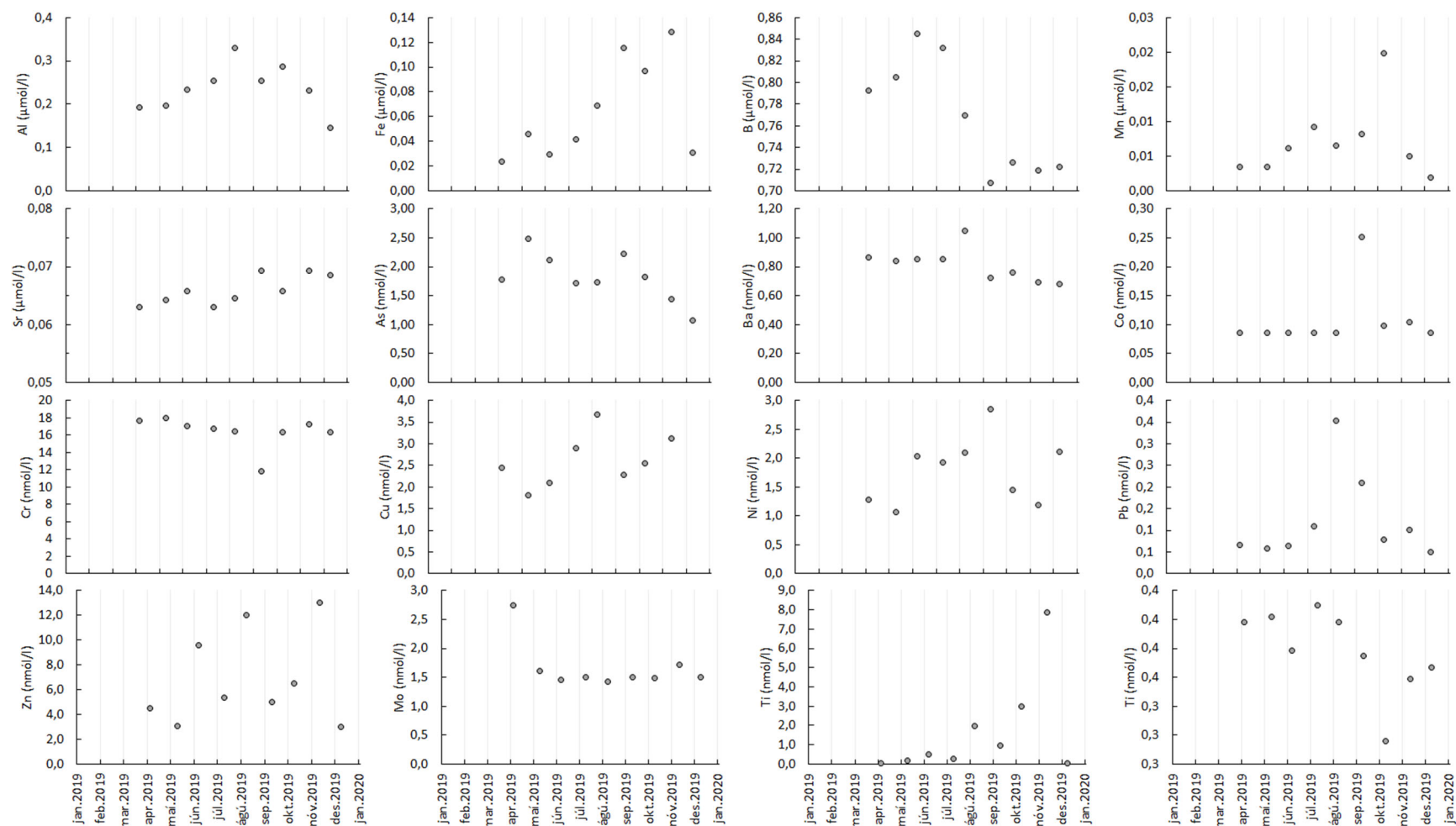
Niðurstöður mælinga á styrk snefilefna í sýnum frá 2019 úr útfalli Þingvallavatns eru í töflu 3 og á 6. mynd. Í töflunni er einnig gerð grein fyrir meðalstyrk og staðalfrávik, auk viðmiðunargilda úr

reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Samkvæmt reglugerðinni eru viðmiðin efri mörk á milli flokka I og II. Í flokki I er vatn sem er í mjög lítilli sem engri hættu á að vera undir áhrifum af mengun. Í flokki II er vatn sem er í lítilli hættu á að vera undir áhrifum af mengun. Eins og gildin í töflu 3 gefa til kynna þá fellur styrkur As, Cu, Ni, Pb og Zn í flokk I. Styrkur Cd er á mörkum flokks I og II í gagnasettinu frá 2019 en þess ber að geta að líklega hefur orðið Cd mengun frá sýnatökubúnaði því styrkur þess er mun hærri í gögnunum frá 2019 en í gagnasettinu frá 2007–2018. Má það að öllum líkindum rekja til annars sýnatökubúnaðar en þess sem notaður var á fyrra rannsóknatímabili og ljóst er að hreinsun sýnatökubúnaðar er nauðsynlegur áður en frekari sýnatökur fara fram. Styrkur Cr fellur í flokk II í reglugerð nr. 796/1999. Áður hefur verið bent á að styrkur Cr í Þingvallavatni er óvenju hár miðað við styrk þess í öðru ferskvatni á Íslandi (16,4 nmól/l; Eydís S. Eiríksdóttir o.fl. 2019). Það má rekja til þess að Cr styrkur í lindinni Silfru, aðaluppsprettu vatns í Þingvallavatni, er hár (46,7 nmól/l; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2019). Ýmislegt hefur verið rætt varðandi það en helst þykir líklegt að vatnið renni um óvenju krómríkt berg og því til stuðnings hefur verið bent á að styrkur Cr í Hvítá í Borgarfirði er einnig hár (meðalstyrkur 23,6 nmól/l; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011). Vatnasvið Hvítár í Borgarfirði nær upp að Langjökli líkt og vatnasvið Þingvallavatns svo vatnið hefur hugsanlega runnið um sambærilegt berg á leið sinni niður vatnasviðið.

Tafla 3. Niðurstöður greininga á styrk uppleystra snefilefna í útfalli Þingvallavatns við Steingrímsstöð í sýnum frá 2019. Gögnin eru einnig sýnd í töflu V1 í viðauka.

| Þingvallavatn við Steingrímsstöð                             |            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sýnanúmer                                                    | Dagsetning | 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 | nmól/l |
| 20190408-11:40                                               | 8.4.2019   | 11:40 | 0,192  | 0,024  | 0,793  | 0,003  | 0,063  | 1,78   | 0,867  | 0,024  | <0,085 | 17,7   | 2,45   | 1,28   | 0,067  | 4,50   | <0,010 | 2,75   | <0,02  | 0,369  |
| 20190514-11:30                                               | 14.5.2019  | 11:30 | 0,196  | 0,046  | 0,805  | 0,004  | 0,064  | 2,48   | 0,837  | 0,097  | <0,085 | 18,0   | 1,81   | 1,07   | 0,058  | <3,06  | <0,010 | 1,61   | 0,19   | 0,371  |
| 20190611-12:15                                               | 11.6.2019  | 12:15 | 0,234  | 0,029  | 0,845  | 0,006  | 0,066  | 2,12   | 0,852  | 0,030  | <0,085 | 17,1   | 2,09   | 2,03   | 0,065  | 9,57   | <0,010 | 1,45   | 0,51   | 0,359  |
| 20190715-12:30                                               | 15.7.2019  | 12:30 | 0,255  | 0,042  | 0,832  | 0,009  | 0,063  | 1,72   | 0,852  | 0,115  | <0,085 | 16,7   | 2,90   | 1,93   | 0,109  | 5,34   | <0,010 | 1,50   | 0,25   | 0,375  |
| 20190813-12:20                                               | 13.8.2019  | 12:20 | 0,329  | 0,069  | 0,770  | 0,007  | 0,064  | 1,74   | 1,049  | 0,156  | <0,085 | 16,4   | 3,68   | 2,10   | 0,354  | 12,1   | <0,010 | 1,42   | 1,99   | 0,369  |
| 20190916-12:15                                               | 16.9.2019  | 12:15 | 0,254  | 0,115  | 0,708  | 0,008  | 0,069  | 2,22   | 0,724  | 0,209  | 0,251  | 11,8   | 2,28   | 2,85   | 0,210  | 5,02   | <0,010 | 1,50   | 0,95   | 0,357  |
| 20191015-12:00                                               | 15.10.2019 | 12:30 | 0,287  | 0,097  | 0,726  | 0,020  | 0,066  | 1,83   | 0,757  | 0,093  | 0,098  | 16,3   | 2,55   | 1,44   | 0,078  | 6,53   | <0,010 | 1,49   | 2,97   | 0,328  |
| 20191118-12:15                                               | 18.11.2019 | 12:15 | 0,231  | 0,128  | 0,719  | 0,005  | 0,069  | 1,44   | 0,695  | 0,081  | 0,104  | 17,3   | 3,12   | 1,19   | 0,100  | 13,0   | <0,010 | 1,72   | 7,85   | 0,349  |
| 20191216-11:30                                               | 16.11.2019 | 11:30 | 0,146  | 0,031  | 0,722  | 0,002  | 0,068  | 1,07   | 0,679  | 0,029  | <0,085 | 16,3   | <0,002 | 2,11   | <0,05  | <3,0   | <0,010 | 1,50   | <0,02  | 0,353  |
| <b>Meðaltal</b>                                              |            |       | 0,236  | 0,064  | 0,769  | 0,007  | 0,066  | 1,82   | 0,812  | 0,093  | <0,107 | 16,4   | <2,32  | 1,78   | 0,121  | <6,90  | <0,010 | 1,66   | <1,64  | 0,359  |
| <b>Staðalfrávik</b>                                          |            |       | 0,054  | 0,04   | 0,052  | 0,005  | 0,003  | 0,42   | 0,114  | 0,062  | 0,054  | 1,82   | 1,04   | 0,576  | 0,1    | 3,76   | 0      | 0,419  | 2,537  | 0,015  |
| <b>1. mörk til verndar lífríki skv. reglug. nr. 796/1999</b> |            |       |        |        |        |        |        | 5,34   |        | 0,09   |        | 5,77   | 7,868  | 11,93  | 0,965  | 76,5   |        |        |        |        |
| <b>2. mörk til verndar lífríki skv. reglug. nr. 796/1999</b> |            |       |        |        |        |        |        | 66,7   |        | 0,89   |        | 96,2   | 47,2   | 256    | 4,83   | 306    |        |        |        |        |





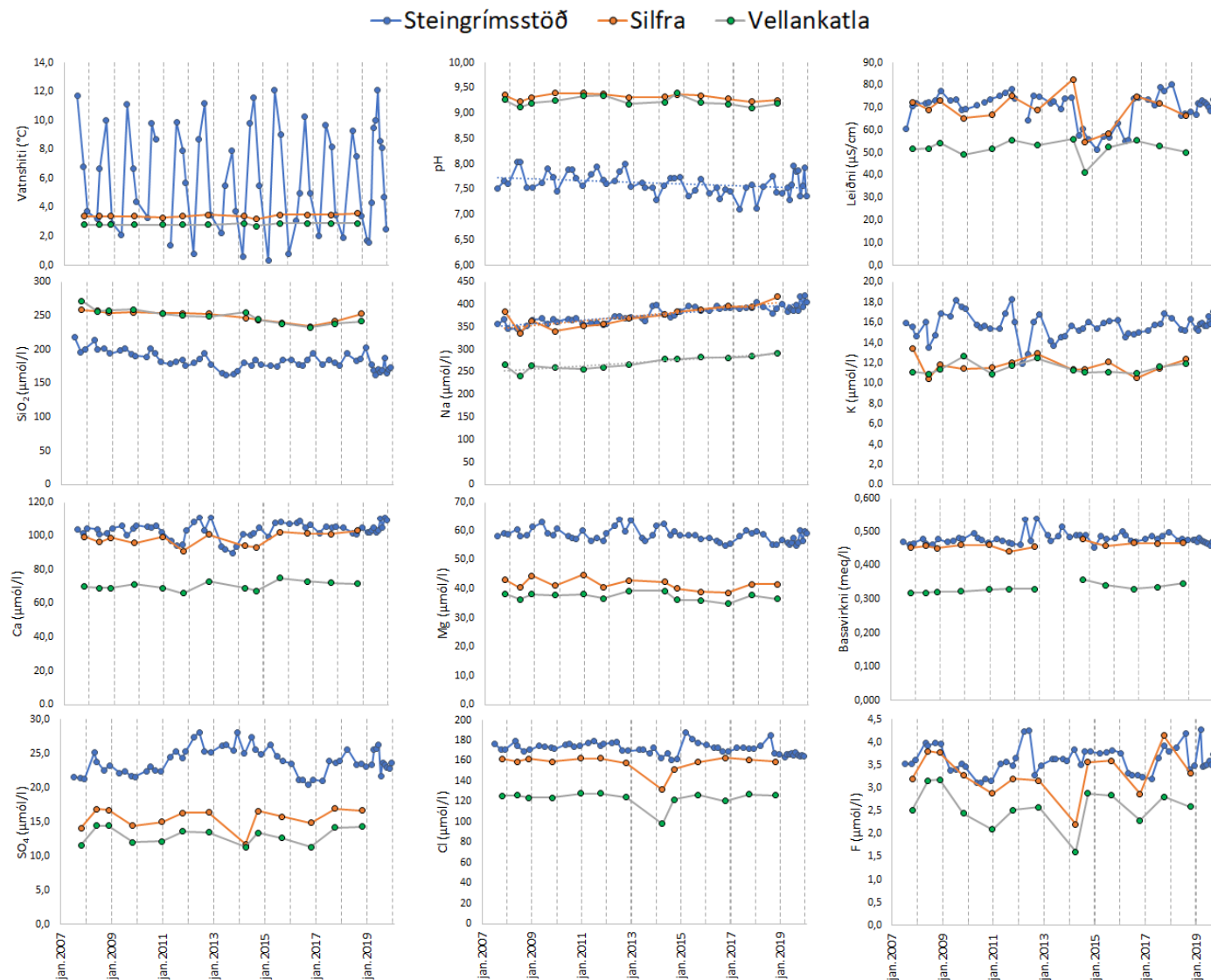
6. mynd. Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra snefilefna og þungmálma í útfalli Pingvallavatns við Steingrímsstöð 2019. Sjá gögn í töflu 3 og í töflu V1 í viðauka.

## 5 Samanburður við fyrri rannsóknir

Eins og fram hefur komið hefur sýnum verið safnað í útfalli Þingvallavatns og lindunum Silfru og Vellankötlum síðan 2007. Árlegar skýrslur um niðurstöður vöktunarinnar hafa komið út. Gögn frá 2007 til 2018 sem eru birtar á myndum 7–10 eru úr þeim skýrslum (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2019) auk þess sem niðurstöður efnamælinga í vatnssýnum úr Sogi 1998–2018 eru birtar til samanburðar (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 2019). Framkvæmdaraðili efnavöktunar í Þingvallavatni var Jarðvísindastofnun Háskólans en nú hefur framkvæmdin færst til Hafrannsóknastofnunar eins og fram hefur komið. Hér verða niðurstöður frá árinu 2019 settar í samhengi við niðurstöður fyrri ára til að hægt sé að skoða langtímabreytingar á efnastyrk í vatninu.

**Aðalefni.** Mælingar á pH sýna að það er mun hærra í lindunum en í útfallinu. Lindarvatn er einangrað frá andrúmslofti og því leysist koltvísýringur úr andrúmslofti ekki upp í vatninu fyrr en það er komið upp á yfirborð. Við það lækkar pH gildi vatnsins. Ljóstillífun hefur einnig áhrif á pH í vatninu eins og sjá má í jöfnu 1. Svo virðist sem pH í útfalli Þingvallavatns hafi lækkað yfir tímabilið 2007–2018, að samtals um 0,25 pH einingar (0,023 einingar/ári). Ekki er gott að segja hvað veldur því en þess ber að geta að pH í úrkomusýnum frá Írafossi lækkaði frá árinu ~2000 til a.m.k. 2012 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2014). Sú þróun var túlkuð sem staðbundin áhrif frá jarðhitavirkjunum í grennd við Þingvallavatn, Nesjavallavirkjun og Hellisheiðarvirkjun. Hugsanlegt er að sú þróun hafi haldið áfram vegna staðbundinna áhrifa af raforkuvinnslu í jarðhitavirkjunum.

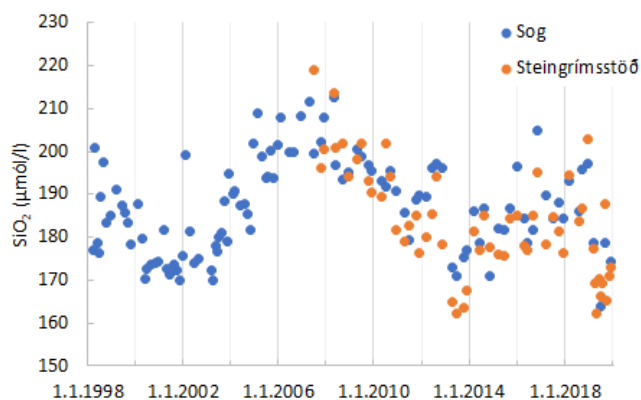
Mælingar á Na í útfalli Þingvallavatns benda til aukningar á styrk natríum (Na) yfir rannsóknatímabilið 2007–2019. Árlegur meðalstyrkur Na hefur aukist um 50  $\mu\text{mol/l}$  á tímabilinu. Uppreiknað yfir í framburð Na þýðir það aukningu um 360 tonn á ári. Til samanburðar er framburður Na í Sogi við Þrastarlund 29.500 tonn á ári miðað við langtíma meðalrennsli í Sogi (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 2019). Natríum er óhvarfgjarn efni sem ekki tekur þátt í efnahvörfum og er ekki tekið upp af lífverum í vatninu. Mest af Na er sjávarættað en hluti þess leysist úr bergi vegna efnahvarfa vatns við berg. Aukningar gætir einnig í sýnum úr lindunum Silfru og Vellankötlum. Aukningin er hæg og jöfn (7. mynd) og því ekki hægt að horfa framhjá því að þarna gæti verið um raunverulega aukningu að ræða en ekki skekkju vegna efnagreininga/söfnunar. Ekki er þó vitað af hverju hún stafar. Tvær skýringar eru helstar: 1) Aukin veðurhæð og ákoma sjávarsalta myndi auka meðalstyrk Na en það ætti einnig að auka styrk Cl. Það er ekki raunin þannig að þessi hugmynd er fremur ólíkleg. 2) Staðbundin sýring úrkomu vegna aukins útblásturs jarðhitagasa á vatnasviðinu gæti valdið auknum efnahvörfum vatns og bergs (aukin veðrun).



7. mynd. Samanburður á styrk uppleystra efna í útfalli Þingvallavatns og í lindunum Silfru og Vellanköttlu 2007-2018 og 2019. Sýnum var safnað fjórum sinnum yfir árið úr útfallinu og að hausti hvert ár úr lindunum. Ekki var safnað úr lindunum á árinu 2019 (Eydis Salome Eiríksdóttir o.fl. 2019).

Það ætti að valda auknum efnastyrk í vatninu sem ætti einkum að vera áberandi fyrir óhvarfgjörn efni eins og Na, sem tekur heldur ekki þátt í lífrænum efnaferlum. Sú skýring er líklegri til að skýra þessa hægu aukningu Na en þó skal taka þessum tilgátum með varúð þar sem aðeins er um vangaveltur að ræða. Áhugavert væri þó að sjá hver þróunin hafi verið á pH-gildi úrkomu á Írafossi fram til þessa.

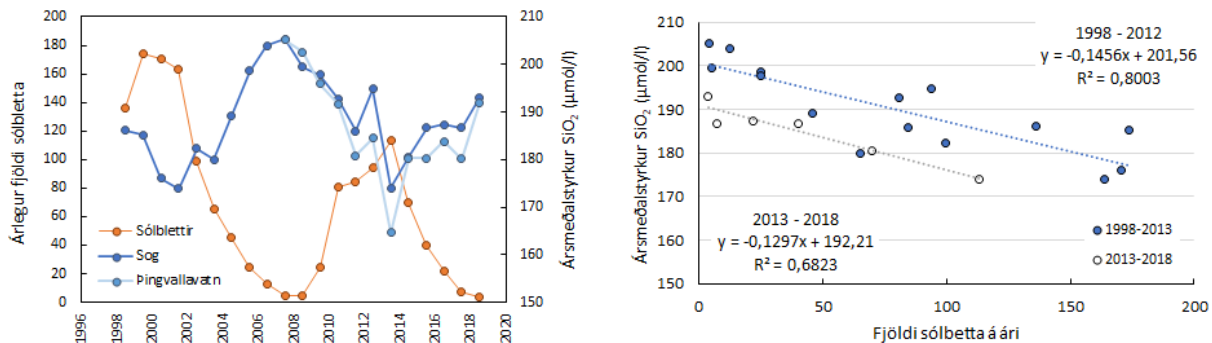
Styrkur kísils ( $\text{SiO}_2$ ) hefur lækkað yfir rannsóknatímabilið 2007 til 2019 (7. mynd). Niðurstöður mælinga á  $\text{SiO}_2$  í sýnum úr Sogi við Þrastarlund eru sambærilegar við það sem mælist í Þingvallavatni. Til er sýnasería úr Sogi frá 1998 sem hægt er að nota til að skoða breytingarnar yfir enn lengri tíma (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 2019). Niðurstöður mælinga á þeim sýnum gefa til kynna að styrkur kísils hafi sveiflast nokkuð reglulega frá u.þ.b. 170  $\mu\text{mol/l}$  til 210  $\mu\text{mol/l}$  (8. mynd). Gögn úr Sogi og Þingvallavatni frá fyrri hluta tímabilsins (1998–2012) voru endurmæld í einni keyrslu og það skýrir líklega hversu regluleg sveiflan mælist í gögnum frá því tímabili. Það er alltaf svolítill munur á milli mælingartímabila, þrátt fyrir að mælingarnar séu innan marka um nákvæmni aðferðanna. Fíngerðar breytingar, sambærilegar og sjást í styrk kísils (8. mynd), geta horfið í þess háttar óreglu á milli mælingatímabila. Það væri ástæða til að endurmæla kísil í sýnum frá 2013 til dagsins í dag og freista þess að fá hreinni mynd af styrksveiflu kísils á seinni hluta tímabilsins.



8. mynd. Langtímasveifla í styrk uppleysts kísils ( $\text{SiO}_2$ ) í útfalli Þingvallavatns 2007–2019 og í Sogi við Þrastarlund 1998–2019.

Þessi styrksveifla í kísil er það mikil og regluleg að hún getur ekki verið til komin vegna áhrifa frá manninum s.s. vegna breytinga á frárennsli virkjana og/eða sumarbústaða. Líklegast er að hún stafi af mismunandi upptöku kísilþörunga í vatninu en kísill er mjög mikilvægt næringarefni fyrir þá. Mikil virkni kísilþörunga veldur mikilli upptöku kísils úr vatninu og þar með lækkar styrkur hans í vatninu. Ef virkni kísilþörunga minnkar verður minni upptaka af kísil úr vatninu og styrkur hans í vatninu hækkar. Ef litið er á 9. mynd má sjá að styrkbreytingar kísils í

Þingvallavatni eru í öfugu hlutfalli við árlegan fjölda sólbletta (WDC-SILSO, 2017). Það þýðir að þau ár sem sólblettavirkni er mikil er frumframleiðni kísilþörunga mikil og þá varður styrkur kísils í vatninu lágur. Með minnkandi sólblettavirkni minnkar frumframleiðni og þar með eykst styrkur kísils í vatninu.



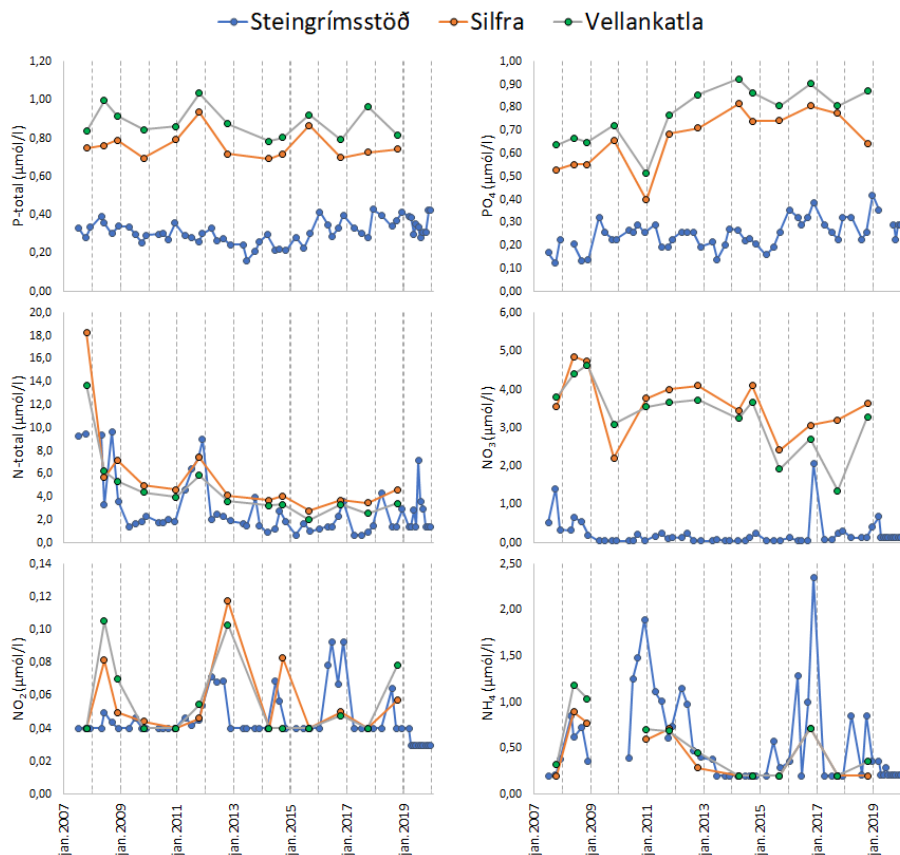
9. mynd. Samband árlegs fjölda sólbletta á ári og ársméðalstyrks kísils (SiO<sub>2</sub>) í Sogi við Þrastarlund. Gögnin eru tvískipt (1998-2012 og 2013-2018) þar sem það virðist vera kerfisbundinn munur (~5%) á mældum styrk kísils í vatninu á milli þessara tveggja tímabila, líklega vegna breytinga á greiningarbúnaði hjá ALS.

Sólblettavirkni virðist því hafa áhrif á frumframleiðni í vatninu. Þetta er ekki í fyrsta sinn sem bent hefur verið á samband á milli fjölda sólbletta og lífríkis. Guðmundur Böðvarsson og Jón Jónsson (1961) bentu á að hugsanlega væri samband á milli sólblettavirkni og fjölda veiddra þorska á vetrarvertíð við Vestmannaeyjar á árunum 1900 til 1940. Í þeim gögnum lítur út fyrir að flestir þorskar hafi veiðst á tímabilum þar sem sólblettavirkni var lítil. Sólblettavirkni er sveiflukennd með 11 ára endurkomutíma. Ef tilgátan sem sett er fram hér að framan, um beint samband sólblettavirkni og frumframleiðni kísilþörunga er rétt, gæti það skýrt eitthvað af þeim lífríkissveiflum sem sjást í náttúrunni þar sem frumframleiðni er grunnur fæðukeðjunnar.

Kísilþörungar eru mikilvæg fæða fyrir seiði. Á tímabilum þegar fæðan er mikil er líklegt að mörg seiði nái að komast á legg og nái kynþroska auk þess sem seiði sem klekjast úr hrognum stórra hrygna eru lífvænlegri en afkvæmi lítilla hrygna. Aukin sólblettavirkni og meiri frumframleiðni kísilþörunga getur þar með verið gott veganesti fyrir seiði, sem lifa þá frekar af heldur en á tímabilum þar sem minna er um kísilþörunga. Óbein áhrif sólblettavirkni veldur því mögulega sveiflum í fjölda veiddra fiska, með einhverjum taftíma þó.

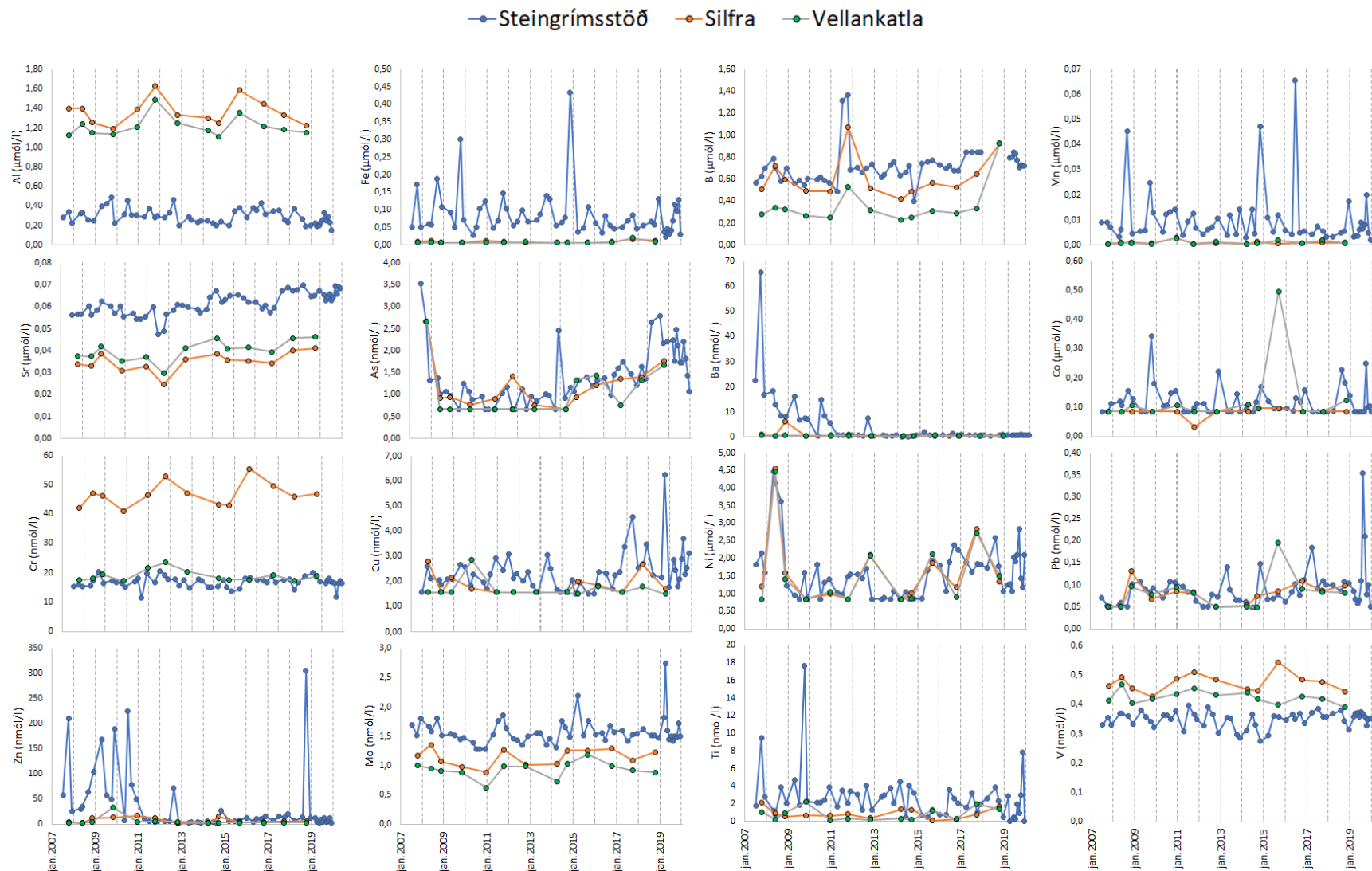
**Næringarefni:** Styrkur næringarefnanna PO<sub>4</sub>, P-total, NO<sub>3</sub> og N-total var hærri í lindunum en í útfallinu (10. mynd). Styrkur uppleysts köfnunarefnis (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>) var oftast undir greiningarmörkum í útfallinu og það átti einnig oft við um heildarstyrk uppleysts köfnunarefnis (N-total). Styrkur næringarefna í sýnum frá 2019 var í öllum tilfellum sambærilegur við það sem mældist á árunum 2007–2018. Þó urðu greinileg mistök við greiningu PO<sub>4</sub> í fimm fyrstu sýnunum

frá árinu 2019 og mældist styrkurinn þá undir greiningarmörkum. Þau sýni eru ekki með á 10. mynd. Hlutföll fosfórs og köfnunarefnis (P:N) eru lægri en 1:16 sem er nauðsynlegt fyrir ljóstillífun (jafna 1; Redfield 1958). Það gefur til kynna að köfnunarefni sé takmarkandi fyrir vöxt ljóstillífandi lífvera. Það endurspeglast einnig í mjög lágu styrk köfnunarefnis í útfallinu miðað við í lindunum, á meðan styrkur fosfats í útfallinu er vel mælanlegur.



10. mynd. Samanburður á styrk uppleystra næringarefna í útfalli Þingvallavatns og í lindunum Silfru og Vellankötlu 2007-2018 og 2019. Ekki var safnað úr lindunum á árinu 2019 (Eydis Salome Eiríksdóttir o.fl. 2019).

**Snefilefni:** Styrkur margra snefilefna er svipaður í lindunum og í útfallinu. Mörg þeirra efna eru einnig í mjög litlum styrk og nálægt greiningarmörkum. Styrkur margra snefilefna er ýmist hærri eða lægri í lindunum en í útfallinu (11. mynd). Styrkur áls (Al) var t.d. meiri í lindunum en í útfallinu sem hægt er að skýra með þeirri pH-breytingu sem á sér stað eftir að lindarvatnið kemst í snertingu við andrúmsloft því leysni margra málma er háð pH gildi vatnsins.





Styrkur snefilefna í lindunum Vellankötlu og Silfru er yfirleitt sambærilegur eða lítillega lægri í Vellankötlu en í Silfru. Það er þó ekki algilt því að styrkur króm (Cr) í Silfru er mun hærri en í Vellankötlu og útfallinu. Styrkur króms er, eins og fram kemur í kafla 4.3, í flokki II í reglugerð um varnir gegn mengun vatns (nr. 796/1999). Það endurspeglar að lítil hættu sé á að lífríki í vatninu verði fyrir áhrifum af völdum Cr styrks í vatninu. Styrkur snefilefna í sýnum frá 2019 er sambærilegur og í sýnum frá 2007 til 2018 fyrir utan styrk kadmíums (Cd) sem var alltaf hærri í sýnum frá 2019 en á fyrra tímabili. Það er líklegast til komið vegna mengunar í sýnatökubúnaði. Tryggja þarf viðeigandi hreinsun á búnaði áður en frekari sýnataka fer fram.

## 6 samantekt

Í skýrslunni eru teknar saman niðurstöður mælinga og efnagreiningar á sýnum úr Þingvallavatni frá árinu 2019. Sýnunum var safnað mánaðarlega frá mars til desember 2019. Tíðni sýnasöfnunar var meiri árið 2019 en á árunum 2007–2018 en hún var gerð á sama tíma og söfnun sýna til forgangsefnamælinga fór fram.

Niðurstöðurnar eru bornar saman við niðurstöður mælinga frá 2007–2018 úr vöktun á efnastyrk Þingvallavatns sem framkvæmd var af Jarðvísindastofnun Háskólans. Framkvæmd vöktunarinnar sem fram fór árið 2019 er sambærileg við það sem gert var á fyrri rannsóknatímabilum til að tryggja samanburð mælinga. Helstu niðurstöður eru að pH hefur lækkað frá 2007 og Na hefur hækkað smám saman yfir tímabilið. Ekki er gott að segja hvað veldur þeim breytingum en hugsanlegt er að staðbundin lækkun sé á pH í úrkomu vegna losunar á jarðhitagösum frá Nesjavallavirkjun og Hellisheiðavirkjun. Lækkun pH í úrkomu eykur leysingu bergs (veðrun) sem kemur fram í hækkandi efnastyrk óhvarfgjarnra efna eins og natríum. Jöfn og stöðug hækkun á styrk natríum kemur fram bæði í lindunum og útfalli Þingvallavatns.

Styrkur kísils hefur sveiflast nokkuð reglulega yfir rannsóknatímabilið og er meðalársstyrkur kísils í öfugu hlutfalli við árlegan fjölda sólbletta á sama tíma. Tilgátan sem hér er lögð til er að það sé beint samband á milli fjölda sólbletta og frumframleiðni kísilþörunga í Þingvallavatni, og þar með upptöku kísils úr vatninu. Sé þessi tilgáta rétt gæti hún einnigátt við um aðra frumframleiðendur í vatni og á landi og jafnvel útskýrt þekktar sveiflur í stofnstærð síðframleiðenda.

Tíðni sýnasöfnunar minnkar strax á árinu 2020 og verður safnað fjórum sinnum á því ári, á sama tíma og úr öðrum vöktuðum straumvötum á Suðurlandi, Þjórsá, Ölfusá og Sogi.

## Þakkir

Bestu þakkir fá Finnur Ingimarsson, Ríkey Hlín Sævarsdóttir og Haraldur Rafn Ingvason á Náttúrufræðistofu Kópavogs sem unnið hafa að vöktun á Þingvallavatni um árabil og komu að sýnasöfnun fyrir þessa rannsókn og sáu um söfnun sýna til rannsókna á forgangsefnum í vatninu á árinu 2019. Einnig fær Sigurður Reynir Gíslason á Jarðvísindastofnun Háskólans bestu þakkir fyrir samstarf um vöktun á efnasamsetningu Þingvallavatns síðan 2007, traust og vináttu í gegn um tíðina. Samstarfsaðilar um vöktun Þingvallavatns (Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur, Þjóðgarðurinn á Þingvöllum, Bláskógabyggð og Grímsnes- og Grafningshreppur), og Tryggvi Þórðarson hjá Umhverfisstofnun fá bestu þakkir fyrir áframhaldandi áhuga á verkefninu.

## Heimildir

Árni Snorrason. (2002). *Vatnafar á vatnasviði Þingvallavatns*. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). (ritstj. Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson), Mál og menning, bls. 110–119.

Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Sigfús J. Johnsen. (1992). Stable isotope study of the Thingvallavatn area. Groundwater origin, age and evaporation models. *Oikos*, 64. 136-150.

Eydis Salome Eiríksdóttir, Árni Sigurdsson, Sigurdur Reynir Gíslason and Peter Torssander. (2014). Chemical composition of precipitation and river water in southern Iceland: effects of Eyjafjallajökull volcanic eruptions and geothermal power plants. *Procedia Earth and Planetary Science* 10, 358–364.

Eydis Salome Eiríksdóttir, Deirdre Clark, Carl-Magnus Mörrth og Sigurður Reynir Gíslason. (2019). *Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2018*. RH-02-2019, 42 bls.

Eydis Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Jörunn Harðardóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, Kristjana G. Eyþórsdóttir. (2011). *Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Vesturlandi V*. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík, RH-06-2011, 46 bls.

Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnason. (2002). *Grunnvatnið til Þingvallavatns*. Í: Þingvallavatn, undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson), Mál og menning. Bls. 120 – 135.

Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson og Sigurjón Rist. (1992). Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64. Bls. 121-135.

Jón Ólafsson. (1992). Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. *Oikos* 64. 151– 161.

Sigríður Magnea Óskarsdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Stefanía Guðrún Halldorsdóttir, Guðrún Gísladóttir. (2011). Spatial distribution of dissolved constituents in Icelandic river waters. *Journal of Hydrology* 397, 175–190.

Sigurður Reynir Gíslason, Deirdre Clark, Svava Björk Þorlákssdóttir, Jörunn Harðardóttir, Carl-Magnus Mörrth og Eydis Salome Eiríksdóttir. (2019). *Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XXII*. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík, RH-03-2019.

WDC-SILSO. (2017). Royal Observatory of Belgium, Brussels.

## **Viðauki**

Sjá næstu bls.

Tafla V1. Niðurstöður greininga og mælinga á vatnssýnum frá 2019 úr Þingvallavatni við Steingrímsstöð. Meðaltal og staðalfrávik eru gefin upp og eins I. og II. mörk flokka í reglugerð 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

### Þingvallavatn við Steingrímsstöð

| Sýnanúmer      | Dagsetning | Tími  | Lofthiti | Vatnshiti | pH   | Leiðni | O <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | Na     | K      | Ca     | Mg     | Alkalinity | DIC    | SO <sub>4</sub> | Cl     | F      | Hleðslu- | %      | TDS reiknað |
|----------------|------------|-------|----------|-----------|------|--------|----------------|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----------------|--------|--------|----------|--------|-------------|
|                |            |       | °C       | °C        |      | µS/cm  | %              | mg/l           | µmól/l           | µmól/l | µmól/l | µmól/l | µmól/l | meq/l      | µmól/l | µmól/l          | µmól/l | µmól/l | jafnvægi | skekki | mg/kg       |
| 20190408-11:40 | 8.4.2019   | 11:40 |          | 1,6       | 7,29 | 71,8   |                |                | 169              | 392    | 15,2   | 102    | 55,1   | 0,475      | 0,475  | 25,5            | 167    | 3,5    | 0,03     | 1,8    | 62,1        |
| 20190514-11:30 | 14.5.2019  | 11:30 |          | 4,3       | 7,59 | 71,7   | 104            | 13,6           | 162              | 388    | 15,8   | 103    | 56,0   | 0,468      | 0,468  | 25,7            | 166    | 3,5    | 0,03     | 2,3    | 61,2        |
| 20190611-12:15 | 11.6.2019  | 12:15 |          | 9,5       | 7,97 | 73,0   | 110            | 12,5           | 170              | 387    | 15,9   | 105    | 57,6   | 0,480      | 0,479  | 26,3            | 168    | 3,5    | 0,02     | 1,6    | 62,5        |
| 20190715-12:30 | 15.7.2019  | 12:30 |          | 10,0      | 7,86 | 72,3   | 109            | 12,3           | 166              | 399    | 15,7   | 102    | 54,7   | 0,472      | 0,472  | 21,7            | 165    | 3,6    | 0,04     | 3,1    | 61,4        |
| 20190813-12:20 | 13.8.2019  | 12:20 |          | 12,1      | 7,87 | 71,7   | 105            | 11,3           | 169              | 387    | 15,7   | 103    | 56,0   | 0,468      | 0,468  | 23,6            | 168    | 3,5    | 0,03     | 2,4    | 61,5        |
| 20190916-12:15 | 16.9.2019  | 12:15 | 5        | 8,6       | 7,36 | 70,1   | 99,4           | 11,6           | 188              | 419    | 16,6   | 111    | 60,1   | 0,466      | 0,466  | 23,3            | 166    | 3,7    | 0,09     | 6,5    | 63,5        |
| 20191015-12:00 | 15.10.2019 | 12:30 | 9,8      | 8,1       | 7,58 | 68,4   | 101            | 11,9           | 165              | 396    | 15,9   | 105    | 56,4   | 0,463      | 0,462  | 22,9            | 165    | 3,8    | 0,06     | 4,0    | 61,0        |
| 20191118-12:15 | 18.11.2019 | 12:15 | 3        | 4,7       | 7,93 | 73,5   | 97,4           | 12,5           | 171              | 421    | 17,1   | 111    | 59,7   | 0,460      | 0,459  | 22,8            | 165    | 3,6    | 0,11     | 7,2    | 62,1        |
| 20191216-11:30 | 16.11.2019 | 11:30 | 1        | 2,5       | 7,36 | 70,6   | 96,6           | 13,2           | 173              | 405    | 16,5   | 109    | 59,2   | 0,469      | 0,469  | 23,7            | 165    | 3,6    | 0,07     | 5,2    | 62,4        |
| Meðaltal       |            |       |          | 6,82      | 7,65 | 71,5   | 103            | 12,4           | 170              | 399    | 16,1   | 106    | 57,2   | 0,47       | 0,47   | 23,9            | 166    | 3,58   | 0,05     | 3,78   | 62,0        |
| Staðalfrávik   |            |       |          | 3,65      | 0,27 | 1,56   | 4,91           | 0,78           | 7,21             | 13,09  | 0,58   | 3,68   | 2,03   | 0,01       | 0,01   | 1,53            | 1,24   | 0,11   | 0,03     | 2,07   | 0,79        |

| Sýnanúmer                         | Dagsetning | Tími  | TOC<br>mg/l | P-total <sup>1</sup><br>µmól/l | P-total <sup>2</sup><br>µmól/l | PO <sub>4</sub><br>µmól/l | DOP<br>µmól/l | N-total<br>µmól/l | NO <sub>3</sub><br>µmól/l | NO <sub>2</sub><br>µmól/l | NH <sub>4</sub><br>µmól/l | DIN<br>µmól/l | DON<br>µmól/l | DIN/DON<br>µmól/l | PO <sub>4</sub> /DOP<br>µmól/l |
|-----------------------------------|------------|-------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
| 20190408-11:40                    | 8.4.2019   | 11:40 | <0,10       | 0,387                          | 0,129                          | <0,03                     |               | <1,4              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 1,02          | 0,373             |                                |
| 20190514-11:30                    | 14.5.2019  | 11:30 | 0,38        | 0,299                          | 0,549                          | <0,03                     |               | 2,86              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 2,48          | 0,153             |                                |
| 20190611-12:15                    | 11.6.2019  | 12:15 | 0,29        | 0,355                          | 0,387                          | <0,03                     |               | <1,4              | <0,14                     | <0,03                     | 0,286                     | 0,456         | 0,944         | 0,482             |                                |
| 20190715-12:30                    | 15.7.2019  | 12:30 | 0,21        | 0,336                          | 0,323                          | <0,03                     |               | 7,14              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 6,76          | 0,056             |                                |
| 20190813-12:20                    | 13.8.2019  | 12:20 | 0,23        | 0,281                          | 0,258                          | <0,03                     |               | 3,57              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 3,19          | 0,119             |                                |
| 20190916-12:15                    | 16.9.2019  | 12:15 | <0,5        | 0,312                          | 0,323                          | 0,291                     | 0,021         | 3,00              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 2,62          | 0,145             | 14,2                           |
| 20191015-12:00                    | 15.10.2019 | 12:30 | <0,5        | 0,310                          | 0,291                          | 0,226                     | 0,084         | <1,4              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 1,02          | 0,373             | 2,70                           |
| 20191118-12:15                    | 18.11.2019 | 12:15 | <0,5        | 0,423                          |                                | 0,291                     | 0,132         | <1,4              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 1,02          | 0,373             | 2,21                           |
| 20191216-11:30                    | 16.11.2019 | 11:30 | <0,5        | 0,426                          | 0,387                          | 0,291                     | 0,135         | <1,4              | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,380         | 1,02          | 0,373             | 2,15                           |
| Meðaltal                          |            |       | <0,36       | 0,35                           | 0,33                           | 0,27                      | 0,09          | <2,62             | <0,14                     | <0,03                     | <0,21                     | 0,39          | 2,23          | 0,27              | 5,30                           |
| Staðalfrávik                      |            |       | 0,15        | 0,05                           | 0,12                           | 0,03                      | 0,05          | 1,90              |                           |                           |                           | 0,03          | 1,91          | 0,15              | 5,91                           |
| 1. mörk skv. reglug. nr. 796/1999 |            |       | 1,50        | 0,32                           | 0,32                           |                           |               | 21,4              |                           |                           |                           |               |               |                   |                                |
| 2. mörk skv. reglug. nr. 796/1999 |            |       | 3,00        | 0,97                           | 0,97                           |                           |               | 53,6              |                           |                           |                           |               |               |                   |                                |

| Sýnanúmer                                             | Dagsetning | Tími  | Al<br>µmól/l | Fe<br>µmól/l | B<br>µmól/l | Mn<br>µmól/l | Sr<br>µmól/l | As<br>nmól/l | Ba<br>nmól/l | Cd<br>nmól/l | Co<br>nmól/l | Cr<br>nmól/l | Cu<br>nmól/l | Ni<br>nmól/l | Pb<br>nmól/l | Zn<br>nmól/l | Hg<br>nmól/l | Mo<br>nmól/l | Ti<br>nmól/l | V<br>µmól/l |
|-------------------------------------------------------|------------|-------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 20190408-11:40                                        | 8.4.2019   | 11:40 | 0,192        | 0,024        | 0,793       | 0,003        | 0,063        | 1,78         | 0,867        | 0,024        | <0,085       | 17,7         | 2,45         | 1,28         | 0,067        | 4,50         | <0,010       | 2,75         | <0,02        | 0,369       |
| 20190514-11:30                                        | 14.5.2019  | 11:30 | 0,196        | 0,046        | 0,805       | 0,004        | 0,064        | 2,48         | 0,837        | 0,097        | <0,085       | 18,0         | 1,81         | 1,07         | 0,058        | <3,06        | <0,010       | 1,61         | 0,19         | 0,371       |
| 20190611-12:15                                        | 11.6.2019  | 12:15 | 0,234        | 0,029        | 0,845       | 0,006        | 0,066        | 2,12         | 0,852        | 0,030        | <0,085       | 17,1         | 2,09         | 2,03         | 0,065        | 9,57         | <0,010       | 1,45         | 0,51         | 0,359       |
| 20190715-12:30                                        | 15.7.2019  | 12:30 | 0,255        | 0,042        | 0,832       | 0,009        | 0,063        | 1,72         | 0,852        | 0,115        | <0,085       | 16,7         | 2,90         | 1,93         | 0,109        | 5,34         | <0,010       | 1,50         | 0,25         | 0,375       |
| 20190813-12:20                                        | 13.8.2019  | 12:20 | 0,329        | 0,069        | 0,770       | 0,007        | 0,064        | 1,74         | 1,049        | 0,156        | <0,085       | 16,4         | 3,68         | 2,10         | 0,354        | 12,1         | <0,010       | 1,42         | 1,99         | 0,369       |
| 20190916-12:15                                        | 16.9.2019  | 12:15 | 0,254        | 0,115        | 0,708       | 0,008        | 0,069        | 2,22         | 0,724        | 0,209        | 0,251        | 11,8         | 2,28         | 2,85         | 0,210        | 5,02         | <0,010       | 1,50         | 0,95         | 0,357       |
| 20191015-12:00                                        | 15.10.2019 | 12:30 | 0,287        | 0,097        | 0,726       | 0,020        | 0,066        | 1,83         | 0,757        | 0,093        | 0,098        | 16,3         | 2,55         | 1,44         | 0,078        | 6,53         | <0,010       | 1,49         | 2,97         | 0,328       |
| 20191118-12:15                                        | 18.11.2019 | 12:15 | 0,231        | 0,128        | 0,719       | 0,005        | 0,069        | 1,44         | 0,695        | 0,081        | 0,104        | 17,3         | 3,12         | 1,19         | 0,100        | 13,0         | <0,010       | 1,72         | 7,85         | 0,349       |
| 20191216-11:30                                        | 16.11.2019 | 11:30 | 0,146        | 0,031        | 0,722       | 0,002        | 0,068        | 1,07         | 0,679        | 0,029        | <0,085       | 16,3         | <0,002       | 2,11         | <0,05        | <3,0         | <0,010       | 1,50         | <0,02        | 0,353       |
| Meðaltal                                              |            |       | 0,236        | 0,064462     | 0,7688      | 0,0071       | 0,0659       | 1,82         | 0,8125       | 0,09         | <0,107       | 16,399       | <2,32        | 1,78         | 0,12133      | <6,90        | <0,010       | 1,6596       | <1,64        | 0,359       |
| Staðalfrávik                                          |            |       | 0,0543       | 0,039647     | 0,0523      | 0,0053       | 0,0025       | 0,4203       | 0,1144       | 0,0621       | 0,0545       | 1,82         | 1,04         | 0,575501     | 0,09973      | 3,7602       | 0            | 0,4193       | 2,5371       | 0,0146      |
| 1. mörk til verndar lífríki skv. reglug. nr. 796/1999 |            |       |              |              |             |              |              | 5,34         |              | 0,09         |              | 5,7697       | 7,87         | 11,9         | 0,96525      | 76,5         |              |              |              |             |
| 2. mörk til verndar lífríki skv. reglug. nr. 796/1999 |            |       |              |              |             |              |              | 66,7         |              | 0,8896       |              | 96,2         | 47,2         | 256          | 4,83         | 306          |              |              |              |             |



**HAFRANNSÓKNASTOFNUN**

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna