

HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

10 ára vöktun á svifþörungum í Þingvallavatni
2015 til 2024

Gunnar Steinn Jónsson



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

MARINE & FRESHWATER RESEARCH INSTITUTE

Tíu ára vöktun á svifþörungum í Þingvallavatni 2015 til 2024

Höfundar	Gunnar Steinn Jónsson
Unnið fyrir	Bláskógabyggð, Grímsnes- og Grafningshrepp, Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur og Þjóðgarðinn á Þingvöllum
Samstarfsaðilar	RORUM ehf og Náttúrufræðistofa Kópavogs á meðan stofan var starfrækt.
Verkefnisstjóri	
Yfirfarið af	
Samþykkt af	Guðni Guðbergsson, sviðsstjóri Ferskvatns- og eldissviðs

Haf- og vatnarannsóknir / Marine and Freshwater Research in Iceland

Númer	HV 2024-46	ISSN	2298-9137
Dagsetning	7. október 2024	Dreifing	Opin
Fjöldi síðna	41	Verknúmer	00976796

© Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

Ágrip

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir vöktun svifþörunga í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2015–2024, en einnig er hér að finna yfirlit yfir aðrar rannsóknir sem gerðar hafa verið, ásamt tegundalistum og ljósmyndum sem ná yfir helstu tegundir sem finnast í svifvist vatnsins. Vöktunin sem hér er til umfjöllunar hefur verið hluti umfangsmeiri vöktunar á lífverum í svifvist Þingvallavatns, sem staðið hefur frá árinu 2007. Niðurstöður vöktunarinnar eru margþættar en sýna m.a. fram á töluverðar sveiflur í magni og samsetningu svifþörunga, en þeir skapa síðan fæðugrunn fyrir dýr ofar í fæðuvef vatnsins. Niðurstöðurnar sem hér eru kynntar hafa aukið verulega við þekkingu á samsetningu þörungasvifs í Þingvallavatni og framvindu þess í tíma og rúmi.

Lykilorð: Þingvallavatn, svifþörungar, *Aulacoseira*, vorhámark

Abstract

Presented here are results from a monitoring project, covering the period of 2015–2024 focusing on phytoplankton in Lake Þingvallavatn. This report also includes summary of older research on that subject along with species list and photographs of major participants in the planktonic community of the lake. Results show considerable fluctuations in the phytoplankton community, which importance is high as a major food source for animals higher in the food web of the lake. This project has greatly added to the knowledge base of the succession of the phytoplankton community in the lake, in both time and space.

Keywords: *Þingvallavatn, phytoplankton, Aulacoseira, spring-bloom*

Efnisyfirlit

1 Inngangur	1
2 Aðferðir	3
2.1 Sýnatökustaðir	3
2.2 Söfnun sýna.....	3
2.3 Smásjárskoðun	4
2.3.1 Greiningar- og talningarmarkmið	5
2.3.2 Talninga-, þörungaeiningar	5
3 Niðurstöður og umræður	6
3.1 Sýnatökustaðir	6
3.2 Þörungasamfélagið í ljóstillífunarlaginu	7
3.3 <i>Aulacoseira islandica</i> (Otto Müller) Simonsen og <i>Aulacoseira subarctica</i>	9
(O.Müller) E.Y.Haworth	9
3.4 <i>Asterionella formosa</i> Hasall	14
3.5 Magn þörungasvifs í Þingvallavatni	17
3.6 Árstíðarsveiflan.....	18
3.7 Magn svifþörungum í Þingvallavatni eftir dýpi.....	18
3.8 Samanburður á magni svifþörungum í vorhámarki milli ára	22
3.9 Hlutfallslegur fjöldi frumna og magn svifþörungum í Þingvallavatni eftir fylkingum...	23
4 Svifþörungum í Þingvallavatni	26
4.1 Yfirlit yfir fyrri rannsóknir.....	26
4.2 Tegundir svifþörungum í vatninu	28
5 Heimildir	29
Viðauki 1: Nokkrar mikilvægar tegundir í svifvist Þingvallavatns	31
Viðauki 2: Ljósmyndir af nokkrum svifþörungum, öðrum en kísilþörungum	33

Myndaskrá

Mynd 1. Stíflumannvirki Landsvirkjunar við útfall Þingvallavatns; Steingrímsstöð. Mest af sýnum þessa verkefnis eru tekin út frá stíflunni.....	1
Mynd 2. Magn svifþörungum (mm^3 /l) í Steingrímsstöð samanborið við 1-10 m dýpi í stöð 3. Uppsöfnuð gögn fyrir árin 2015 til 2022.....	6
Mynd 3. Magn (mm^3) þörungasvifs á þremur mismunandi dýpum (5, 10 og 20 m) og dreifingu þess um línu fyrir meðaltal allra mælinga á 0 til 20 m dýpi. Magn þörungum er mjög breytilegt eftir sýnatökudögum, en sýni sem notuð eru í þessum samanburði voru tekin á öllum árstímum (29 sýnatökudagar árin 1974, 1975, 2019 til 2022).....	8
Mynd 4. Myndin sýnir hlutfallsleg vik í magni (mm^3) þörungasvifs á þremur mismunandi dýpum (5, 10 og 20 m) sem vik frá línu fyrir meðaltal (=1) allra mælinga á 0 til 20 m dýpi hvern sýnatökudag. Sýni voru tekin á öllum árstímum, 29 sýnatökudaga árin 1974, 1975.....	9
Mynd 5. <i>Aulacoseira islandica</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-2020: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.02.2018, 08.01.2019, 10.02.2020 - M00328).	10
Mynd 6. <i>Aulacoseira islandica</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð (Landsvirkjun, 2020-2024: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24.4.2023, 13.3.2024 - M00328).	11
Mynd 7. <i>Aulacoseira subarctica</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-203: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.02.2018, 08.01.2019, 10.02.2020 - M00328).....	12
Mynd 8. <i>Aulacoseira subarctica</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð (Landsvirkjun, 2020-2024: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24.4.2023, 13.3.2024 - M00328).	13
Mynd 9. <i>Asterionella formosa</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-2019: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.2.2018, 8.1.2019, 10.2.2020 - M00328).....	15
Mynd 10. <i>Asterionella formosa</i> . Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2023. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð (Landsvirkjun, 2020-2022: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24. 4.2023, 13.3.2024 - M00328).	16
Mynd 11. Magn þörungasvifs í yfirborði (0-10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 1974 til 1975 og 2015 til vors 2024. Magnið er gefið upp í rúmmáli mm^3 /l af þörungum. Myndin sýnir meðaltöl mánaða (mánaðagildi).	17
Mynd 12. Mánaðarmeðaltöl fyrir magn þörungasvifsins í yfirborði (0-10 m) Þingvallavatns og meðalfrávik frá meðaltalinu (SD). Gagnasafnið nær orðið yfir meira en 200 mæligildi.	18
Mynd 13. Magn þörungasvifs í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Magnið er gefið upp í mm^3 fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi (grænar súlur)	

í Steingrímsstöð eða á stöð 3 og fjóra til átta sýnatökudaga á ári er mælt á tveimur dýpum til viðbótar, á 35 m (gular súlur) og 65 m (rauðar súlur) á stöð 3.....	20
Mynd 14. Magn þörungasvifs í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Magnið er gefið upp í mm ³ fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi (grænar súlur) í Steingrímsstöð eða á stöð 3 og fjóra sýnatökudaga var mælt á tveimur dýpum til viðbótar, á 35 m (gular súlur) og 65 m (rauðar súlur) á stöð 3.	21
Mynd 15. Magn þörungasvifs í vorhámarki (apríl og maí) á tímabilinu 1975 til 2024 (A) og 2010 til 2024 (B). Magnið er gefið upp í mm ³ /l fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi í Steingrímsstöð eða á stöð 3.....	22
Mynd 16. Myndin sýnir hlutfallslega tíðni tegunda (fjöldi frumna) skipt eftir fylkingum og milli mánaða. Meðaltal árána 2015 til 2023.	23
Mynd 17. Myndin sýnir hlutfallslegt magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum og milli mánaða. Meðaltal árána 2015 til 2023.	24
Mynd 18. Myndin sýnir hlutfallslega tíðni tegunda (fjöldi frumna) skipt eftir fylkingum og milli mánaða árið 2016.	24
Mynd 19. Myndin sýnir hlutfallslegt magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum og milli mánaða árið 2016.	25
Mynd 20. Myndin sýnir magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum, annarra en kísilþörungum (og blágrænna baktería) og milli mánaða. Meðaltal árána 2015 til 2023.	25

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. Síðar sagði Umhverfisstofnun sig frá verkefninu en Bláskógabyggð og Grímsnes- og Grafningshreppur gerðust aðilar. Vöktunin nær aðallega til efna- og eðlisþátta í írennsli og útfalli og lífríkis-, efna- og eðlisþátta í vatnsbol (mynd 1).

Vöktun sviðþörungum var í fyrstu aðallega gerð með mælingum á blaðgrænu a í svifinu og óbeinum aðferðum eins og mælingum á gegnsæi vatnsins. Reglulegar sviðþörungatalningar í samræmi við upphaflega samstarfsáætlun hófust árið 2015 með styrk frá Orkuveitu Reykjavíkur (Verknúmer 00976796). Með því var lagður grunnur að skipulagðri innlendri vöktun á sviðþörungum í vatninu á ný. Innviðir til þörungarannsókna voru byggðir upp frá árinu 2015 og sýnum var safnað frá ársbyrjun það ár. Samstarfshópur um vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns studdi þessar sviðþörungatalningar á árunum 2017 til 2022.



Mynd 1. Stíflumannvirki Landsvirkjunar við útfall Þingvallavatns; Steingrímsstöð. Mest af sýnum þessa verkefnis eru tekin út frá stíflunni

Teknar voru saman leiðbeiningar fyrir Þingvallavatn um aðferðafræði fyrir þörungatalningar, sem eru í samræmi við aðferðafræði árána 1974 - 1975 og sem gilda í Evrópu (t.d. WISER Guidance on phytoplankton counting, Ute Mischke og félagar 2012) og fylgja stöðlum (ÍST EN 15204:2006).

Í febrúar 2016 hófst smásjárskoðun, fyrst á sýnum frá 2015, með greiningu, myndatökum og talningum á helstu tegundum.

Þörungategundirnar *Aulacoseira islandica* og *Aulacoseira subarctica* voru taldar og mældar í sýnum sem safnað var reglulega við Steingrímsstöð. Einnig aðrar mikilvægar tegundir sem á hverjum tíma voru á valdi höfundar að greina.

Heildarfjöldi og rúmmál (líffýngd) þörungasvifsins var ákvarðað fyrir hvern sýnatökudag.

Samhliða talningum hefur verið byggður upp listi yfir helstu tegundir með lýsingum og ljósmyndum; <https://www.rorum.is/files/skra/35/>.

Ljósmynda- gagnagrunnur um sviðþörunga Þingvallavatns var birtur árið 2019. Sá hluti þörungaverkefnisins var styrktur af umhverfis- og auðlindaráðuneytinu.

2 Aðferðir

2.1 Sýnatökustaðir

Sýnum var safnað reglulega allt árið við útfallið við Steingrímsstöð og sjaldnar (oftast 4 sinnum yfir sumar og haust) af mismunandi dýpi úti á opnu vatni í suðurhluta vatnsins þar sem er yfir 65 m dýpi (stöð 3). Náttúrufræðistofa Kópavogs safnaði sýnunum á stöð 3.

Að nota Steingrímsstöð við útfall vatnsins til reglulegar sýnatöku gerði kröfu um rannsókn á því, að hvað miklu leiti samsetning og magn svifþörunga í sýnum þaðan, gæti verið lýsandi fyrir vatnið (þ.e. stöð úti á vatni) og mat á því að ekki væru strandáhrif eða mengun vegna botnþörunga. Einnig var gerð greining á því, að hvað miklu leiti sýnataka í Steingrímsstöð væri lýsandi fyrir þörungasamfélagið í ljóstillífunarlaginu (e. photic layer) eins og það er skilgreint í niðurstöðum. Tekið var mið af tillögum starfshóps ESB (WISER Guidance, Ute Mischke og félagar 2012) um aðferðafræði við söfnun og úrvinnslu svifþörunga.

Samkvæmt WISER Guidance (Ute Mischke og félagar 2012) ætti:

- 1) Að taka safnsýni frá mismunandi dýpi í ljóstillífunarlaginu (e. euphotic zone) í hitalagskiptum vötnum og lónum. Safnsýni frá mismunandi dýpi úr yfirborðslagi hitalagskiptra vatna (e. epilimnion), gæti hinsvegar verið vænlegra þegar hitalagskiptingin liggur dýpra en ljóstillífunarlagið (e. Zeu < Zepi).
- 2) Að taka sýni úr dýpasta hluta vatnsins, eða á svipuðum opnum svæðum í vatninu. Í stórum vötnum og landfræðilega flóknum vötnum ætti að taka blandsýni frá fleiri opnum hlutum vatnsins til þess að tryggja að sýnataka sé lýsandi fyrir vatnið í heild.
- 3) að aðildarríki ESB (gildir einnig fyrir EFTA ríkin) safni sýnum úti á opnu vatni, nema í þeim tilvikum þar sem hægt er að sýna fram á að sýni tekin við útfall séu lýsandi fyrir viðkomandi stöðuvatn.

2.2 Söfnun sýna

2015

Safnað 2015 sem næst hálfsmánaðarlega við Steingrímsstöð við útfall, eða 22 sýnatökudaga.

Á stöð 3 voru í 4 skipti yfir sumarið tekin sýni á 6 dýpum, 1 m, 10 m, 25 m, 35 m, 45 m og 65 m dýpi. (samtals 4 * 12 sýni). Þessi sýnataka var gerð á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs.

Fyrir hvert sýni var tekið vatn í tvær 100 ml. lyfjaflöskur (í brúnar lyfjaflöskur með svörtum tappa) á hverju dýpi, annað varðveitt með formalíni (ca. 3 ml formalín per 100 ml) og hitt í lugol (20 dropar).

Einnig var eitt háfsýni (yfirborðs (0-5 m), með 20 µm möskva) varðveitt í formalíni.

2016

Safnað var 21 sýnatökudag við Steingrímsstöð árið 2016. Á stöð 3 voru í 7 skipti yfir sumarið tekin sýni á 5 m, 35 m, og 65 m dýpi. (samtals 7 * 3 sýni). Sú sýnataka var gerð á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs.

Á árinu 2016 var hætt að taka sýni til varðveislu í formalíni, hætt að safna háfsýnum og dýptarsýnum fækkað í 5 m, 35 m og 65 m á stöð 3.

2017

Rétt þótti að auka sýnatöku við Steingrímsstöð árið 2017 til að finna bestu tíðni. Einnig að taka ávallt sýni við Steingrímsstöð samhliða sýnatöku á stöð 3.

Árið 2017 var safnað 33 sýnum við Steingrímsstöð og 4 * 3 sýnum á Stöð 3, samtals 45 sýnum.

2018

Árið 2018 var safnað 24 sýnum við Steingrímsstöð og 4 * 3 sýnum á Stöð 3, samtals 36 sýnum.

Höfundur telur að sýnatökutíðni eins og hún var framkvæmd árið 2018 sé til þess fallin að greina árstíðabreytingar og mælir með því að henni verði viðhaldið.

2019

Árið 2019 var safnað 27 sýnum við Steingrímsstöð og 4 * 6 sýnum á Stöð 3, samtals 51 sýnum.

2020

Árið 2020 var safnað 22 sýnum við Steingrímsstöð og 4 * 5 sýnum á Stöð 3, samtals 42 sýnum.

2021

Árið 2021 var safnað 24 sýnum við Steingrímsstöð og 4 * 4 sýnum á Stöð 3, samtals 40 sýnum.

2022

Árið 2022 var safnað 21 sýni við Steingrímsstöð og 4 * 4 sýnum á Stöð 3, samtals 37 sýni.

2023

Árið 2023 var safnað 21 sýni við Steingrímsstöð en engum sýnum var safnað á stöð 3.

2024

Árið 2024 var safnað 10 sýnum við Steingrímsstöð frá áramótum og fram yfir vorhámark.

2.3 Smásjárskoðun

Notuð er „Utermöhl“ aðferð við smásjárskoðun í Þingvallavatni. Þörungum í sýnaflöskunum er blandað upp með því að velta flöskunum í nokkurn tíma. 50 ml hlutsýni er hellt í sívalning og þörungarnir eru látnir botnfalla á botn í „Hydro Bios“ talningarbúnaði (counting chamber) í tvo sólahringa. Lítið lóðbretti er lagt á botnfellibúnaðinn og tryggt að hann liggi alveg lóðrétt við botnfellinguna. Þvermál talningarhólfsins er um 26 mm og flatarmál 530 mm². Talið var við 200x stækkun. Við 200x stækkun er breidd talningarbilsins 0,5 mm og lengd miðjusniðs 26 mm. Talning á einu sniði svarar því til 13/530 af sýninu og sýnið (50 ml) er 1/20 úr lítra. Fyrir 50 ml botnfellisívalning er mælt með að nota 48 klst. botnfellitíma. Smásjái sem fengin var fyrir þetta verkefni, er OPTIKA XDS-2 viðsnúin smásjá. Það fylgdu henni 10x og 20x hlutgler (objective) fyrir „phase contrast“, af fullnægjandi gæðum til talningar og 40x hlutgler fyrir „bright field“ en fyrir myndatöku er oftast best að nota „bright field“ hlutgler. Bætt var við 40x hlutgleri fyrir „phase contrast“ frá OPTICA sem ætlað var til talninga á mjög smáum tegundum. Mælt er með því að N.A. fyrir hlutglerin sé hærra en 0,5 og uppfylla 40x hlutglerin þá kröfu. Engu að síður ollu þau gler vonbrigðum og eru vart nothæf. Notað hefur verið 60x „bright field“ hlutgler frá öðrum framleiðanda með N.A. 0,85. Það gler gefur sæmilega góðan fókus og lítil ljósbrotsáhrif og er

Það gler notað til myndatöku. Fjöldinn er talinn við 200x stækkun og myndir teknar til að mæla stærð. Skipt er yfir á 600x stækkun til nánari skoðunar og myndatöku eftir þörfum. Nauðsynlegur búnaður er einnig sjóngler „ocular“ með mælikvarða og sjóngler til að afmarka og skilgreina talningarsnið og -fleti (e. Cross hair og e. whipple grid).

2.3.1 Greiningar- og talningarmarkmið

Greiningar- og talningarmarkmið voru í samræmi við staðal (ÍST EN 15204:2006) (Sjá viðauka 2 í Gunnar Steinn Jónsson 2016):

- 1) Tekinn var saman listi yfir vel skilgreindar vísitögundir í vatninu og sem dekka stærstan hlutann af þörungamagni (mælt sem rúmmál þörungum) vatnsins (viðauki 1).
- 2) Útbúin var lýsing með ljósmyndum (gagnagrunnur) af þessum vísitögundum og öðrum svifþörungum sem greindir voru til tegunda (<https://www.rorum.is/files/skra/35/>).
- 3) Aðrir þörungar sem komu inn í talningu og voru ekki greindir til tegunda voru flokkaðar í samræmi við viðauka 2 í skýrslu frá 2016 (Gunnar Steinn Jónsson 2016).
- 4) Útreikningar á rúmmáli (mm^3/l) tegunda byggja á HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. No. 106 (Olenina, I & fleiri, 2006).
- 5) Tegundir án blaðgrænu voru ekki (nema með örfáum undantekningum) taldar.
- 6) Örmsáum tegundum var sleppt (tegundir um eða minni en 2 - 5 μm í þvermál og formum þar sem ekki var ljóst hvort um þörungum væri að ræða) nema svipur sæjust greinilega.

2.3.2 Talninga-, þörungaeiningar

Þörungaeiningar (stakar frumur, þræðir og sambýli) eru taldar á miðjusniðum (langs og þvers). Talningarhólflið liggur í sæti á smásjárborðinu og er ekki hægt að snúa að vild. Botnfallið sýnið er skoðað fyrir talningu og metið hvort botnfallið hafi dreift sér jafnt eða á einhvern óvenjulegan hátt. Ef ekkert óvenjulegt sést er gert ráð fyrir tilviljanakenndri dreifingu.

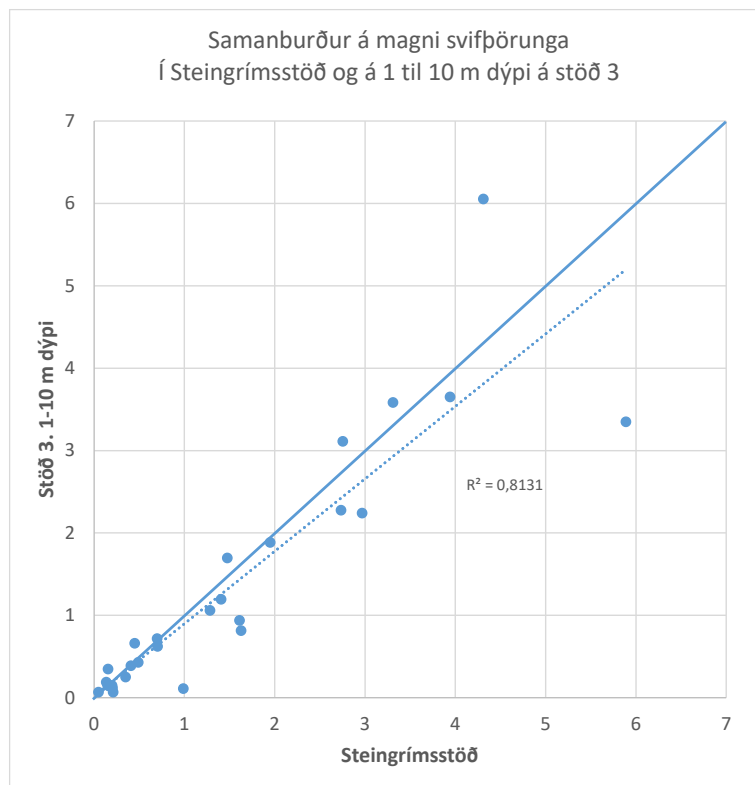
Í Þingvallavatni eru keðjur og allar frumur *Aulacoseira islandica* og *A. subarctica* taldar. Sama á við fyrir allar aðrar kísilþörungakeðjur eða sambýli (*Asterionella formosa* og *Fragilaria* keðjur). Hafa verður í huga að tölfræðin (tilviljanakennd dreifing) fylgir keðjunum (þörungaeiningunum) og þarf því að hafa tölu á þeim einnig. Ef þörungaeiningarnar (stakar frumur, keðjur, sambýli) eru tilviljanakennt dreifðar í talningarbúnaðinum (counting chamber) uppfylla þær „Poisson“ dreifingu og ef taldar eru 100 einingar eru öryggismörkin talin vera $\pm 20\%$ (Lund, Kipling and LeCren, 1958).

Venjan er að telja sambýli þegar sambýlið er með fastan fjölda eins og hjá mörgum grænþörungum. Einnig sambýli t.d. bláþörungum, þegar nánast ómögulegt er að telja einstakar frumur.

3 Niðurstöður og umræður

3.1 Sýnatökustaðir

Þegar sýnatökustaður er ákveðinn vaknar alltaf sú spurning hversu lýsandi hann er fyrir vatnið. Það hafði þegar verið kannað fyrir Steingrímsstöð í tengslum við vöktun Þingvallavatns þegar þetta verkefni hófst (Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason og Stefán Már Stefánsson 2010). Við rannsókn á sýnatökustöðvum var ekki um marktækan mun að ræða í meðalstyrk blaðgrænu-a milli stöðva 1, 2 og 3 úti í vatninu. Aftur á móti var marktækur munur í blaðgrænumagninu eftir mældögum. Við sýnatöku í útfallinu ofan og neðan við Steingrímsstöð (stöðvar 4 og 5) reyndist magn blaðgrænu-a mjög svipað á hverjum mælidegi fyrir sig og á heildina litið var ekki um marktækan mun að ræða milli stöðva 4 og 5. Blaðgrænumagnið á stöðvum nr. 4 og 5 var jafnframt keimlíkt því sem mældist á stöðvum nr. 1 til 3 úti í vatninu á hverjum mælidegi fyrir sig (Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason og Stefán Már Stefánsson 2010). Þarna voru komin rök fyrir því að fylgjast mætti með þörungamagni (magn blaðgrænu-a) í Þingvallavatni með því að taka sýni við Steingrímsstöð. Til að staðfesta þessar niðurstöður frekar voru reglulega (fjórum sinnum á ári) tekin sýni samhliða á stöð 3 (5 m dýpi) og frá stíflu við Steingrímsstöð til samanburðar á magni þörunga (mynd 2).



Mynd 2. Magn svifþörunga (mm³ /l) í Steingrímsstöð samanborið við 1-10 m dýpi í stöð 3. Uppsöfnuð gögn fyrir árin 2015 til 2022.

Tuttugu og átta mælingar á þörungamagninu í Steingrímsstöð og á eins, 5 eða 10 metra dýpi samtímis til samanburðar á stöð 3 sem teknar voru á árunum 2015 til 2022 eru sýndar á mynd 2. Ef enginn munur

væri, lægju punktarnir á óslitnu línunni horna á milli. Steingrímsstöð sýnir aðeins hærra gildi (meðaltal = 1,45) en á stöð 3 (meðaltal = 1,30) sem lýsir sér í að aðeins fleiri gildi eru hægra megin við óslitnu línuna. Hið æskilega er að til lengri tíma dreifist punktarnir sbr. mynd 2, jafnt báðum megin línunnar sem dregin er horna á milli og séu sem næst línunni. Nokkur svæðisbundinn munur milli sýna á ekki að koma á óvart í svo stóru vatni en hann á helst ekki að vera kerfisbundinn til lengri tíma. Niðurstöðurnar sem sýndar eru á mynd 2, bera með sér enn sem fyrr, að fylgjast megi með þörungamagni í efstu lögum Þingvallavatns með því að taka sýni við Steingrímsstöð. Það vatn er blandað yfirborðsvatn (0 til 10 m).

Í WISER Guidance (Ute Mischke og félagar 2012) er mælt með að hafa stöðvar úti á vatni, sem næst miðju vatni. Vísað er m.a. í hugsanleg strandáhrif þegar vatn sem er nær landi og vatnið sem fer í útfallið rennur fyrst yfir grynningar og rífur með sér botngróður og þörunga í leiðinni. Í Þingvallavatni eru aðstæður nokkuð frábrugðnar þeim sem menn hafa í huga við gerð slíkra leiðbeininga. Inntaksvatn virkjunarinnar er 8 m djúpt og út frá inntakinu dýpkar nokkuð hratt niður á um 20 m dýpi. Vatnið sem berst þaðan niður í Steingrímsstöð kemur úr vatnsbolnum og verður að beljandi fljóti (100 m³ /s) framan við inntakið. Það eru lítil sem engin víðáttumikil grunnsvæði fyrir allt þetta vatn að fara yfir. Þegar magn þörunga sem ættað er af botni er skoðað er það ekki mjög áberandi í sýnunum.

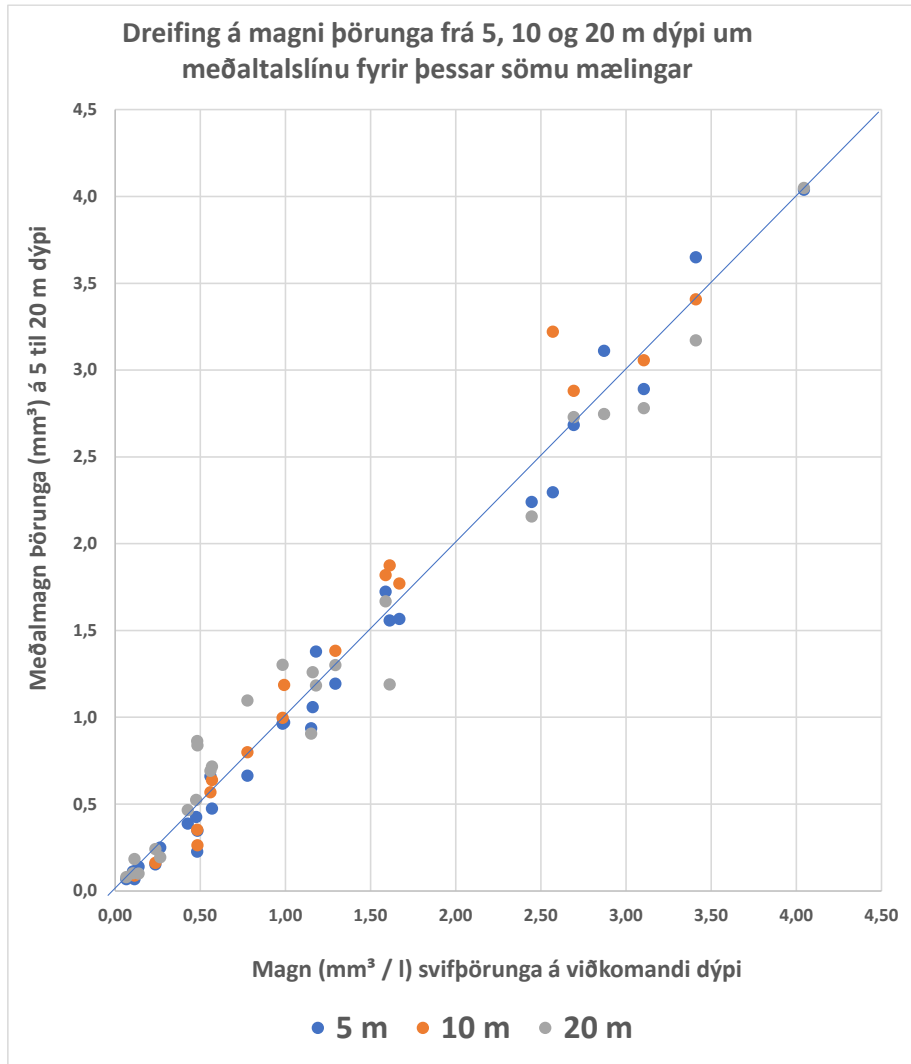
Rannsóknir Hilmar J. Malmquist og féлага (2010) staðfestu enn fremur mikilvægi þess að mæla þörungamagn ekki einungis á tímabilinu maí til október eins og gert var fram að því, heldur einnig að vetri eins og eldri rannsóknir höfðu þegar sýnt fram á (Gunnar Steinn Jónsson 2015).

3.2 Þörungasamfélagið í ljóstillífunarlaginu

Þörungar eru frumbjarga, þ.e. binda ólífrænt kolefni í lífrænt með ljóstillífun. Því skiptir dýptarbilið þar sem ljóstillífunin fer aðallega fram (e. photic layer) mestu máli fyrir frumframleiðslu vatnsins.

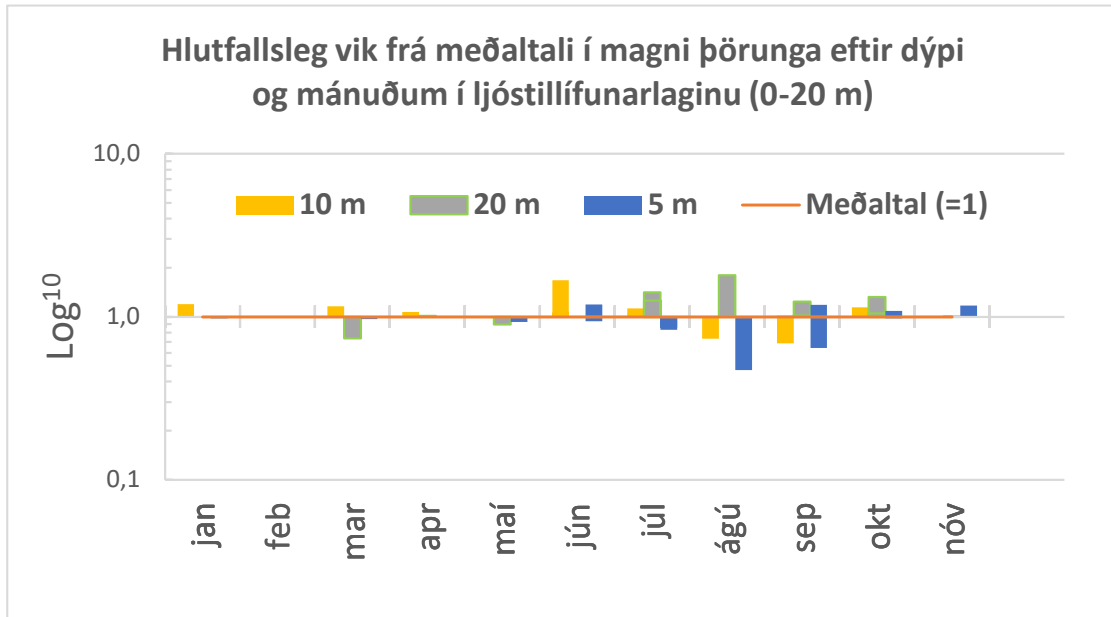
Dýpt ljóstillífunarlagsins hefur verið skilgreint sem það dýpi þangað sem 1% yfirborðsljóssins nær. Í Þingvallavatni hefur það verið ákvarðað á milli 20 og 30 m dýpi, eftir árstíma og í einstaka tilvikum allt að 40 m dýpi (Pétur M. Jónsson og félagar, 1992).

Til að greina að hvað miklu leyti sýnataka í Steingrímsstöð væri lýsandi fyrir þörunga-samfélagið í ljóstillífunarlaginu (e. photic layer) voru skoðaðar niðurstöður mælinga á magni þörunga sem teknar voru á mismunandi dýpi innan þess (0 til 20 m dýpi). Sýnin voru tekin á öllum árstímum, 29 sýnatökudaga. Fyrir grafið á mynd 3, var reiknað meðalmagn allra mælinga á 0 til 20 m dýpi hvern sýnatökudag. Meðaltalið var síðan hnitað á móti einstökum mæligildum á 5, 10 og 20 m dýpi.



Mynd 3. Magn (mm^3) þörungasvifs á þremur mismunandi dýpum (5, 10 og 20 m) og dreifingu þess um línu fyrir meðaltal allra mælinga á 0 til 20 m dýpi. Magn þörungna er mjög breytilegt eftir sýnatökudögum, en sýni sem notuð eru í þessum samanburði voru tekin á öllum árstímum (29 sýnatökudagar árin 1974, 1975, 2019 til 2022).

Tilgangurinn var að sýna á mynd (mynd 3) hvernig einstök gildi frá 5, 10 og 20 m dýpi dreifast um línu sem dregin er horna á milli á grafinu. Meðaltal allra mælinga er $1,29 \text{ mm}^3$. Meðaltal mælinga frá 5 m dýpi er 1,25 og 1,25 frá 20 m dýpi. Það er mat höfundar að grafið sýni að í rannsókn sem hefði það að markmiði að skoða árstíðarbundnar sveiflur í magni þörungna eða til að meta vatnsgæði, skipti það litlu máli fyrir heildar niðurstöðurnar hvort sýnin væru tekin við Steingrímsstöð, eða á 5, 10 og 20 metra dýpi á stöð 3. Gögnin sýna, engu að síður, nokkur kerfisbundin frávik hvað varðar 20 m dýpi (gráir punktar á mynd 3). Gildin eru hærri á 20 metrum en við yfirborð, þegar þörungamagn er lítið (raðast vinstra megin við miðlínu) en lægri þegar þörungamagn er mikið (raðast hægra megin við miðlínu). Þetta frávik er skoðað nánar á mynd 4. Litlu munar á magni eftir dýpi á þessu dýptarbili, en munurinn er hlutfallslega mikill í júlí til september þegar þörungamagnið er í lágmarki. Skýringin er að við hlýnun vatnsins um sumarið verður eðlisþyngdarmunur milli hlýs yfirborðsvatns og kaldara dýpra vatns og það dregur úr blöndun. Þörungar sökkva jafnt og þétt til botns, sem leiðir til þurrðar við yfirborðið en uppsöfnunar dýpra í eðlisþyngna vatni, aðallega fyrir neðan við 20 m dýpi. Á öðrum árstímum þegar vatnið er að fullu uppblandað er munurinn lítill nema við hámarks frumframleiðslu að vori, þá getur þörungamagnið mælst mest við yfirborðið.

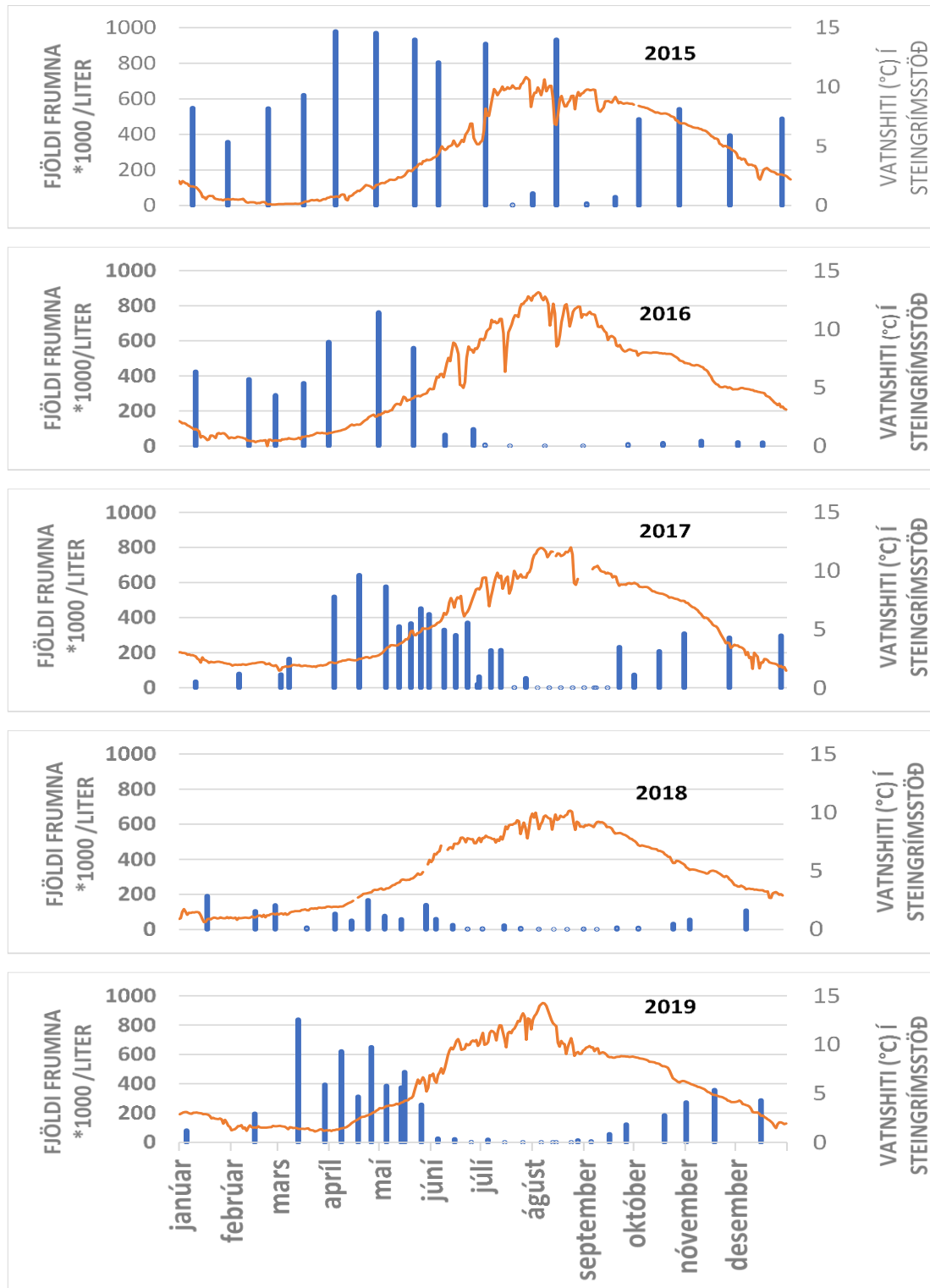


Mynd 4. Hlutfallsleg vik í magni (mm^3) þörungasvifs á þremur mismunandi dýpum (5, 10 og 20 m) sem vik frá línu fyrir meðaltal (=1) allra mælinga á 0 til 20 m dýpi hvern sýnatökudag. Sýni voru tekin á öllum árstímum, 29 sýnatökudaga árin 1974, 1975, 2019 til 2022.

3.3 *Aulacoseira islandica* (Otto Müller) Simonsen og *Aulacoseira subarctica* (O.Müller) E.Y.Haworth Fjöldi frumna *A. islandica* í Þingvallavatni, talinn í sýnum úr yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) árin 2015 til 2023 er sýndur á myndum 5 og 6 og fyrir *A. subarctica* á myndum 7 og 8. Árstíðabundnar sveiflur eru svipaðir hjá tegundunum, en þó er mikilvægur munur á. Hámarksfjöldi (vorhámark) er hjá *A. islandica* í apríl-maí, en oftast aðeins seinna hjá *A. subarctica*, þ.e. í maí-júní. Síðan tekur við sumarlægð, ólík milli ára, í stutt tímabil 2015 en út árin 2016 og 2022. *A. islandica* er greinilega meiri vetrartegund, vex nokkuð upp við lítið ljós seint um haust og er í meiri fjölda yfir veturinn. Árið 2015 nær *A. islandica* miklum hámarksfjölda, en *A. subarctica* er þá í litlum fjölda. Árið 2018 er *A. islandica* í litlum fjölda en *A. subarctica* nær mjög miklum fjölda að vori. Báðar tegundirnar eru síðan í nokkrum fjölda árin

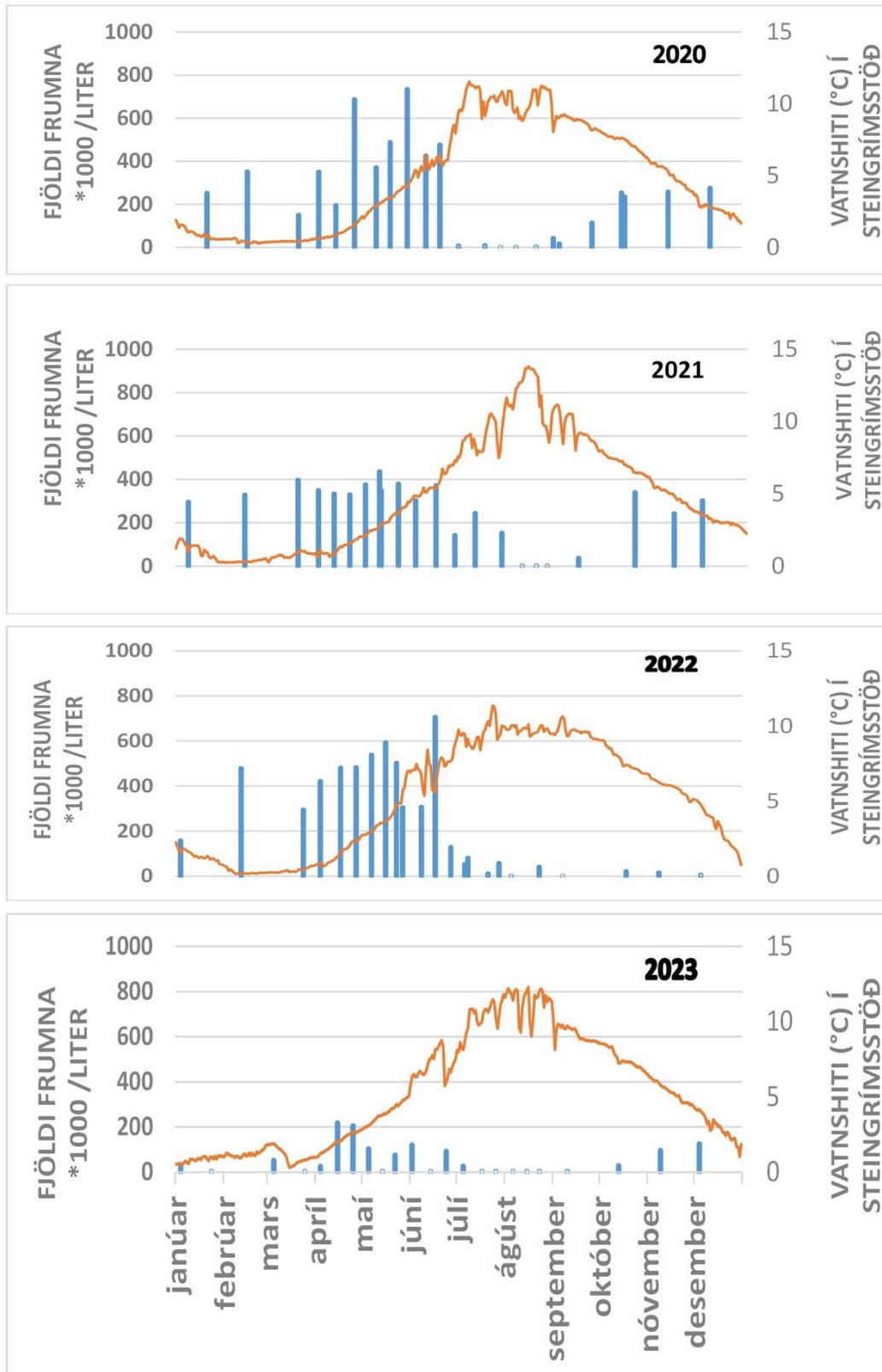
2019 til 2021.

Aulacoseira islandica í Þingvallavatni. Fjöldi frumna



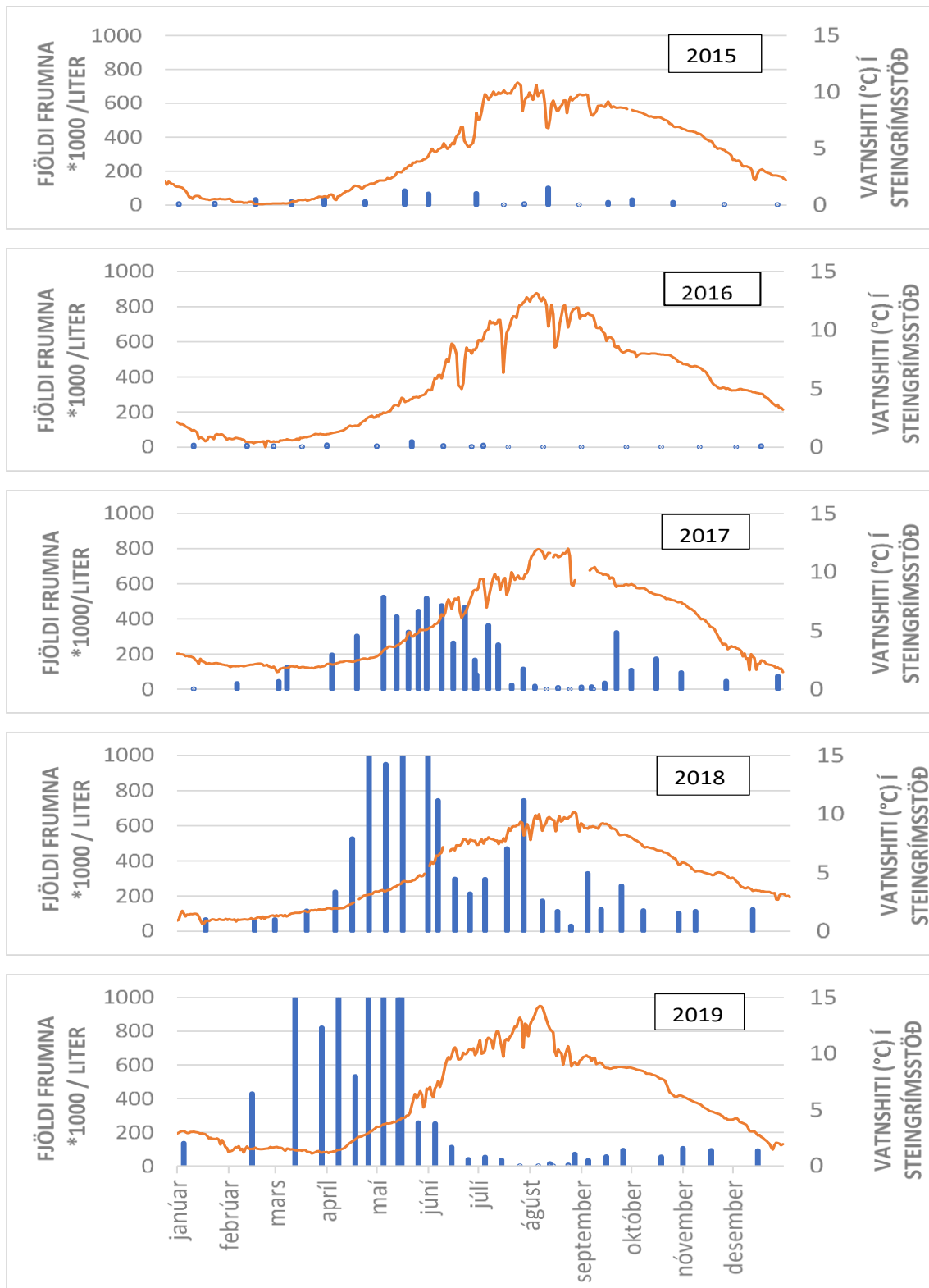
Mynd 5. Aulacoseira islandica. Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-2020: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.02.2018, 08.01.2019, 10.02.2020 - M00328).

Aulacoseira islandica í Þingvallavatni, fjöldi frumna



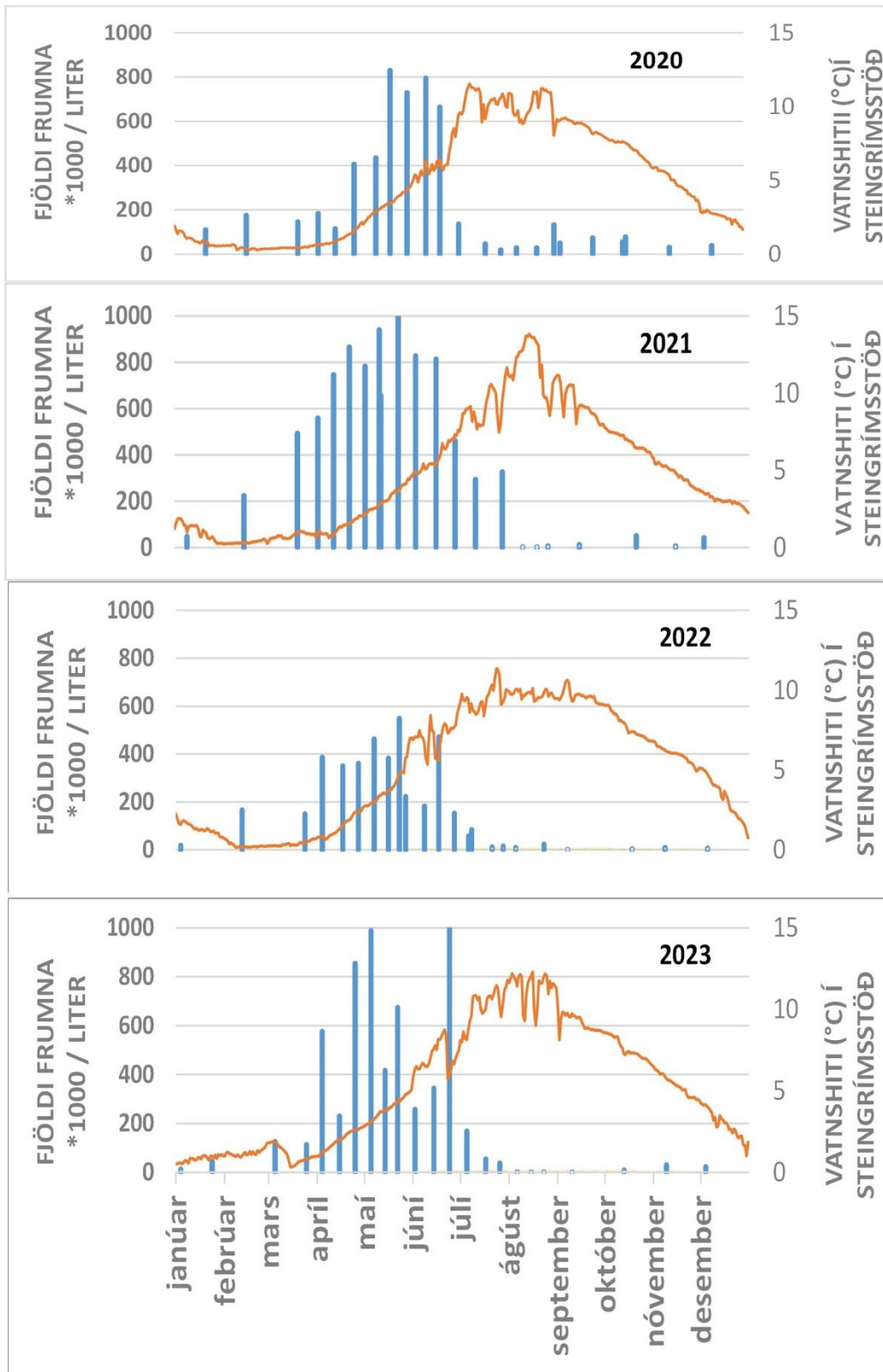
Mynd 6. *Aulacoseira islandica*. Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð (Landsvirkjun, 2020-2024: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24.4.2023, 13.3.2024 - M00328).

***Aulacoseira subarctica* í Þingvallavatni. Fjöldi frumna**



Mynd 7. *Aulacoseira subarctica*. Fjöldi frumna (*1000) í líter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-203: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.02.2018,0 8.01.2019, 10.02.2020 - M00328).

Aulacoseira subarctica í Þingvallavatni, fjöldi frumna



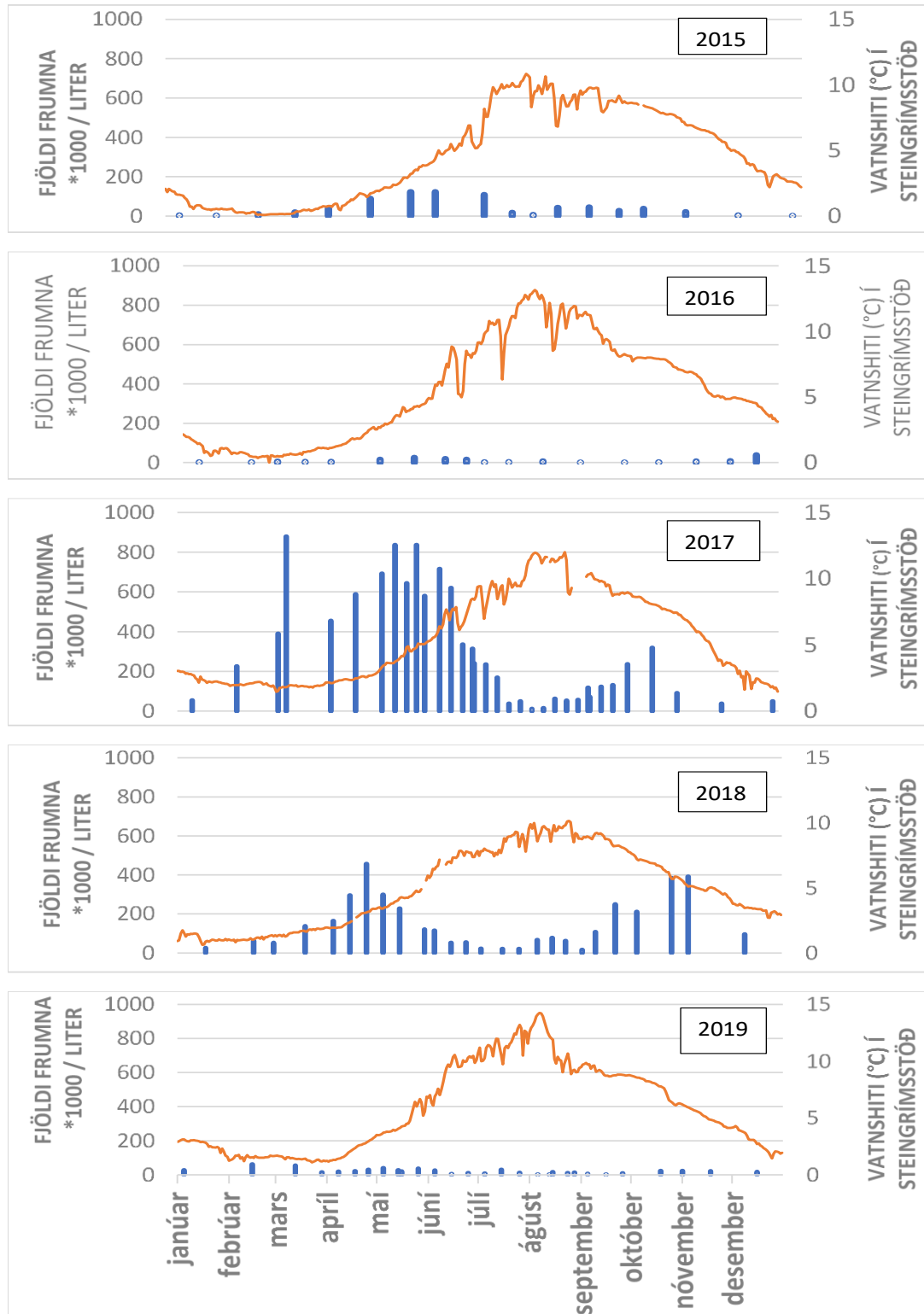
Mynd 8. Aulacoseira subarctica. Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð (Landsvirkjun, 2020-2024: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24.4.2023, 13.3.2024 - M00328).

3.4 *Asterionella formosa* Hasall

Asterionella formosa (myndir 9 og 10) er með svipaða árstíðadreifingu og *Aulacoseira subarctica*. Hana vantar nánast í svifið árin 2015, 2016 og 2019, en er í áberandi miklu magni árin 2017, 2021 og 2023. Þessar 3 tegundir, *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira subarctica* og *Asterionella formosa* eru ríkjandi tegundir kísilþörungna. Þær sveiflast í fjölda milli ára og ekki í takt sem mætti vænta ef ytri þættir eins og ljós, veðurfar og næringarefni væru einu ráðandi vaxtarþættirnir. Líffræðilegir þættir eins og að þurfa mis mikið ljós og ólíkur sökkhraði úr ljóstillífunarlaginu hafa án efa áhrif ásamt ólíkir lífsferlar tegundanna.

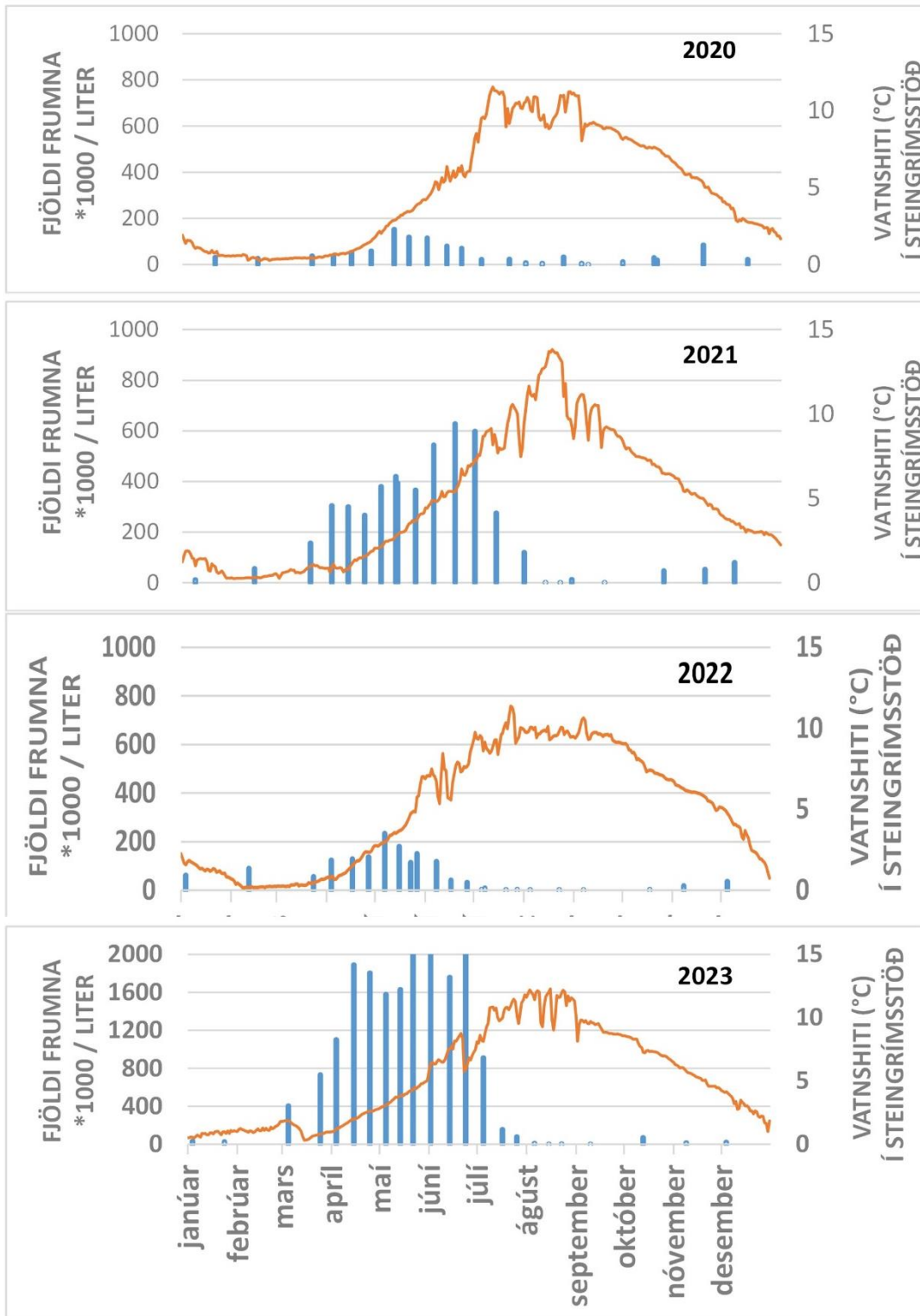
Af myndum 5-10 má ráða hver tíðni sýnatöku þarf að vera í svifinu til þess að greina árstíðarbundnar sveiflur með æskilegri nákvæmni. Sýnataka í Steingrímsstöð þarf að vera einu sinni í mánuði í janúar, febrúar, nóvember og desember, helst tvisvar í mars og október og þrisvar í mánuði frá apríl til september; samtals 26 sýnatökur.

Asterionella formosa í Þingvallavatni. Fjöldi frumna



Mynd 9. *Asterionella formosa*. Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrímsstöð sömu ár (Landsvirkjun, 2016-2019: Wiski gagnagrunnur, 02.09.2016, 09.02.2017, 15.2.2018, 8.1.2019, 10.2.2020 - M00328).

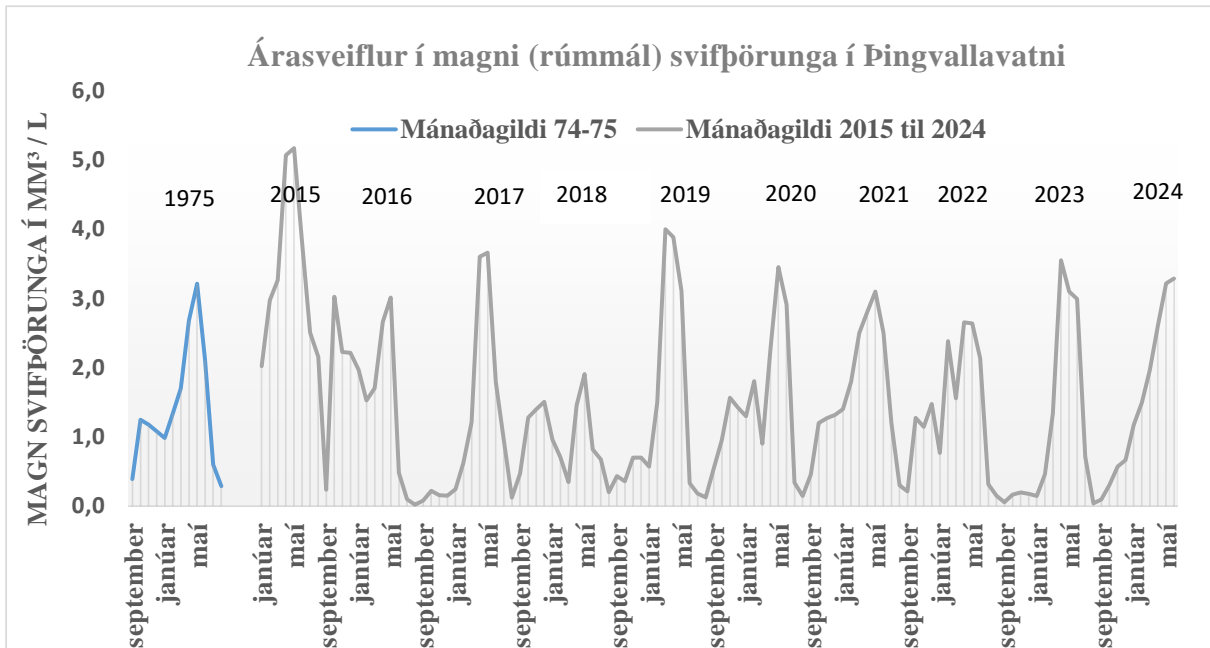
***Asterionella formosa* í Þingvallavatni, fjöldi frumna**



Mynd 10. *Asterionella formosa*. Fjöldi frumna (*1000) í liter í yfirborðslaginu (0 til 10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 2020 til 2023. Á myndinni er einnig sýndur vatnshiti í Steingrimsstöð (Landsvirkjun, 2020-2022: Wiski gagnagrunnur, 24.2.2021, 15.2.2022, 24. 4.2023, 13.3.2024 - M00328).

3.5 Magn þörungasvifs í Þingvallavatni

Heildarrúmmál þörungasvifsins er reiknað út frá fjölda frumna einstakra tegunda og meðalrúmmáli þeirra. Heildarrúmmálið er mælikvarði fyrir magn sem má síðan margfalda með samræmdum stuðli (0,216) sem gefur vísbendingu um kolefnisinnihald svifsins (Olenina, I. og fl. 2006). Áætlað magn kolefnis getur verið hentug eining til að vinna með til samanburðar á móti efnamælingum. Mynd 11 sýnir heildarmagn þörungasvifsins á hverjum tíma eftir árstímum í yfirborði Þingvallavatns (0 til 10 m dýpi) árin 1974 til 1975 og 2015 til 2024, mælt sem rúmmál mm³ /l.



Mynd 11. Magn þörungasvifs í yfirborði (0-10 m dýpi) í Þingvallavatni árin 1974 til 1975 og 2015 til vors 2024. Magnið er gefið upp í rúmmáli mm³/l af þörungum. Myndin sýnir meðaltöl mánaða (mánaðagildi).

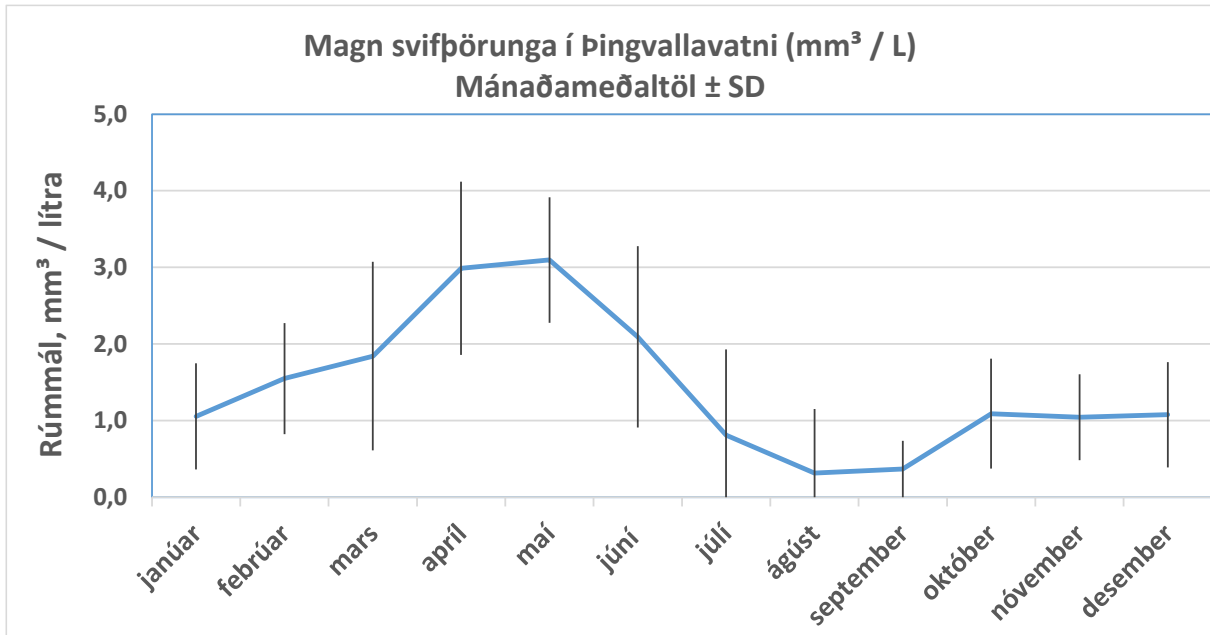
Á mynd 11 má sjá hvernig magn þörungasvifsins hefur sveiflast eftir árstíðum þau ár sem það hefur verið reglulega mælt. Það sem helst einkennir ferilinn er að magn þörungasvifsins nær hámarki að vori en er í mun minna magni á öðrum tímum og er oftast lítið í ágúst og september. Annað einkenni er munur á vorhámarki á milli ára. Magn þörungasvifsins var mikið vorið 2015 og sérstaklega lítið vorið 2018, borið saman við önnur ár. Það varð dramatískt hrun í þörungasvifi vatnsins frá vorhámarkinu 2016 í þörungaþurrð síðar um sumarið. Þörungaþurrðin varaði í sjö mánuði, eða fram í febrúar 2017. Magn þörungasvifsins náði sér hratt upp aftur vorið 2017. Sambærileg þörungaþurrð var aftur sumarið og haustið 2022 og fram í febrúar 2023.

Hugsanleg skýring á þörungaþurrðinni 2017 og 2022, er að þörungasvifið, sem ekki var nýtt sem fæða í yfirborðslaginu, náði að sökkva að fullu til botns fyrir haustblöndun vatnsins. Það var að fullu botnfallið í byrjun september 2016 og við það að botnfalla 7. september 2022 (myndir 13 og 14). Þar hefur það væntanlega orðið botndýrum að bráð og átti ekki afturkvæmt inn í svifþörungaflórana við haustblöndun eins og oftast gerist. Svifið tekur því fyrst aftur við sér þegar byrjar að birta í febrúar og mars. Þessar niðurstöður sýna að magn þörungasvifs í Þingvallavatni getur sveiflast mikið og mjög óreglulega milli ára.

3.6 Árstíðarsveiflan

Vaxtarferill þörungasvifsins í yfirborði Þingvallavatns (ljóstillífunarlaginu, 0-20 m dýpi) er skilgreindur sem aukning í magni með hækkingu sólar í byrjun árs. Vorhámark í apríl til júní, miðsumar lægð í júlí til september og lítið hausthámark í október til nóvember og tegundirnar halda uppi nokkuð hárrí lífþyngd yfir veturinn.

Á mynd 12 eru sýnd 10 ára meðaltöl allra mældra gilda reiknuð fyrir hvern mánuð ásamt meðalfrávikum (SD) frá meðaltalinu. Gagnasafnið nær orðið yfir 200 mæligildi, en meðalfrávikinn er samt mjög mikill sem skýrist af miklum mun á milli ára (mynd 11).



Mynd 12. Mánaðarmeðaltöl fyrir magn þörungasvifsins í yfirborði (0-10 m) Þingvallavatns og meðalfrávikinn frá meðaltalinu (SD). Gagnasafnið nær orðið yfir meira en 200 mæligildi.

Meðaltal allra mæligilda er 1,5 mm³ / l. *Aulacoseira* tegundirnar og *Asterionella formosa* í vatninu (myndir 5-10) eru stórar og mjög ráðandi þegar kemur að útreikningum á heildarmagni svifsins.

3.7 Magn svifþörungna í Þingvallavatni eftir dýpi

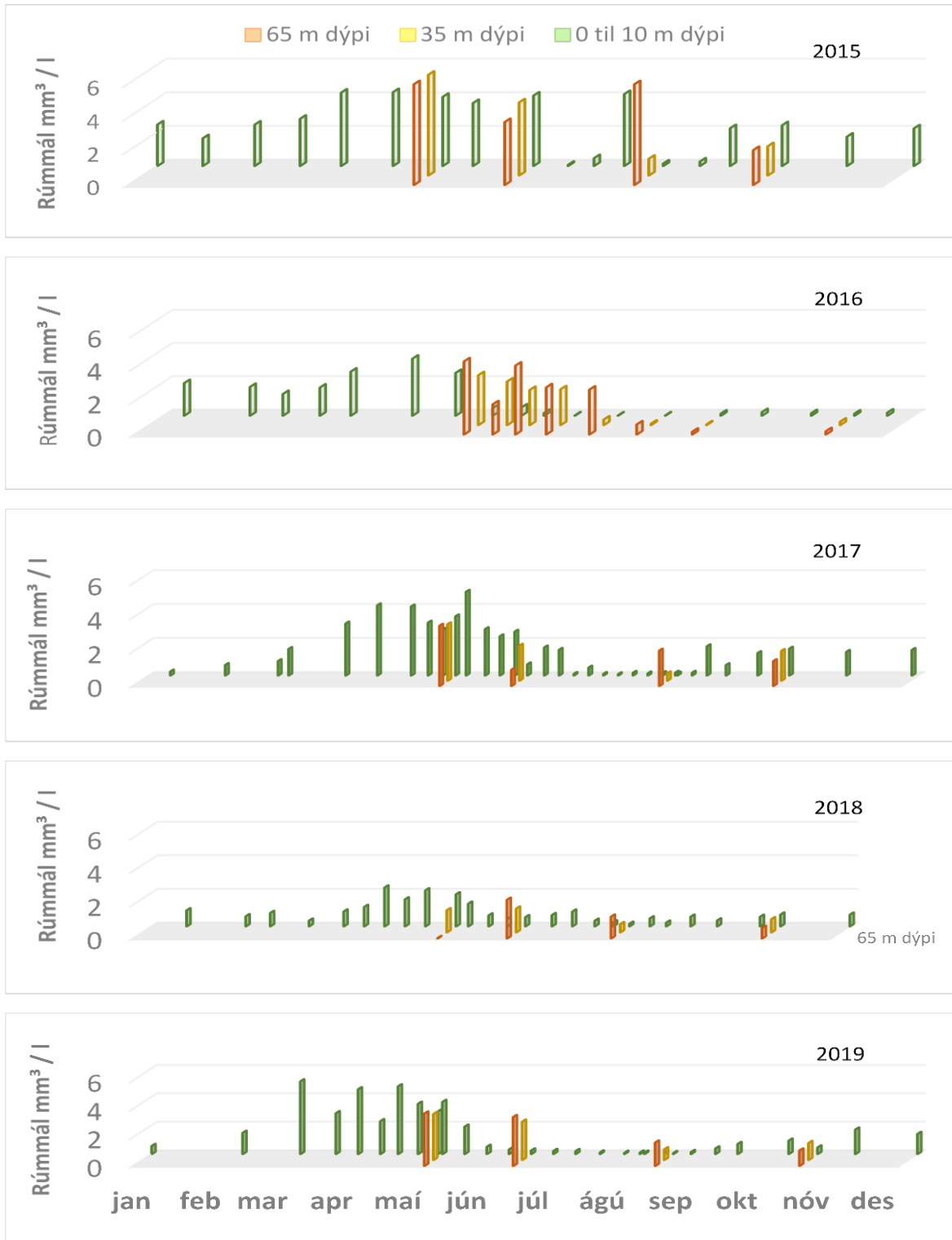
Sýni eru tekin reglulega í yfirborðinu (Steingrímsstöð) allt árið, en sýni frá 5 m, 35 m og 65 m dýpi eru tekin fjórum sinnum á tímabilinu maí til nóvember ár hvert. Eins og myndir 3 og 4 bera með sér má líta svo á að magn þörungna á 5 m dýpi einkenni í stórum dráttum dýptarbilið (0 til 20 m). Dýpi ljóstillífunarlagsins, þar sem ljóstillífun á sér helst stað (e. photic layer), hefur verið skilgreint sem það dýpi þangað sem 1% yfirborðsljóssins nær. Í Þingvallavatni hefur það verið skilgreint á milli 20 og 30 m dýpi, eftir árstíma og í einstaka tilvikum allt að 40 m dýpi (Pétur M. Jónasson og félagar, 1992).

Náttúrufræðistofa Kópavogs safnaði gögnum um hita í Þingvallavatni eftir dýpi (sjá: Haraldur R. Ingvason og félagar 2017). Af þeim gögnum má sjá á hvaða dýpi mestu hitabreytingar verða sem valda eðlisþyngdarmun á milli yfirborðsvatns og dýpri laga. Efsta lagið í hitalagskiptu vatni kallast „epilimnion“. Líklegt er að ljóstillífunarlagið og „epilimnion“ falli nokkuð saman í Þingvallavatni

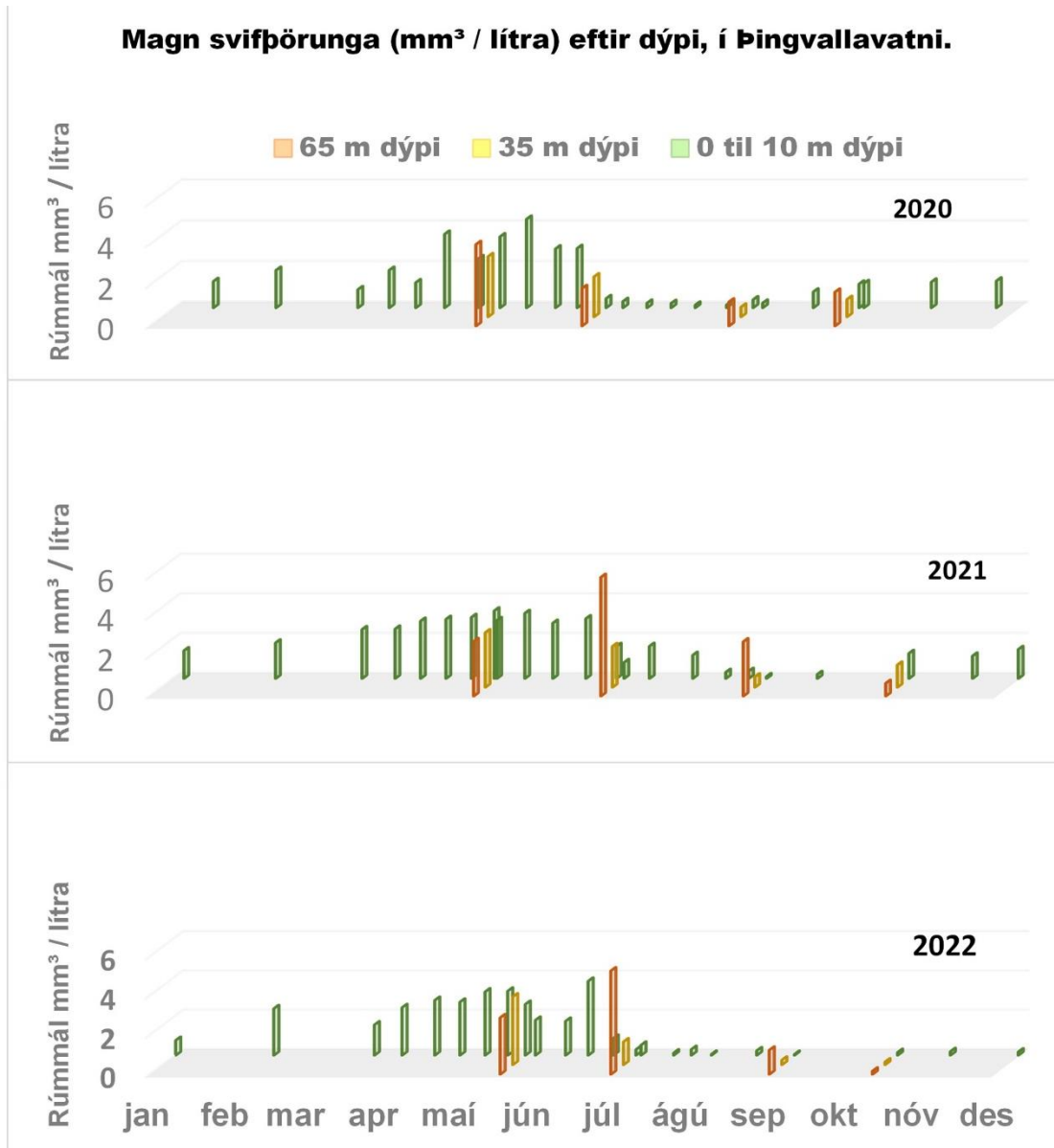
Þegar ekki er ís á vatninu er vatnið uppblandað yfir vetrarmánuðina. Þegar fer að hlýna í maí-júní (myndir 5 til 10), hlýnar efsta lagið fyrst. Eðlisþyngdarmunur myndast á milli hlýs- yfirborðsvatns og kaldara dýpra vatns og það dregur úr blöndun. Á sama tíma fer að verða skortur á næringarefnum í vatninu (nitur), sérstaklega í yfirborðinu og þörungar sem einkenna vorhámarkið eru hættir að fjölga sér og byrjaðir að hverfa úr yfirborðinu. Þessa atburðarás má glögg sjá á myndum 13 og 14.

Á myndum 13 og 14 má sjá magn svifþörunga á mismunandi dýpum árin 2015 til 2022. Sýni voru talin frá yfirborðinu og 5 m dýpi (grænar súlur), 35 m dýpi (gular súlur) og 65 m dýpi (rauðar súlur).

Magn svifþörungna (mm^3 / lítra) eftir dýpi, í Þingvallavatni.



Mynd 13. Magn þörungasvifs í Þingvallavatni árin 2015 til 2019. Magnið er gefið upp í mm^3 fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi (grænar súlur) í Steingrímsstöð eða á stöð 3 og fjóra til átta sýnatökudaga á ári er mælt á tveimur dýpum til viðbótar, á 35 m (gular súlur) og 65 m (rauðar súlur) á stöð 3.

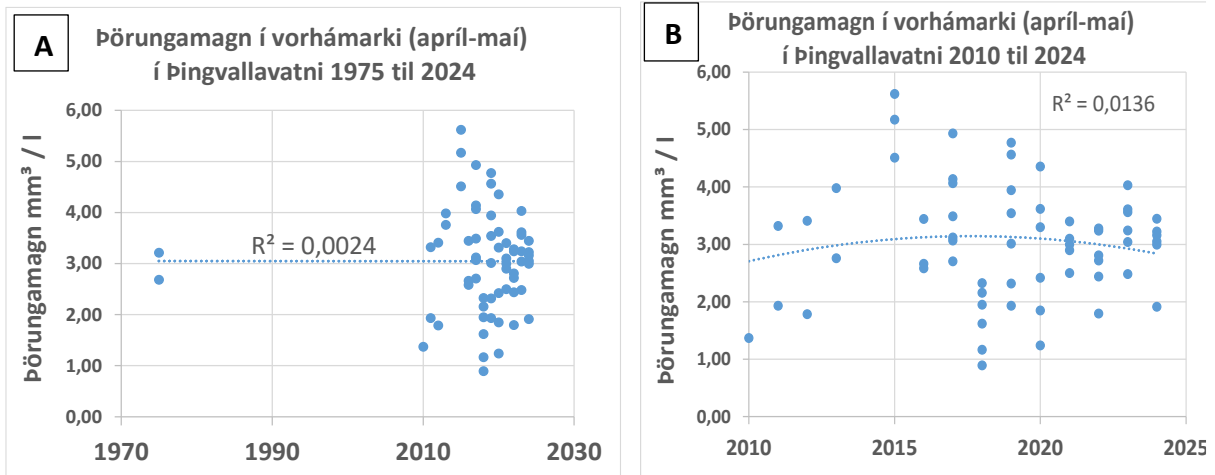


Mynd 14. Magn þörungasvifs í Þingvallavatni árin 2020 til 2022. Magnið er gefið upp í mm^3 fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi (grænar súlur) í Steingrímsstöð eða á stöð 3 og fjóra sýnatökudaga var mælt á tveimur dýpum til viðbótar, á 35 m (gular súlur) og 65 m (rauðar súlur) á stöð 3.

Þegar þörungarnir ná niður í kaldara og eðlisþyngra vatn sem er nær þeirra eigin eðlisþyngd, hægir á sökkinu. Um sumarið eru sokknir þörungar (gular og rauðar súlur) oft í miklu magni í kaldara og þyngra djúpvatni. Í yfirborðinu (grænar súlur), er næringarefnaþurrð, lítil frumframleiðni og því lítið um þörunga. Allskonar frávik verða vegna atburða í veðri yfir sumarið. Hvassviðri, veldur sem dæmi uppblöndun, þar sem sokknir þörungar og næringarefni ná að berast til efri laga og stuðla tímabundið að nývexti þörungasvifs við yfirborðið (myndir 5 til 10). Þetta sést glögg á mynd 8, eftir miðjan júní árið 2023. Áberandi er að ekki verður hausttoppur í ljóstíllífunarlaginu árin 2016 og 2022. Þetta þýðir að það er þörungaþurrð í svifinu seinni hluta þessara ára sem nær fram yfir áramót.

3.8 Samanburður á magni svifþörunga í vorhámarki milli ára

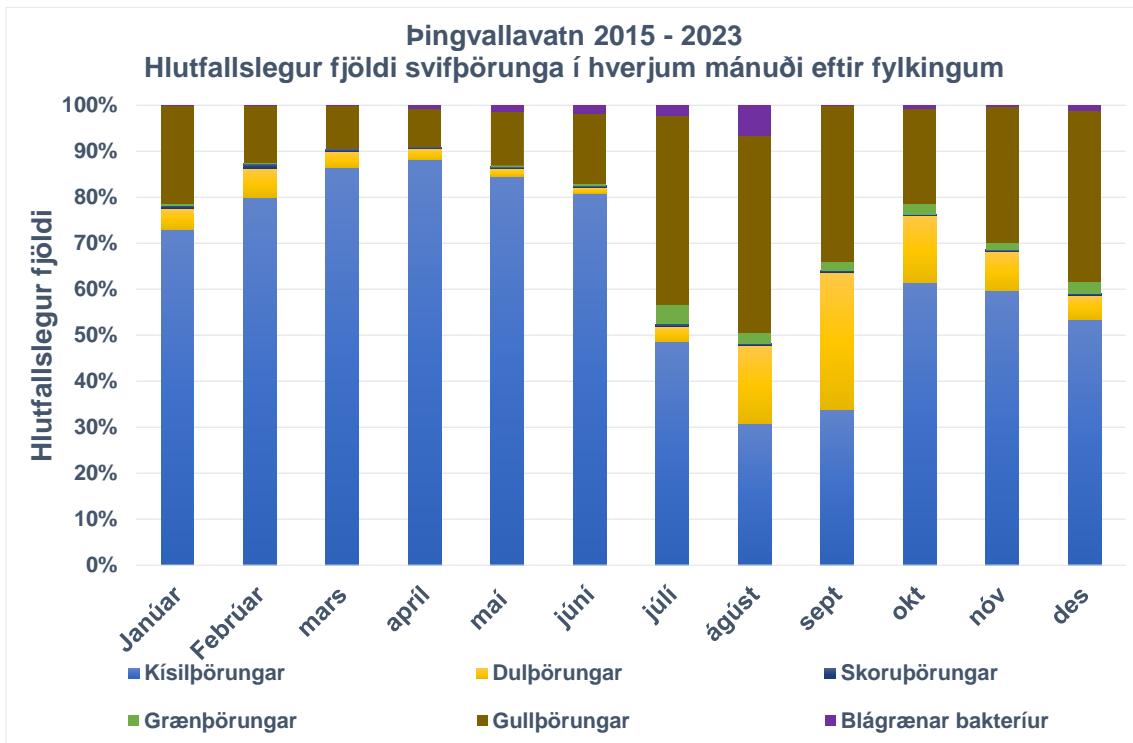
Frumframleiðni svifþörunga í Þingvallavatni er ekki mæld, sem er bagalegt. Ef magn svifþörunga er notað í stað frumframleiðni til þess að leggja mat á þörungaframleiðslu eða frjósemi þarf að gæta varkárni þar sem hluti framleiðslunnar sekkur jafnt og þétt úr ljóstillifunarláginu og er étið af svifdýrum. Höfundur telur að helst megi nota þörungamagnið í vorhámarki sem vísi fyrir breytilega framleiðslu á milli ára. Vorhámarkið er í apríl-maí (mynd 12) og þá eru þörungar í hröðum vexti og full blöndun vatnsmassanna sem jafnar dreifingu þeirra um vatnið. Ef við samþykkjum að uppsöfnuð næringarefni í vatninu snemma vors sé ákvarðandi um hámarks magn þörunga á þessum tíma höfum við mælikvarða á frjósemi vatnsins viðkomandi ár. Á mynd 15 sýna punktar allar tiltækar mælingar í apríl og maí á magni þörunga (sem rúmmál: mm³/l). Apríl-maí toppa má einnig sjá á mynd 11. Magnið sveiflast nokkuð milli ára en meðaltal allra mælinga er 3,03 mm³/l. Ef dregin er aðhvarfslína fyrir gögnin er ekki að sjá marktæka leitni til hækkunar eða lækkunar frá 1975, aðeins sveiflur milli ára. Sveiflu milli tímabila (10 ára sveiflu) má sá í magni næringarefna við Steingrímsstöð og í Sogi (Eyðís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2020). Höfundur veit ekki hvort fylgni sé á milli þörungamagns og þessara sveiflna í næringarefnum.



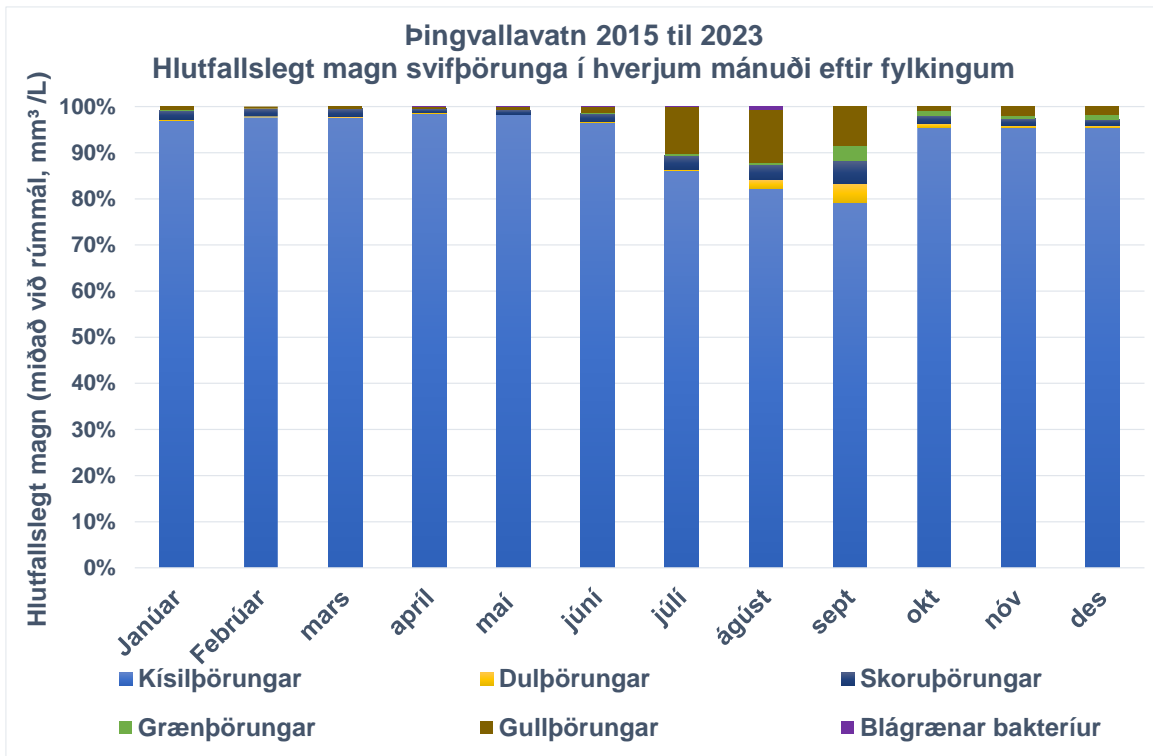
Mynd 15. Magn þörungasvifs í vorhámarki (apríl og maí) á tímabilinu 1975 til 2024 (A) og 2010 til 2024 (B). Magnið er gefið upp í mm³/l fyrir hvern sýnatökudag. Alla sýnatökudaga er mælt í yfirborðinu, 0 til 5 m dýpi í Steingrímsstöð eða á stöð 3.

3.9 Hlutfallslegur fjöldi frumna og magn svifþörunga í Þingvallavatni eftir fylkingum

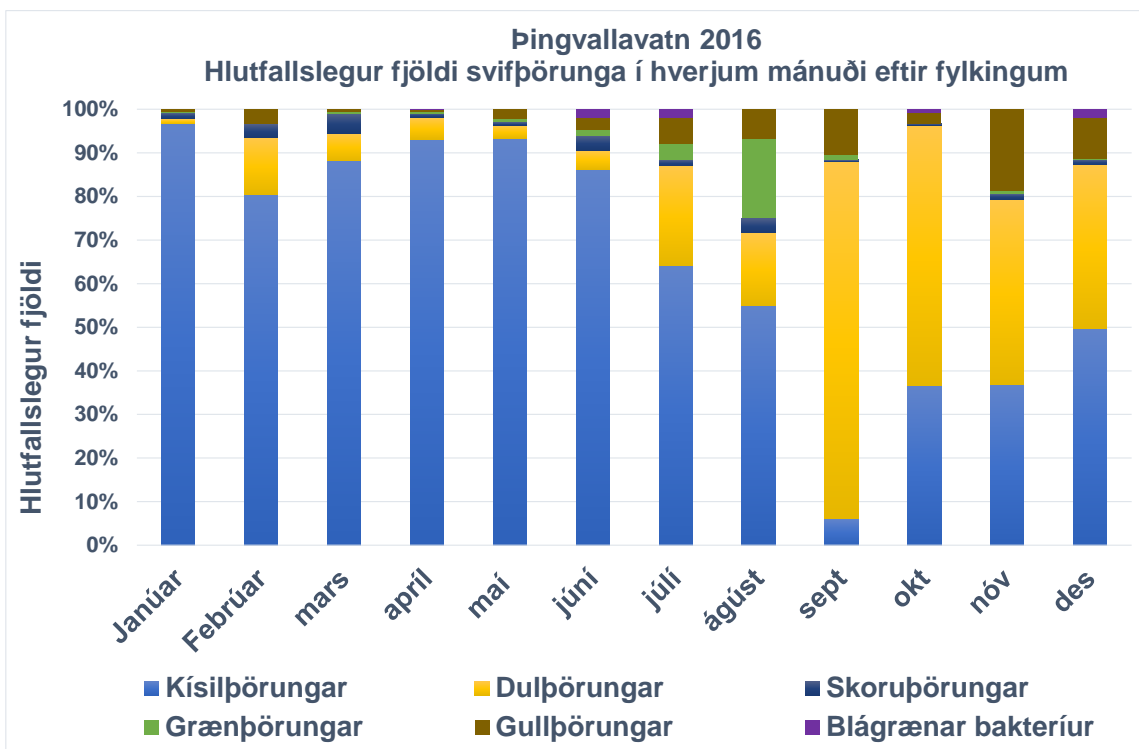
Á myndum 16 og 17 má sjá mikilvægi ólíkra fylkinga þörunga (og blágrænna baktería) að jafnaði í svifvist Þingvallavatns hvað varðar fjölda frumna (mynd 16) og magn (mynd 17). Gögnin að baki myndunum eru meðaltöl allra mælinga hvers mánaðar ársins fyrir árin 2015 til 2023. Kísilþörungar eru oftast með mestan hlutfallslegan fjölda frumna nema um sumarmánuðina. Gullþörungar koma næst, þá dulþörungar, grænþörungar og blágrænar bakteríur. Smáar frumur með tvær mislangar svipur (heterokonta) eru allar settar í safnhóp með gullþörungum. Rúmmál þörungasvifsins (mm^3/l) er reiknað út frá fjölda frumna af hverri tegund og meðalrúmmáli þeirra. Kísilþörungar eru að jafnaði langstærsti hluti þörungamagnsins.



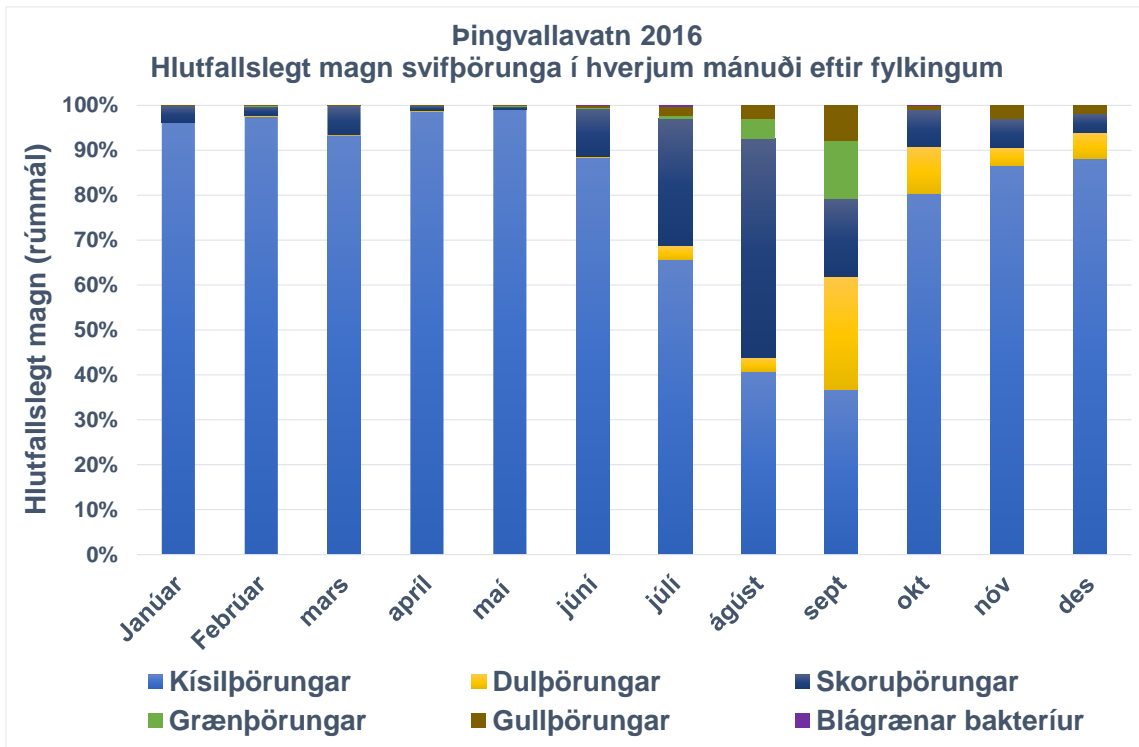
Mynd 16. Hlutfallsleg tíðni tegunda (fjölda frumna) skipt eftir fylkingum og milli mánaða. Meðaltal árunna 2015 til 2023.



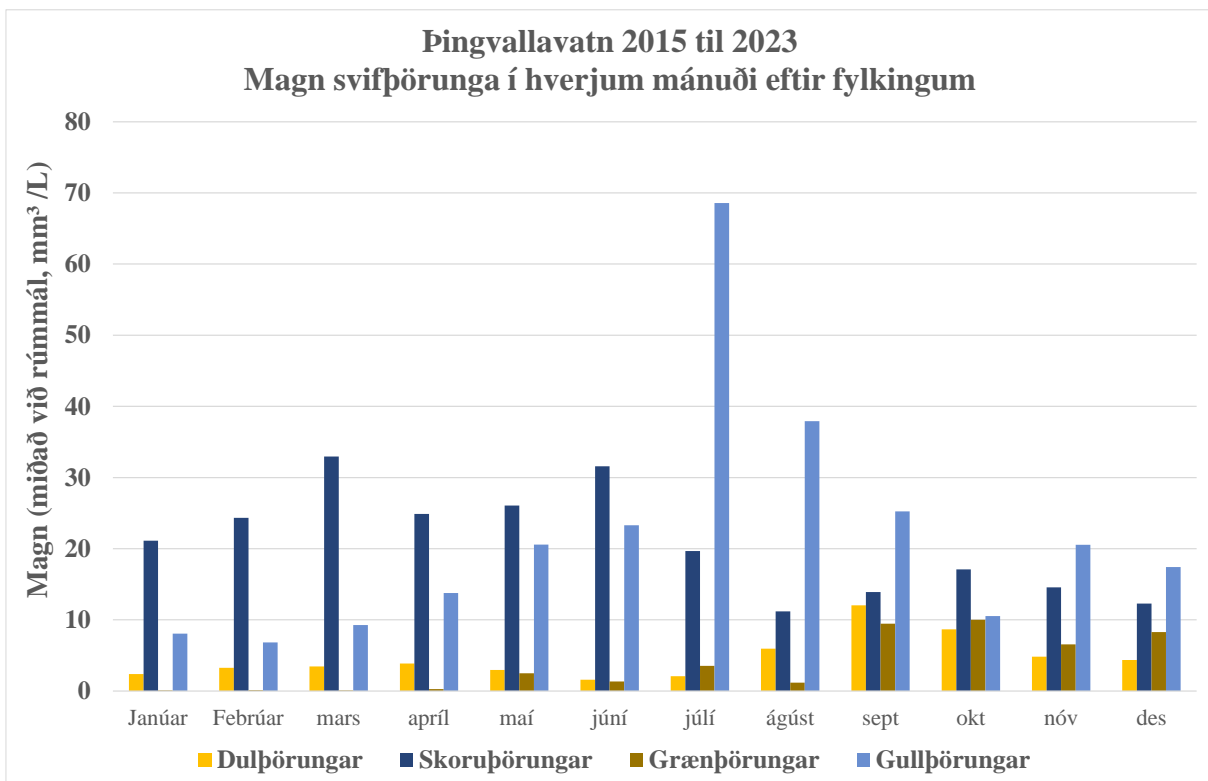
Mynd 17. Hlutfallslegt magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum og milli mánaða. Meðaltal árána 2015 til 2023.



Mynd 18. Hlutfallsleg tíðni tegunda (fjöldi frumna) skipt eftir fylkingum og milli mánaða árið 2016.



Mynd 19. Hlutfallslegt magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum og milli mánaða árið 2016.



Mynd 20. Magn tegunda (rúmmál) skipt eftir fylkingum, annarra en kísilþörungum (og blágræna baktería) og milli mánaða. Meðaltal árunna 2015 til 2023.

Mjög lítið þörungasvif var í vatninu síðari hluta árs 2016 (sjá mynd 13) og hlutfallslegur fjöldi og magn tegunda eftir fylkingum óvenjulegt. Því er hlutfallsleg dreifing eftir fylkingum árið 2016 sýnd sérstaklega á myndum 18 og 19, til samanburðar við myndir 16 og 17.

Á mynd 20 má sjá magn svifþörungna eftir fylkingum, annarra en kísilþörungna (og blágrænna baktería). Gullþörungar eru áberandi allt árið, en með áberandi hámark um sumarið. Dulþörungar og grænþörungar eru mest áberandi um haustið. Skoruþörungar sem eru stórir og vega hlutfallslega meira í rúmmáli en fjölda, eru mest áberandi snemma árs.

4 Svifþörungar í Þingvallavatni

4.1 Yfirlit yfir fyrri rannsóknir

Saga rannsókna á svifþörungum í Þingvallavatni má rekja til Kaupmannahafnar í byrjun síðustu aldar þegar Danirnir Carl Hansen Ostenfeld (1873–1931) og Carl Wesenberg-Lund (1867–1955) rannsökuðu svif í Þingvallavatni og Mývatni árin 1902 og 1903.

Sýnum var safnað hálfsmánaðarlega í Þingvallavatni á tímabilinu frá 11. júlí 1902 til 30. júní 1903. Regluleg sýnataka í stöðuvötnum svo norðarlega hafði ekki verið gerð áður. Umsjón með sýnatökunni hafði Bjarni Sæmundsson en Símon Pétursson sem fæddur var á Þingvöllum og var síðar ábúandi í Vatnskoti sá um sýnatökuna. Ostenfeld og Wesenberg-Lund skiptu með sér verkum og sá Ostenfeld um þörungahlutann. Höfundur þessarar samantektar mun því aðallega vísa í Ostenfeld varðandi þörungatextann.

Þeir töldu tegundasamsetningu þörungna í svifinu vera mjög fábrotna. Tegundir eða ættkvíslir sem þeir hefðu búist við að finna en finna ekki eru m.a. *Tabellaria fenestrata*, *Dinobryon* spp., *Scenedesmus* spp., *Pediastrum* spp., *Eudorina* spp., osfr., en umfram allt meira um blágrænar bakteríur.

Tegundir af ættkvíslunum *Tabellaria*, *Dinobryon*, *Scenedesmus*, *Pediastrum* og *Eudorina* eru í vatninu í dag og sem dæmi er *Dinobryon sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg nú mikilvæg sumartegund. Hennar er ekki getið í vatninu fyrr en um 1990. Blágrænar bakteríur eru ekki meira áberandi í svifinu, en á tímum Ostenfeld og Wesenberg-Lund.

Hvað varðar kísilþörungna, þá nefnir Ostenfeld um tuttugu tegunda- eða ættkvíslanöfn. Endurskoðun á tegunda- og ættkvíslanöfnum hefur leitt til þess að ekki er alltaf um beina yfirfærslu frá eldra yfir í nýtt nafn að ræða. Engu að síður má segja að í öllum tilvikum megi finna samsvörun milli tegundalista og teikninga þeirra af tegundum, og tegundasamsetningu vatnsins eins og hún er þekkt í dag.

Ostenfeld sendi sýni af tveimur kísilþörungategundum af ættkvíslinni *Melosira* úr Þingvallavatni til Ottos Müller í Berlín sem þá var að rannsaka ættkvíslina. Müller lýsti annarri tegundinni sem nýrri og gaf henni nafnið *Melosira islandica* og hina, þá minni, lýsti hann sem nýrri undirtegund *Melosira italica* ssp. *subarctica* (Otto Müller, 1906). Við flokkunarfræðilega endurskipulagningu voru báðar þessar tegundir færðar undir ættkvíslina *Aulacoseira* (Thwaites). Síðar var *Aulacoseira italica* ssp. *subarctica*

skilgreind sem sérstök tegund. Viðurkennd nöfn tegundanna eru: *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen 1979 og *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) E.Y. Haworth 1990.

Marina V. Usoltseva og Telenia V. Likhoshway (2007) fóru yfir sýni O. Müller. Þær nefna að eitt formið í vatninu svari til *Aulacoseira islandica* subsp. *helvetica* og telja að hið bogna form *A. islandica* í Þingvallavatni ætti að aðgreina frá hinu beina formi sem sér tegund. *Aulacoseira islandica* og *Aulacoseira subarctica* finnast aðallega í djúpum næringarsnauðum vötnum á Íslandi, og er *Aulacoseira subarctica* mun algengari.

Willi Krieger (1927) lýsir í þýskum vötnum samskonar stjörnulaga þyrpingum kísilþörunga eins og Ostenfeld í Þingvallavatni. Ostenfeld taldi að þessar frumur tilheyrðu undirtegundinni *Synedra acus* var. *delicatissima* (W.Sm.) Rabenh. Krieger taldi að skilgreina mætti formið sem nýja undirtegund. Hann lýsir henni og nafngreindir sem *Synedra acus* var. *ostenfeldii* Willi Krieg.

Undirtegundin sem Krieger lýsti hefur nýlega verið skilgreint sem tegund og flutt í ættkvísl *Fragilaria*: *Fragilaria ostenfeldii* (Willi Krieg.) Van de Vijver, Alexson & Reavie 2020.

Pétur M. Jónasson og félagar (1992) höfðu áður fundið að hinar stjörnulaga þyrpingar í Þingvallavatni tilheyrðu ættkvíslinni *Nitzschia* en ekki *Synedra* og greindu sem *Nitzschia holsatica* Hustedt.

Ernst V. Østrup (1845–1917) var fenginn til að greina kísilþörunga frá Íslandi. Niðurstöður hans á greiningum á ferskvatns kísilþörungum voru birtar í „Botany of Iceland“ árið 1918. Østrup safnaði ekki sýnunum sjálfur, heldur vann úr sýnum frá Íslandi sem safnað hafði verið af fjölmörgum aðilum, víðsvegar um landið. Østrup nefnir 16 tegundir fundnar við Þingvelli, 8 tegundir í Úlfliótsvatni og 87 tegundir með óskilgreinda útbreiðslu á suðvesturlandi. Hann lýsir tveimur tegundum, *Navicula thingvallae* Østrup og *Cymbella recta* Østrup frá Þingvöllum sem nýjum. Aðeins þessar tvær tegundir frá Þingvöllum eða suðvesturlandi eru á myndalistanum. Í safni hans eru þrjú sýni frá Þingvöllum. Eitt safnað af stalli í Nikulásargjá, eitt úr „vandhul“ við Þingvelli og eitt úr „vandhul“ á hrauni við Þingvelli. Þessi sýni frá Þingvöllum eru tekin í fjöruborðinu.

Friedrich Hustedt (1937). Hustedt ferðaðist ekki til Íslands heldur notar gögn frá Østrup (1918) og Johannesi Boye Petersen (1928). Hann telur þar *Navicula thingvallae* Østrup vera samheiti við *Navicula decussis*, en nefnir ekki *Cymbella recta*.

Foged, N., 1974. Foged safnar sýnum víðsvegar um Ísland. Sýni frá Þingvöllum eru úr Öxará, Gjá nálægt kirkju (Flosagjá?), straumvatni og pollum, við bakkann í norðurhluta vatnsins.

Paul van Oye (Oye, P. van, 1941) rannsakaði skrautþörunga í Þingvallavatni og nágrenni vatnsins sumarið 1938. Hann safnaði við bakkann, á vatnagróðri, í aðrennsli (Öxará?) og í útrennsli (Sogið) og

nánasta umhverfi vatnsins. Hann fann 36 tegundir skrautþörungum. Til samanburðar fann Ostfeld 5 tegundir skrautþörungum í svifinu.

Samkvæmt framangreindri samantekt var það aðeins Ostfeld sem safnaði svifþörungum kerfisbundið fram á síðari hluta síðustu aldar. Aðrir sem nefndir eru, söfnuðu eða fengu sýni sem safnað var við bakka vatnsins, úr gjám og vatni í nánasta umhverfi þess, aðallega á Þingvallasvæðinu.

Rannsóknir á svifþörungum hófust aftur 1974 sem liður í vistfræðirannsóknum á Þingvallavatni undir stjórn Péturs M. Jónssonar (Pétur M. Jónsson, Hákon Aðalsteinsson og Gunnar Steinn Jónsson 1992).

Jørgen Kristiansen (1995) rannsakaði kísil – skeljaða gullþörungum í sýnum úr Þingvallavatni, aðallega safnað á árunum 1975 til 1978. Hann fann 16 tegundir og birtir af þeim rafeindasmásjármyndir.

4.2 Tegundir svifþörungum í vatninu

Í viðauka 1 eru listaðar mikilvægar lykiltegundir sem höfundur hefur fundið sem sviftegundir og í viðauka 2 eru ljósmyndir af nokkrum svifþörungum úr Þingvallavatni, öðrum en kísilþörungum. Þörungalista er að finna í Pétur M. Jónsson (ritstj.) 1992 og Gunnar Steinn Jónsson 2018 (<https://www.rorum.is/files/skra/35/>). Einnig vísar höfundur í (sjá heimildarlista): Gunnar Steinn Jónsson 2015, Gunnar Steinn Jónsson og Kesara Anamthawat-Jónsson 2020, Jørgen Kristiansen 1995 og Oye, P. van, 1941.

Endurskoðun á kísilþörungum vatnsins er enn í vinnslu. Niðurstöður ásamt ljósmyndum verða birtar í skýrslu um kísilþörungum vatnsins.

5 Heimildir

- Bart Van de Vijver, Elizabeth E. Alexson, Euan D. Reavie, François Straub, Gunnar Steinn Jónsson & Luc Ector 2020. Analysis of the type of *Synedra acus* var. *ostenfeldii* (Bacillariophyta) and its transfer to the genus *Fragilaria*, *Botany Letters*, DOI: 10.1080/23818107.2020.1845973
- Bart Van de Vijver, Tanja M. Schuster, Gunnar Steinn Jónsson, Iris Hansen, David M. Williams, Wolf-Henning Kusber, Carlos E. Wetzel & Luc Ector 2023. A critical analysis of the *Fragilaria vaucheriae* complex (Bacillariophyta) in Europe. *Fottea* 2023, 23(1):62-96 | DOI: 10.5507/fot.2022.013
- EN 15204:2006. Water quality - Guidance standard on the enumeration of phytoplankton using inverted microscopy (Utermöhl technique).
- Ernst V. Østrup 1918. Fresh-water diatoms from Iceland. *Botany of Iceland* vol II.
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2020. Náttúrufræðingurinn 90 (1), bls. 65–77.
- Gunnar Steinn Jónsson 2015. Kísilþörungarnir *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen og *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) E.Y. Haworth og rannsóknir í Þingvallavatni. Náttúrufræðingurinn 85 (3-4), bls. 134 – 139.
http://timarit.is/view_page_init.jsp?issId=392349&pageld=6780517&lang=is&q=N%E1tt%FArufr%E6%F0ingurinn
- Gunnar Steinn Jónsson, 2016. Þingvallavatn - ákoma og afrennsli. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. https://www.stjornarradid.is/media/umhverfisraduneyti-media/media/pdf_skrar/thingvallavatn---akoma-og-afrennsli.pdf. ISBN 978-9935-9143-2-3.
- Gunnar Steinn Jónsson, 2016. Mývatn - ákoma og afrennsli. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. https://www.stjornarradid.is/media/umhverfisraduneyti-media/media/pdf_skrar/myvatn---akoma-og-afrennsli.pdf. ISBN 978-9935-9143-3-0
- Gunnar Steinn Jónsson 2016. Rannsókn á svifþörungum í Þingvallavatni. Rannsókn styrkt af Orkuveitu Reykjavíkur. Rorum 2016.
- Gunnar Steinn Jónsson 2018. Þörungagróður í Þingvallavatni. Ljósmyndir af 56 tegundum svifþörungum og 125 tegundum smásærra kísilþörungum á botni Þingvallavatns. Rorum 2018 001.
<https://www.rorum.is/files/skra/35/>
- Gunnar Steinn Jónsson og Kesara Anamthawat-Jónsson 2020. Notkun rafeindasmásjár við tegundagreiningu svifþörungum í Þingvallavatni. Náttúrufræðingurinn 90 (1), bls. 57–64.
<https://timarit.is/page/7487106#page/n55/mode/2up>
- Haraldur R. Ingvason, Finnur Ingimarsson, Stefán Már Stefánsson, Þóra Hrafnisdóttir og Kristín Harðardóttir 2017. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2016 ásamt viðbótargögnum fyrir árið 2015 Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Unnið fyrir Bláskógabyggð, Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur, Umhverfisstofnun og Þjóðgarðinn á Þingvöllum. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 2-2017.
- Haraldur R. Ingvason, Finnur Ingimarsson og Stefán Már Stefánsson 2022. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2021. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Unnið fyrir Bláskógabyggð, Grímsnes- og Grafningshrepp, Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur og Þjóðgarðinn á Þingvöllum. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 3-2022.

- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason og Stefán Már Stefánsson 2010. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2009. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Unnið fyrir Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur, Umhverfisstofnun og Þjóðgarðinn á Þingvöllum. Fjölrit nr. 1-10. Náttúrufræðistofa Kópavogs 2010.
- Hustedt, F., 1937. Süßwasserdiatomeen von Island, Spitzbergen und den Färöer-Inseln. Botanischer Archiv Bd. 38: 152–207.
- Jørgen Kristiansen (1995). Silica-scaled chrysophytes from Lake Thingvallavatn, Iceland. *Algological Studies* 79: 67 – 76. Stuttgart, Dezember 1995.
- Krieger, W. 1927. Zur Biologie des Flußplanktons. Untersuchungen über das Potamoplankton des Havelgebietes. *Pflanzenforschung*. 10: 1–66. 5 bls.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11, 143–170.
- Müller, O. 1906. Pleomorphismus, Auxosporen und Dauersporen bei *Melosira*-Arten. *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik* 43. 49–88.
- Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I. and Niemkiewicz, E. 2006 Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. No. 106, 144pp.
- Ostenfeld, C.H. and Wesenberg Lund, C. 1905. A regular fortnightly exploration of the plankton of the two Icelandic lakes, Thingvallavatn and Myvatn. *Proc. R. Soc. Edinb.*, 25, no. 113: 1092-1167.
- Oye, P. van, 1941: Die Desmidiaceen von Thingvallavatn und Umgebung. *Biologisch Jaarboek* 7 (II): 306– 327.
- Pétur M. Jónasson (ritstj.) 1992. Ecology of oligotrophic, subarctic Thingvallavatn. Fræðafélagið Kaupmannahöfn. 439 bls.
- Pétur M. Jónasson, Hákon Aðalsteinsson og Gunnar Steinn Jónsson 1992). Production and nutrient supply of phytoplankton in subarctic, dimictic Thingvallavatn, Iceland. *OIKOS* 64: 162 – 187, Copenhagen 1992.
- Rott, E. 1981. Some results from phytoplankton counting inter-calibrations. *Schweiz Z. Hydrol.* 24: 15-24.
- Usoltseva M. V. og Likhoshway T. V. 2007. An Analysis of type material of *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen. *Diatom Research*, Volume 22 (1), 209-2016.
- Ute Mischke, Stephen Thackeray, Michael Dunbar, Claire McDonald, Laurence Carvalho, Caridad de Hoyos, Marko Jarvinen, Christophe Laplace-Treyture, Giuseppe Morabito, Birger Skjelbred, Anne Lyche Solheim, Bill Brierley and Bernard Dudley 2012. WISER Deliverable D3.1-4: Guidance document on sampling, analysis and counting standards for phytoplankton in lakes. 7 rammaáætlun ESB. Grant Agreement 226273. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17466/>
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. – *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 9: 1-38.
- Werff, A. van der, 1941: Scientific Results of Prof. Oye's Expedition in Iceland. XI. Bacillariales. *Biologisch Jaarboek* 8: 77–133.
- Willén, E. 1974. Metodik vid växtplanktonundersökningar. NLU Rapport 76. Statens Naturvårdsverk. Uppsala.

Viðauki 1: Nokkrar mikilvægar tegundir í svifvist Þingvallavatns

Bacillariophyta / Bacillariophyceae - Kísilþörungar

Centric

Aulacoseira islandica (Otto Müller) Simonsen

Aulacoseira subarctica (Otto Müller) E.Y.Haworth

Stephanodiscus minutulus (Kützing) Cleve & Möller

Stephanodiscus sp. (alpinus)

Urosolenia eriensis (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford

Urosolenia longiseta (O.Zacharias) Edlund & Stoermer

Pennate

Asterionella formosa Hassall

Fragilaria crotonensis Kitton

Fragilaria thingvellirensis Van de Vijver et G.S. Jónsson

Nitzschia holsatica Hustedt

Ulnaria acus (Kützing) Aboal 2003

Ulnaria grunowii (Lange-Bertalot & S.Ulrich) Cantonati & Lange-Bertalot 2017

Cryptophyceae, Cryptomonadales – Dulþörungar

Cryptomonas marsonii Skuja

Katablepharis ovalis Skuja

Plagioselmis nannoplantica (H.Skuja) G.Novarino, I.A.N.Lucas & S.Morrall

Dinophyta / Dinophyceae – Skorupþörungar

Gymnodinales

Gyrodinium helveticum (Penard) Y.Takano & T.Horiguchi

Woloszynskiaceae

Woloszynskia ordinata (Skuja) R.H.Thompson

Peridinales

Peridinium aciculiferum Lemmermann

Chlorophyceae – Grænþörungar

Volvocales

Eudorina elegans Ehrenberg

Tetrabaena socialis (Dujardin) H. Nozaki & M. Itoh

Ulothricales

Elakatothrix genevensis (Reverdin) Hindák

Chlorellales

Mucidosphaerium pulchellum (H. C. Wood) C. Bock, Pröschold et Krienitz

Chrysophyta – Gullþörungar

Chromulinales – Dinobryaceae

Chrysococcus rufescens Klebs

Dinobryon sociale (Ehrenberg) Ehrenberg

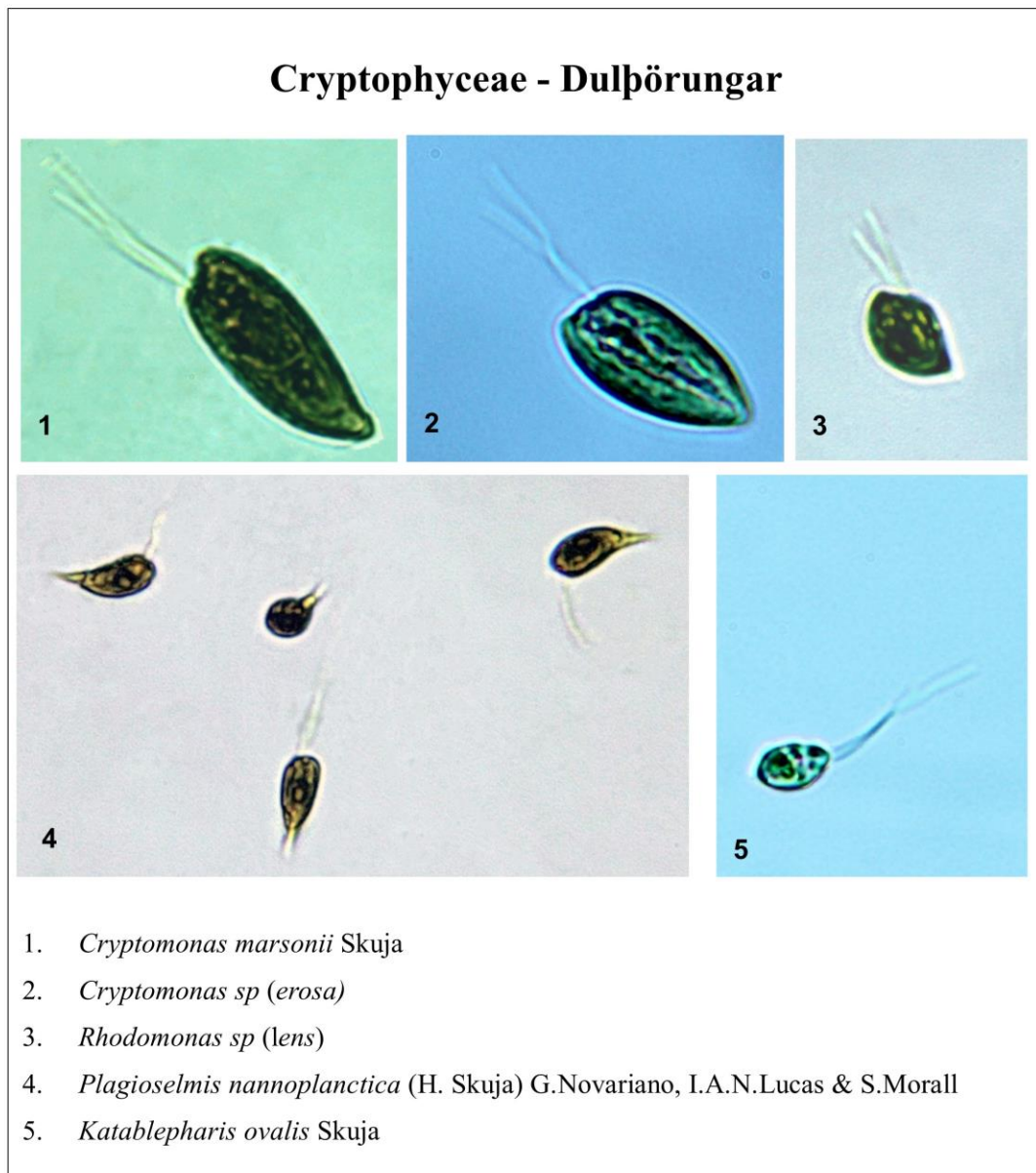
Cyanobacteria – Blágrænar bakteríur

Nostocales

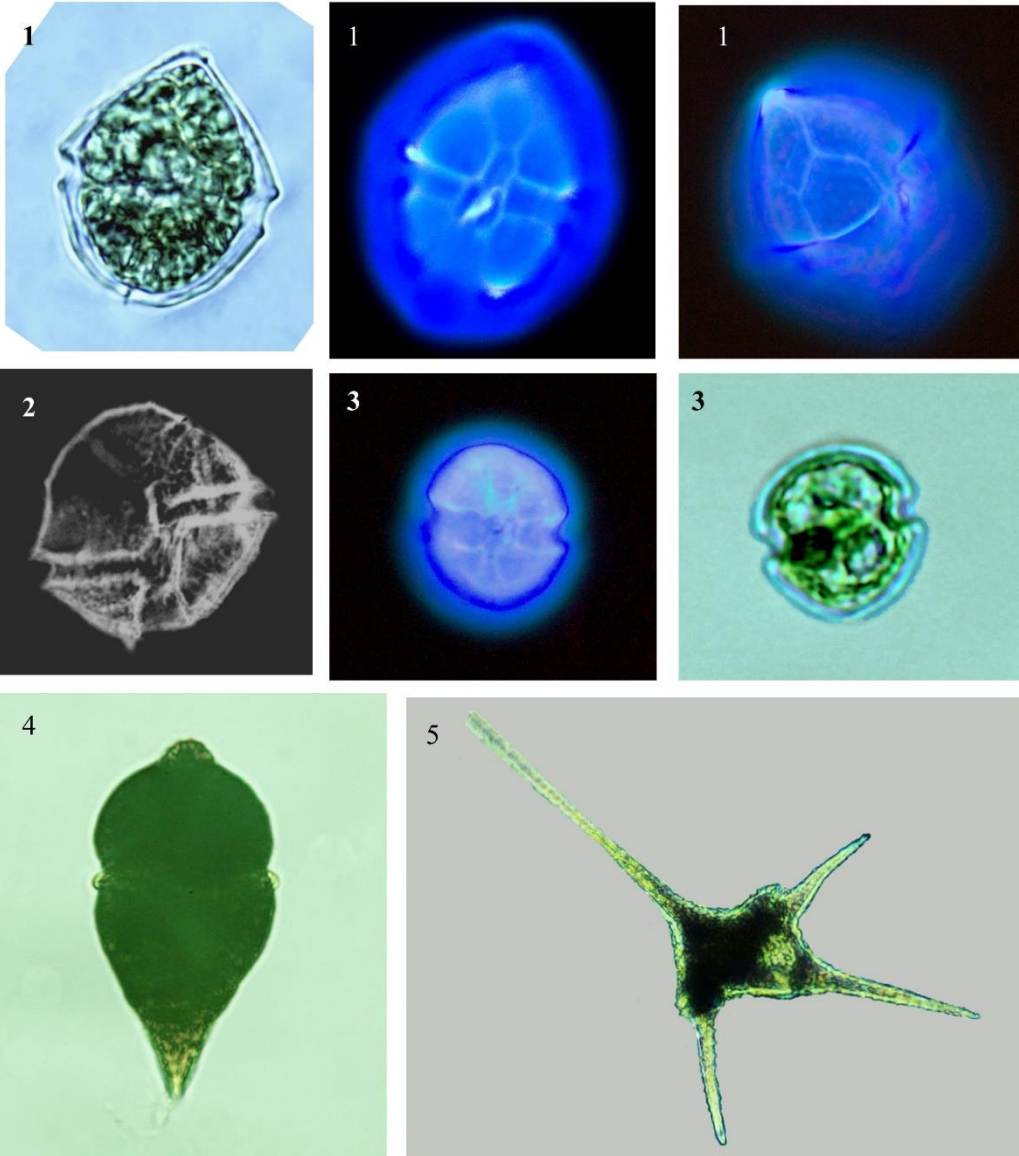
Anabaena inaequalis Bornet & Flahault

Trichormus variabilis (Bornet & Flahault) Komárek & Anagnostidis

Viðauki 2: Ljósmyndir af nokkrum svifþörungum, öðrum en kísilþörungum



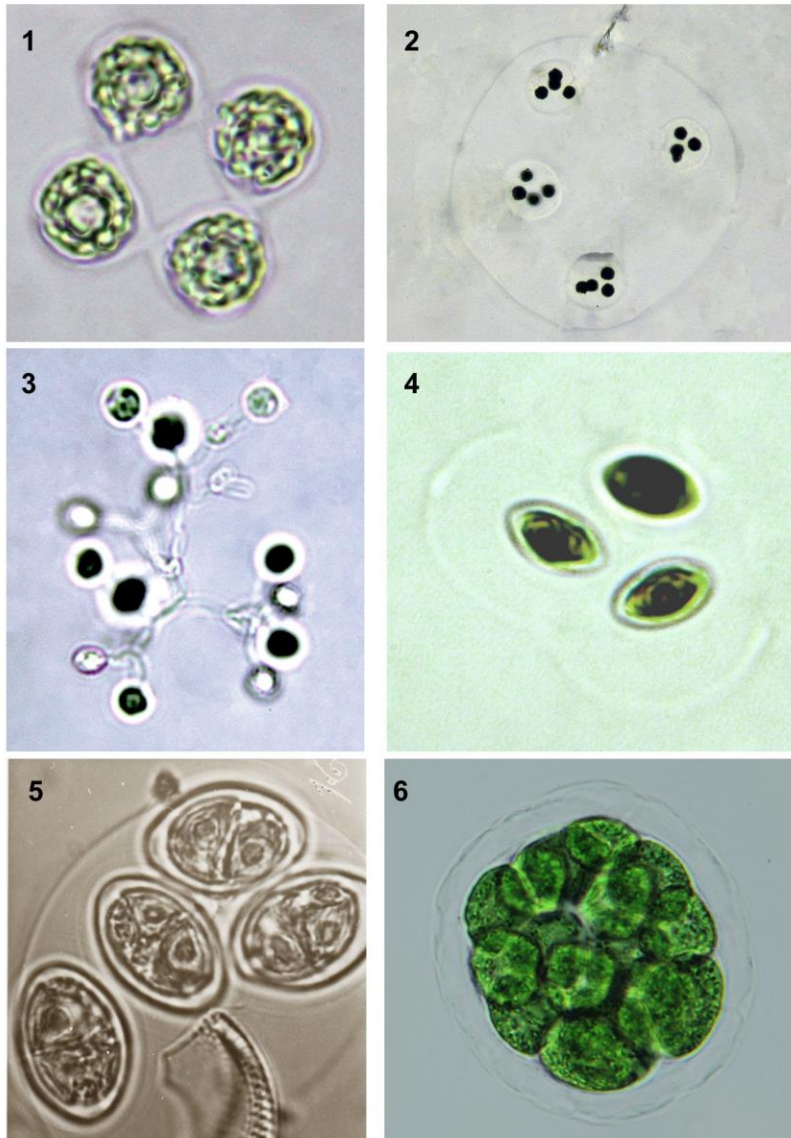
Dinophyceae - Skorubörungar



1. *Peridinium aciculiferum* Lemmermann
2. *Peridinium bipes* Stein
3. *Woloszynskia ordinata* (Skuja) R.H. Thompson
4. *Gyrodinium helveticum* (Penard) Y.Takano & T.Horiguchi
5. *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin

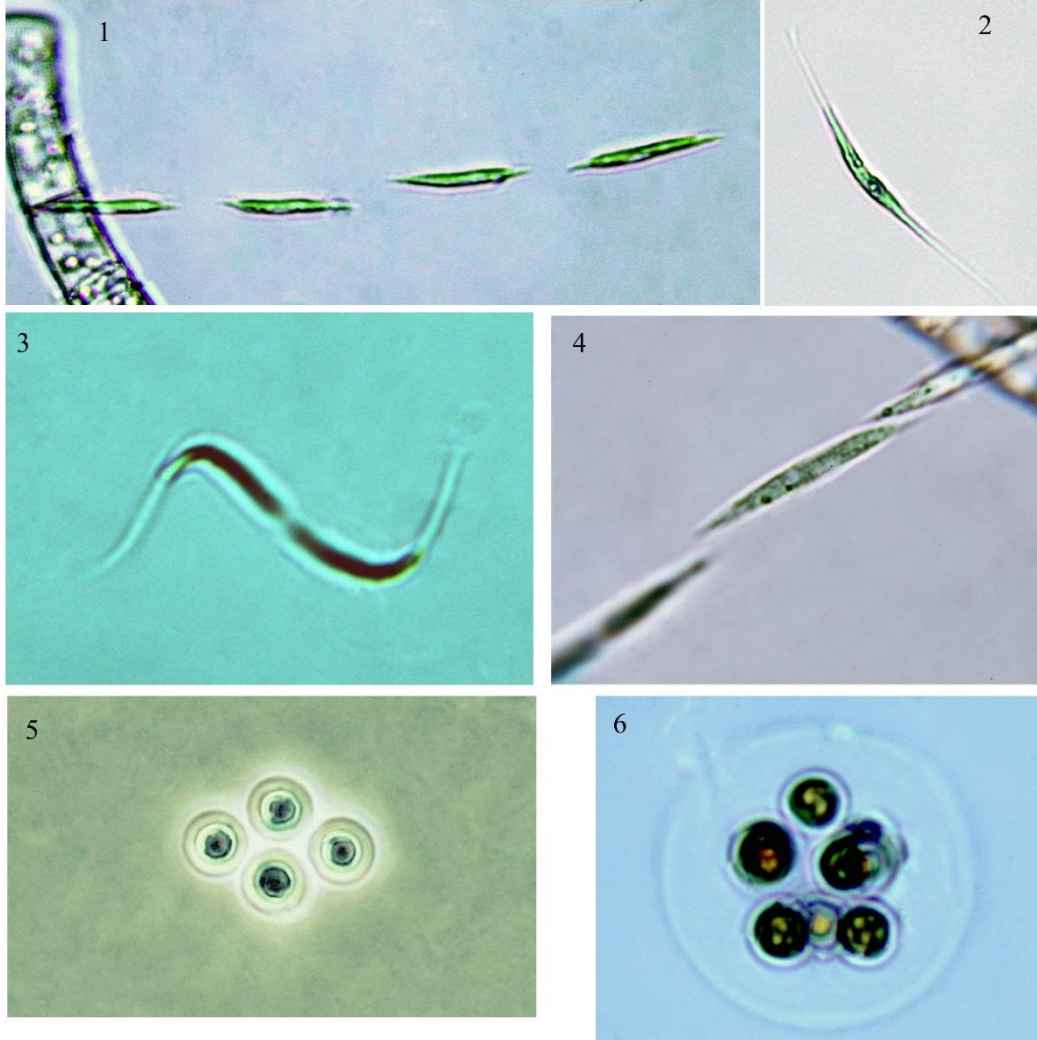
Grænþörungar

(Volvocales / Chlorellales / Chlamydomonadales)



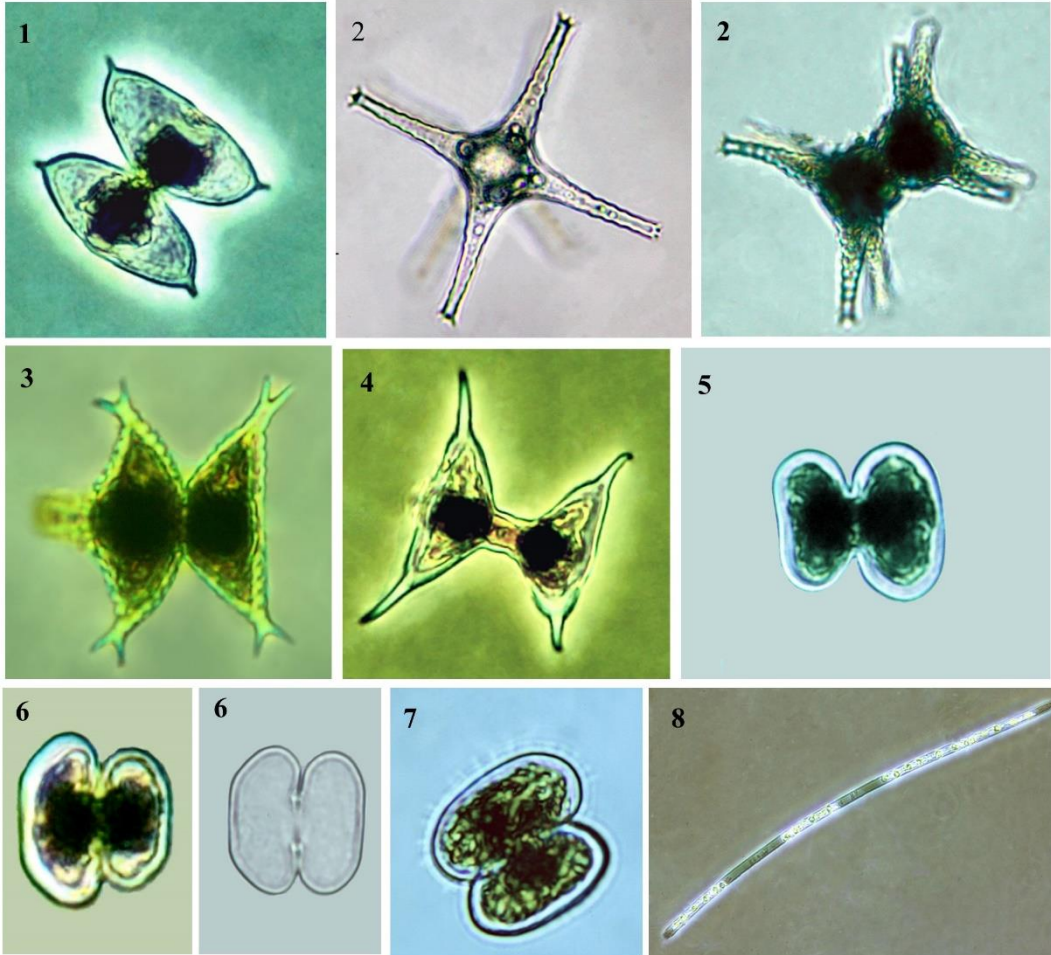
1. *Tetrabaena socialis* (Dujardin) H. Nozaki & M. Itoh
2. *Eudorina elegans* Ehrenberg
3. *Mucidosphaerium pulchellum* (H. C. Wood) C. Bock, Pröschold et Krienitz
4. *Oocystis parva* West & G. S. West
5. *Oocystis borgei* J. W. Snow
6. *Pandorina* sp.

Grænþörungar (Ulotrichales / Sphaeropleales / Chlorococcales)



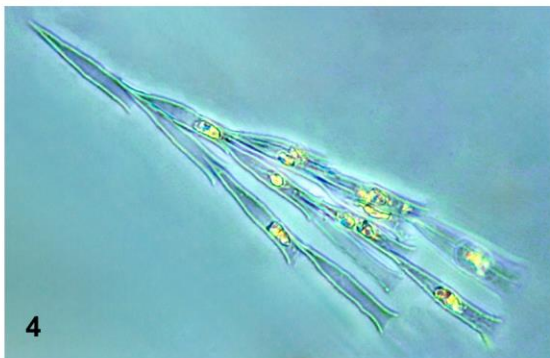
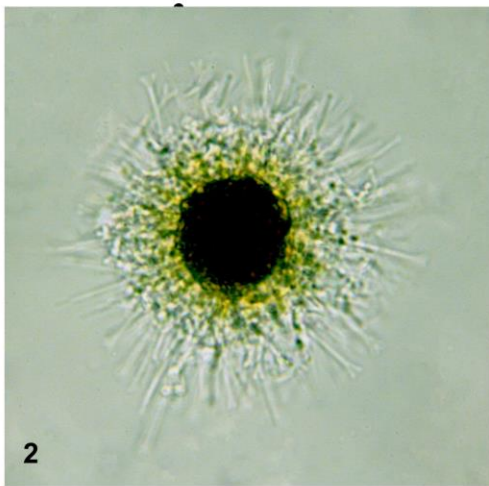
1. *Elakatothrix genevensis* (Reverdin) Hindák
2. *Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann
3. *Monoraphidium contortum* (Thuret) Kormárková-Legnerová
4. *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Kormárková-Legnerová
5. *Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith
6. *Sphaerocystis* sp.

Zygnematales - Skrautþörungar



1. *Staurodesmus dejectus* (Brébisson) Teiling
2. *Staurastrum c.f. paradoxum* Meyen ex Ralfs
3. *Staurastrum pseudopelagicum* West & G.S. West
4. *Staurodesmus cuspidatus* (Brébisson) Teiling
5. *Cosmarium bioculatum* Brébisson ex Ralfs
6. *Cosmarium phaceolus* Brébisson es Ralfs
7. *Cosmarium depressum* var. *planctonicum* Reverdin
8. *Mugeotia* sp.

Chrysophyta - Gullþörungar



1. *Synura* sp.
2. *Chrysosphaerella* sp.
3. *Dinobryon bavaricum* O. E. Imhof
4. *Dinobryon sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna