

Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns

Yfirlit yfir fimm fyrstu vöktunarárin 2007–2011
og samanburður við eldri gögn

Hilmar J. Malmquist,
Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason,
Stefán Már Stefánsson og Þóra Hrafnisdóttir

Fjölrit nr. 3-2012



Náttúrufræðistofa Kópavogs
Natural History Museum of Kópavogur

Unnið fyrir Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur,
Umhverfisstofnun og Þjóðgarðinn á Þingvöllum



VÖKTUN Á LÍFRÍKI OG VATNSGÆÐUM ÞINGVALLAVATNS

Yfirlit yfir fimm fyrstu vöktunarárin
2007–2011 og samanburður við eldri gögn

Unnið fyrir Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur,
Umhverfisstofnun og Þjóðgarðinn á Þingvöllum

Hilmar J. Malmquist,
Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason,
Stefán Már Stefánsson og Þóra Hrafnadóttir

Fjölrit nr. 3-2012



Náttúrufræðistofa
Kópavogs

Hamraborg 6a - 200 Kópavogur - natkop.is

Ágrip

Árið 2007 hófst vöktunarverkefni á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns á vegum Umhverfisstofnunar, Landsvirkjunar, Orkuveitu Reykjavíkur og Þjóðgarðsins á Þingvöllum. Um er að ræða árlega sýnatöku og mælingar og er vöktuninni skipt í þrjá verkþætti. Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands hefur séð um efna- og eðlisþætti í írennsli og frárennsli Þingvallavatns, Náttúrufræðistofa Kópavogs hefur séð um lífríki og efna- og eðlisþætti í vatnsbol vatnsins og Veiðimálastofnun hefur ásamt Náttúrufræðistofunni séð um rannsóknir á murtu. Litið er á vöktunina sem mikilvægt tæki til að stuðla að verndun á vistkerfi Þingvallavatns en meginmarkmið vöktunarinnar er að kortleggja ástand og breytingar sem kunna að verða á lífríki og efna- og eðlisþáttum vegna hugsanlegra álagsþátta jafnt af manna völdum sem náttúrunnar. Verndargildi Þingvallavatns er mjög mikið á landsvísu og í hnattrænu samhengi, m.a. vegna tilvistar einlendra tegunda og samsvæða þróunar bleikjuafbrigðanna fjögurra í vatninu. Til verndar vatninu gilda ákvæði samkvæmt landslögum og reglugerðum og alþjóðlegum samþykktum. Í skýrslunni sem hér er á ferð er veitt yfirlit yfir helstu niðurstöður fyrstu fimm ár vöktunarinnar. Meginniðurstöður eru reifaðar og bornar saman við eldri gögn og m.a. rýnt í áður óbirt vatnshitagögn frá Steingrímsstöð.

Vöktunin staðfestir að vatnsgæði Þingvallavatns eins og þau eru skilgreind skv. reglugerð 796/1999 um varnir gegn mengun vatns eru mjög góð enda þótt þrjár umhverfisbreytur af tíu, þ.e. magn þörungasvifs (blaðgrænu-a) og styrkur uppleysts heildarfosfórs (Tot-P) og króms (Cr) hafi verið yfir tilskildum viðmiðunarmörkum fyrir besta ástandsflokk A skv. reglugerð nr. 650/2006 um verndun vatnasviðs Þingvallavatns. Á árunum 2007–11 var magn blaðgrænu-a úti í vatnsbolnum á ársgrunni í allt að 60% tilfella í ástandsflokki B (2–5 µg/l) og allt að 20% í ástandsflokki C (5–10 µg/l). Styrkur Tot-P mældist í írennsli við Silfru og Vellankötlum og úti í vatnsbolnum í öllum tilfellum á mörkum ástandsflokks B (10–30 µg/l) og C (31–50 µg/l). Styrkur króms í írennslinu féll í öll skipti í ástandsflokk B (0,3–5,0 µg/l).

Vöktunin staðfestir einnig að marktækar breytingar hafa átt sér stað í lífríki og efna- og eðlisþáttum Þingvallavatns undanfarna áratugi. Þingvallavatn hefur hlýnað, styrkur uppleysts nitrats (NO₃) aukist í írennslinu, magn þörungasvifs (blaðgrænu-a) aukist í vatnsbolnum og rýni vatnsins minnkað í kjölfarið. Styrkur fosfórs í írennslisvatni Silfru og Vellankötlum hefur aftur á móti minnkað. Orsakir þessara breytinga eru raktar bæði til hnattrænna og staðbundinna þátta. Hlýnun vatnsins á tímabilinu 1962–2011 fellur vel að þróun ársmeðalhita á Íslandi í kjölfar hlýnandi loftslags. Vatnið hefur hlýnað flesta mánuði, mest þó í júní–ágúst um 1,23–1,52°C að meðaltali í mánuði. Vegna hlýnunar leggur Þingvallavatn nú orðið sjaldan. Samhliða hlýnuninni virðast hitaskil í vatninu með tilheyrandi lagskiptingu hafa eflst. Styrksaukningin í nitrati nemur um 60% og er rakin m.a. til aukinnar loftborinnar ákomu niturs, en ákoman virðist hafa allt að því tvöfaldast á sl. 3–4 áratugum. Aukningin í magni þörungasvifs frá því um 1975 og fram á fyrsta áratug þessarar aldar er tvö- til ríflega fjórföld og mest á hausti til. Þar sem frumframleiðsla þörungasvifs í Þingvallavatni er takmörkuð af nitri og styrkur næringarefna almennt í lægri kantinum leiðir jafnvel lítil aukning í niturákomu til merkjanlegrar vaxtaraukningar meðal þörunganna. Þrátt fyrir breytingar í magni þörungasvifs er ekki að sjá að tegundasamsetning þörungaflórunnar hafi breyst sem heitið getur. Ríkjandi tegundir nú eins og fyrir um 110 árum eru stórvaxnir kísilþörungar á borð við *Aulacoseira islandica* f. *curvata*, *A. islandica* og *A. italica*. Ekki er heldur að sjá að dýrasvif eða murta hafi tekið miklum breytingum.

Nokkrar tillögur eru kynntar til úrbóta í vöktunarverkefninu. Einkum er brýnt að rannsaka kransþörungabeltið vegna minnkandi rýnis í vatninu, kanna setmyndun m.t.t. ákomu efna og fjölga mælingum á næringarefnum í írennslinu til að varpa ljósi á árstíðabreytileika.

Summary

In the year 2007 a monitoring programme was launched to assess ecological quality of lake Þingvallavatn, Iceland. The programme is run by the Environment Agency of Iceland, Landsvirkjun, Reykjavík Energy and the Thingvellir National Park. The main purpose of the project is to promote sustainable use and conservation of the lake ecosystem. Lake Þingvallavatn is the largest lake in Iceland and of very high conservation value, mainly because of its clarity, blue color and rich flora and fauna, including two endemic species of subterranean amphipods and four morphs of Arctic charr which represent sympatric evolution within the lake. The lake and its catchment are subject to several acts and regulations that aim for protection of the biota and sensible conduct of the ecosystem. These include act no. 47/2004 on the Thingvellir National Park (reg. no. 848/2005) and act no. 85/2005 on the protection of lake Þingvallavatn and catchment (reg. no. 650/2006). Also, the Althingi at Þingvellir along with the lake is listed as an UNESCO World Heritage Site because of cultural significance. Moreover, in January 2011 Icelandic authorities nominated lake Þingvallavatn and its catchment to UNESCO's tentative list of World Heritage Sites because of geological and biological significance.

Three major work tasks are in the programme: 1) physico-chemical factors in inlet and outlet water, executed by Institute of Earth Sciences, University of Iceland, 2) biological and physico-chemical factors in the pelagic, executed by Natural History Museum of Kópavogur and 3) fish populations, executed by Institute of Freshwater Fisheries and the Natural History Museum of Kópavogur. In the present report, an overview of the main results for the first five years of monitoring is given. Also, the results are compared with data from last century, including hitherto unpublished data on lake temperature.

According to reg. no. 650/2006 the lake and water within the catchment is defined as a sensitive receptor, especially with regard to nitrogen, and water quality shall comply with the most stringent standards, i.e. class A (reg. no. 796/1999). During 2007–11 water quality was of class A, except for three parameters out of ten, i.e. chlorophyll-a, Tot-P and Cr. On a yearly basis, up to 60% of chlorophyll-a samples in the pelagic fell in class B (2–5 µg/l) and up to 20% in class C (5–10 µg/l). For Tot-P in springfed inlet water and the pelagic, all measurements fell within class B (10–30 µg/l) and C (31–50 µg/l). Dissolved Cr in the inlet water measured on all occasions in class B (0.3–5.0 µg/l).

Lake Þingvallavatn has undergone significant changes in physico-chemical and biological factors for the past 3–4 decades. The lake has warmed up, concentrations of NO₃ in inlet water have increased, chlorophyll-a in the pelagic has increased and Secchi depth decreased. These changes are ascribed to both global and local stress factors. Warming has occurred in most months, especially in June–August with 1.23–1.52°C increase in monthly means during 1962–2011. Warming of the lake in terms of annual mean temperature fits well to the pattern observed for annual mean air temperature in Iceland, increasing since the mid 1980's in the wake of climate warming. Increased levels of nitrate, up to 60% of that in the mid 1970's, are attributed to increased airborne deposition in the catchment, estimated to have almost doubled over the past 3–4 decades. Concentrations of chlorophyll-a have increased 2–4 times as compared to that in the 1970–80's. Because lake Þingvallavatn is nitrogen limited as well as being oligo-/mesotrophic, even a small amount of increase in nitrogen will lead to increase in primary production of phytoplankton in the lake.

Reactions on behalf of official authorities as to mitigate impact on the lake ecosystem are depicted (reg. no. 650/2006). In the report proposals are put forth in order to improve the monitoring project.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	4
Summary	5
Efnisyfirlit	6
Myndaskrá	7
Töfluskrá	7
1. Inngangur.....	8
2. Efni og aðferðir	12
2.1 Efna- og eðlisþættir	12
2.2 Svifþörungar	15
2.2.1 Tegundasamsetning og þéttleiki	15
2.2.2 Blaðgræna-a.....	15
2.3 Svifdýr	15
2.4 Murta	16
3. Niðurstöður.....	17
3.1 Eðlisþættir.....	17
3.2 Efnathættir	25
3.3 Svifþörungar	32
3.4 Rýni	40
3.5 Svifdýr	42
3.6 Murta	48
4. Umræður.....	51
4.1 Vatnshiti í Þingvallavatni	51
4.1.1 Hlýnun vatnsins	51
4.1.2 Hitaskil og lagskipting.....	52
4.1.3 Hitamengun frá Nesjavallavirkjun.....	52
4.2 Efnaákoma og uppruni efna.....	53
4.2.1 Nitur.....	53
4.2.2 Önnur efni en nitur	54
4.2.3 Stöðugleiki.....	55
4.3 Lífríkið.....	56
4.3.1 Breytingar í þörungasvifinu.....	56
4.3.2 Áhrif þverrandi rýni.....	57
4.3.3 Dýralífið	58
5. Niðurlag og ábendingar	60
6. Heimildir	63

Myndaskrá

1. mynd.	Sýna- og mælistöðvar vegna vöktunar í Þingvallavatni	13
2. mynd.	Ársmeðalhiti í Þingvallavatni 1962–2011	18
3. mynd.	Ísadagar á Þingvallavatni 1974–2012	19
4. mynd.	Hitastigsferill samkvæmt síritum í vatnsbol á stöð HS1	21
5. mynd.	Hitastigsferill samkvæmt síritum á Sandeyjardjúpi (stöð HS2)	22
6. mynd.	Ferlar vatnshita og sýrustigs í vatnsbol á stöð V2	23
7. mynd.	Ferlar uppleysts súrefnis og súrefnsimettunar í vatnsbol á stöð V2	24
8. mynd.	Magn blaðgrænu-a í vatnsbol Þingvallavatns 1979, 1981–82 og 2007–11	32
9. mynd.	Magn blaðgrænu-a á mismunandi dýpi á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns	33
10. mynd.	Magn blaðgrænu-a á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns 2007–2011	34
11. mynd.	Magn blaðgrænu-a á stöð V4 við útfall Þingvallavatns 2008–11	34
12. mynd.	Dreifing mæligilda blaðgrænu-a eftir umhverfismarkaflokkum	35
13. mynd.	Hlutdeild svifþörungategunda í vatnsbolnum 2007–10	38
14. mynd.	Hlutdeild kísilþörungum m.t.t. þéttleika og lífþyngdar 2007–10	39
15. mynd.	Rýni í Þingvallavatni 1974–79, 1981–82 og 2007–11	40
16. mynd.	Þéttleikahlutdeild krabbadýrategunda í vatnsbol 2007–11	42
17. mynd.	Heildarþéttleiki krabbadýra í vatnsbol Þingvallavatns 2007–11	43
18. mynd.	Heildarþéttleiki krabbadýra í vatnsbolnum 2007–11 m.t.t. dýpis	43
19. mynd.	Þéttleiki krabbadýrategunda í vatnsbolnum 2007–11 m.t.t. mánuða	44
20. mynd.	Murtuafli á sóknareiningu eftir árum 2000–11	49
21. mynd.	Meðallengd og meðalþyngd murtu eftir árum og möskvastærð 2007–11	50
22. mynd.	Meðallengd og meðalþyngd murtu eftir aldri árin 2007 og 2008	50

Töfluskrá

1. tafla.	Yfirlit yfir sýnatökur og mælingar 2007–11	12
2. tafla.	Niðurstöður aðhvarfsgreiningar á vatnshita í Steingrímsstöð	18
3. tafla.	Ísalagnir og ísabrot á Þingvallavatni 1974–2012	20
4. tafla.	Eðlis- og efnapættir í írennsli Þingvallavatns 1975 og 2007–11	26
5. tafla.	Snefilefni í írennsli og frárennsli Þingvallavatns 2007–11	27
6. tafla.	Aðalefni í írennsli Þingvallavatns 1975 og 2007–11	28
7. tafla.	Næringarefni, sýrustig og hiti í írennsli og frárennsli 1975 og 2007–11	29
8. tafla.	Næringarefni í vatnsbol á stöð V2 árið 2007, 2010 og 2011	31
9. tafla.	Þéttleiki og lífþyngd kísil- og dulþörungum í vatnsbol Þingvallavatns 2007–10	36
10. tafla.	Þéttleiki og lífþyngd svifþörungum annarra en kísil- og dulþörungum 2007–10	37
11. tafla.	Rýni (sjóndýpi) í Þingvallavatni 1974–79, 1981–82 og 2007–11	41
12. tafla.	Tegundasamsetning og þéttleiki krabbadýra í vatnsbolnum 2007–11	45
13. tafla.	Tegundasamsetning og þéttleiki þyrildýra í vatnsbolnum 2007–11	47

1. Inngangur

Vöktunarverkefni í Þingvallavatni hófst vorið 2007 þegar Umhverfisstofnun, Landsvirkjun, Orkuveita Reykjavíkur og Þjóðgarðurinn á Þingvöllum gerðu með sér þar að lútandi samkomulag og samstarfssamning (Samstarfssamningur 2007, Samkomulag 2007). Vöktunin nær til lykilþátta í lífríki og efna- og eðilsfræði vatnsins og fara mælingar og sýnataka fram nokkrum sinnum á hverju ári. Meginástæður þess að ráðist var í vöktunarverkefnið er hátt verndargildi Þingvallavatns vegna lífríkis og vatnafræðilegra eiginleika, sem og vegna tengsla vatnsins við þjóðgarðinn á Þingvöllum. Hinn vísindalegi grunnur að baki verndargildi vatnsins var lagður með umfangsmiklum rannsóknum á vistkerfi vatnsins sem hófust um miðjan áttunda áratug síðustu aldar og stjórnað var af Pétri M. Jónassyni (Pétur M. Jónasson 1992, Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson 2002, 2011).

Um Þingvallavatn og vatnasvið þess gilda ýmis verndarákvæði samkvæmt lögum, reglugerðum og samþykktum. Verndarákvæðin grundvallast að miklu leyti á því að í vatninu þrífst óvenju gróskumikið lífríki sem er um margt mjög sérstakt og sum part einstakt á jörðinni. Auk þess að vera þekkt sem fengsælt fiskivatn, einkum vegna murtunnar, er Þingvallavatn einna kunnast fyrir bleikjuafbrigðin fjögur sem þar hafa þróast og aðlagast mismunandi búsvæðum og fæðu. Hvergi í nokkru öðru vatni á norðurvelli jarðar er að finna jafn mörg bleikjuafbrigði og hvergi eru afbrigðin jafn ólík í útliti og lífsháttum eins og í Þingvallavatni. Þróun bleikjunnar í Þingvallavatni þykir afar merkileg í vistfræði- og þróunarfræðilegu tilliti og hefur verið líkt við finkur Darwins og þróunarsögu þeirra á Galapagoseyjum (Sigurður S. Snorrason o.fl. 2002, 2011a).

Annað gott dæmi um sérstöðu Þingvallavatns í hnattrænu samhengi eru grunnvatnsmarflær sem nýlega fundust í lindum við vatnið. Um er að ræða tvær tegundir, *Crymostygius thingvallensis* og *Crangonyx islandicus*, sem báðar eru nýjar fyrir vísindin og þekkjast ekki utan Íslands (Bjarni K. Kristófersson og Jörundur Svavarsson 2007, Kornobis o.fl. 2010). Þessar tvær tegundir eru því meðal örfárra einlendra tegunda sem til eru á Íslandi, en þær eru aðeins fimm eða sex talsins. Önnur krabbategundin er aðeins þekkt frá Herðubreiðarlindum auk Þingvallavatns, en hin finnst víðar í grunnvatni á eldvirka beltinu. Margt bendir til að báðar tegundirnar hafi hafst við ofan í grunnvatnsgeymi landsins og þraukað af kuldaskeið fyrri ísalda, jafnvel í 40 milljónir ára. Hér eru því á ferð afkomendur elstu lífvera landsins.

Þingvallavatn er af gerð lindavatna en um 90% af öllu vatni sem berst til Þingvallavatns streymir í það sem grunnvatn undir yfirborði jarðar í gegnum víðáttumikil, lek og gropin hraun (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2002, 2011). Eins og og á við um flest lindavötn einkennist írennsli Þingvallavatns af stöðugleika í rennsli, vatnshita og efnainnihaldi. Vatnið er á mörkum þess að vera rýrt eða miðlungi ríkt af næringarefnum og líkt og almennt virðist gilda um stöðuvötn á Íslandi er það nitur en ekki fosfór sem er takmarkandi fyrir frumframleiðslu gróðurs, sér í lagi þörungasvifs. Takmarkað framboð næringarefna, einkum skortur á nitri, er ein helsta skýringin á því að Þingvallavatn er jafn hreint, tært og blátt og raun ber vitni. Vegna álags af manna völdum eru fá stór, hrein og tær vötn eftir á jörðinni og þeim fer fækkandi.

Þingvallavatn býr því einnig yfir mikilli hnattrænni sérstöðu í vatnafræðilegu tilliti vegna tærleika síns og bláma.

Helstu lög og reglugerðir sem snerta Þingvallavatn með beinum hætti eru annars vegar lög nr. 47/2004 um þjóðgarðinn á Þingvöllum ásamt þar að lútandi reglugerð nr. 848/2005 og hins vegar lög nr. 85/2005 um verndun vatnasviðs Þingvallavatns og þar að lútandi reglugerð nr. 650/2006.

Þjóðgarðurinn á Þingvöllum er um 237 km² og er hann allur innan vatnasviðs Þingvallavatns. Auk þess nær þjóðgarðurinn yfir nyrsta fjórðung Þingvallavatns. Í 4. gr. laga nr. 47/2004 er að finna eftirfarandi ákvæði sem snertir Þingvallavatn: „*Innan þjóðgarðsins er óheimilt að gera nokkuð það sem getur spillt eða mengað vatn þar, bæði vatn á yfirborði og grunnvatn. Vernda skal lífríki Þingvallavatns og gæta þess að raska ekki búsvæðum og hrygningarstöðvum bleikjuafbrigða og urriðastofna sem nú lifa í vatninu. Þingvallanefnd er heimilt að setja sérstakar reglur til að framfylgja þessum ákvæðum um vatnsvernd innan þjóðgarðsins.*“ Þá er í 7. gr. sömu laga að finna þetta ákvæði: „*Þá getur Þingvallanefnd sett reglur um meðferð spilliefna, frárennslis og annars sem hætta er á að mengi jarðveg og/eða vatn innan þjóðgarðsins, þ.m.t. Þingvallavatn, og flutning hættulegra efna og mengandi efna innan þjóðgarðsins.*“

Lög nr. 85/2005 ásamt reglugerð nr. 650/2006 sýsla séstaklega með verndun Þingvallavatns og vatnasviðsins. Í 1. gr. laganna stendur: „*Tilgangur laga þessara er að stuðla að verndun lífríkis Þingvallavatns og vatnasviðs þess.*“ Ákvæði laganna eru samhljóða ákvæðum laga nr. 47/2004 en lög nr. 85/2005 taka hins vegar yfir mun stærra verndarsvæði, eða allt vatnasvið Þingvallavatns sem er um 1.300 km². Í 3. gr. laga nr. 85/2005 er tilgreint að „*Innan verndarsvæðisins er óheimilt að gera nokkuð það sem getur spillt vatni eða mengað það, bæði yfirborðsvatn og grunnvatn.*“

Í reglugerð nr. 650/2006 um framkvæmd verndunar vatnasviðs og lífríkis Þingvallavatns er að finna eftirfarandi markmiðssetningu í 1. gr.:

„*Markmið reglugerðar þessarar er:*

að stuðla að verndun vatnasviðs og lífríkis Þingvallavatns með markmið sjálfbærrar þróunar að leiðarljósi,

að tryggja að innan verndarsvæðisins verði yfirborðsvatni eða grunnvatni ekki spillt eða það mengað, svo sem vegna jarðrasks, byggingar mannvirkja, búsetu, borunar eftir vatni, töku jarðefna, vinnslu auðlinda úr jörðu og ræktunarframkvæmda eða vegna flutninga og meðhöndlunar eiturefna og hættulegra efna,

að tryggja að tegundum, búsvæðum, vistgerðum og líffræðilegri fjölbreytni Þingvallavatns verði ekki spillt og að lífríki þess fái eftir því sem kostur er að þróast eftir eigin lögmálum.“

Einnig er í 4. gr. reglugerðar nr. 650/2006 að finna eftirfarandi meginreglur:

„*Innan verndarsvæðis Þingvallavatns er óheimilt að gera nokkuð það sem getur spillt vatni eða mengað, hvort sem um er að ræða yfirborðsvatn eða grunnvatn.*

Innan verndarsvæðisins er óheimilt að gera nokkuð það sem getur haft neikvæð áhrif á lífríki Þingvallavatns og vatnasviðs þess og óheimilt er að raska búsvæðum og hrygningarstöðvum bleikjuafbrigða og urriðastofna sem nú lifa í vatninu.

Óheimilt er að skipuleggja iðnaðarsvæði, þéttbýli og búskap með þauleldi og annað það sem spillt getur vatni eða lífríki Þingvallavatns.

Við skipulag frístundabyggðar, útivistar og umferðar skal þess gætt að mengunarhætta og röskun lífríkis Þingvallavatns verði sem minnst.“

Þá er mikilvægt að benda á ákvæði í 5. gr. reglugerðar nr. 650/2006 þar sem vatnsgæði á verndarsvæðinu eru skilgreind en þar segir: „*Þingvallavatn og vatn á verndarsvæði Þingvallavatns er viðkvæmur viðtaki og skal falla í flokk A sem ósnortið vatn sbr. reglugerð um varnir gegn mengun vatns.*“ Í 18. gr. sömu reglugerðar er ennfremur tilgreint að Þingvallavatn teljist viðkvæmt gagnvart köfnunarefnismengun en það skýrist af því að nitur (köfnunarefni) er, eins og áður segir, hinn takmarkandi þáttur í frumframleiðslu þörungasviðsins. Rannsóknir á Þingvallavatni, jafnt fyrr sem nú, hafa staðfest að nitur og fosfór berast til vatnsins um það bil í hlutfallinu 2:1 (Hákon Aðalsteinsson o. fl. 1992, Hákon Aðalsteinsson og Pétur M. Jónasson 2002, 2011; Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012), en þörungarnir og fleiri frumframleiðendur þurfa þessi tvö næringarefni í hlutfallinu 7:1 (Moss 1998). Gróðurinn þarf m.ö.o. um sjö sinnum meira af nitri en fosfór, en framboðið á nitri í Þingvallavatni er aftur á móti aðeins um þriðjungur til fjórðungur af þörfinni.

Aukin ákoma niturs og annarra næringarefna stuðlar að auknum vexti þörungna og plantna. Ef slík aukning verður umtalsverð getur hún haft bæði alvarleg og víðtæk áhrif á viðkomandi vistkerfi. Lífsskilyrði gróðurs og dýra á botni eru líklegust til að verða fyrst fyrir áhrifum, en með vaxtaraukningu þörungasviðs dregur úr tærleika og bláma vatnsins, rýni (sjóndýpi) minnkar og ljósstyrkur sólar nær skemmra niður í vatnssúluna.

Í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns er að finna töluleg viðmið fyrir fimm mismunandi ástandsflokka (umhverfismarkaflokka) sem eiga við yfirborðsvatn og taka viðmiðin til magns saurgerla, styrks þungmálma, heildarfosfórs (Tot-P), heildarniturs (Tot-N) og blaðgrænu-a. Ástandsflokkur A er skilgreindur sem „ósnortið vatn“ og svarar hann til umhverfismarkaflokks I sem telst „næringarefnasnautt vatn“ (e. oligotrophic) m.t.t. styrks heildarfosfórs (Tot-P), heildarniturs (Tot-N) og blaðgrænu-a. Samkvæmt reglugerð nr. 796/1999 skal vatn í ástandsflokki A endurspegla að þar séu engar eða litlar vísbendingar um áhrif frá mannlegri starfsemi á lífríki eða efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þess.

Auk framangreindra laga og reglugerða gilda einnig um hluta Þingvallavatns verndarákvæði í samræmi við alþjóðasáttmála UNESCO um verndun menningar- og náttúruarfleifðar heimsins, en gamli þjóðgarðurinn á Þingvöllum, þ.e. svæðið sem afmarkað er samkvæmt lögum nr. 59/1928, var samþykktur á heimsminjaskrá Menningarmálastofnunar Sameinuðu þjóðanna í júlí 2004 sem verndarsvæði vegna einstaks menningarlandslags. Þar sem svæðið nær til hluta Þingvallavatns gilda verndarákvæði samþykktarinnar einnig um þann hluta vatnsins. Enda þótt samþykktin skírskoti fyrst og fremst til menningarminja er engu að síður að finna skýrar tilvísanir í náttúru svæðisins, þ. á m. lífríki Þingvallavatns, í þar að lútandi umsóknar- og

tilnefningarskjali (Heimsminjanefnd Íslands 2003). Þá er vert að geta þess að íslensk stjórnvöld hafa lagt fram nýja bráðabirgðatillögu (e. tentative submission) um heimsminjaskráningu Þingvallavatns og alls vatnasviðsins á grundvelli einstakrar náttúruarfleifðar vatnalífríkisins. Sú bráðabirgðatillaga var lögð fram þ. 31.1.2011 og hún færð til bókar af Heimsminjaskrárnefnd UNESCO þ. 7.2.2011 (Umhverfisráðuneytið 2011, UNESCO 2012).

Litið er á vöktunina sem hófst árið 2007 sem mikilvægt tæki til að stuðla að verndun á vistkerfi Þingvallavatns, en meginmarkmið verkefnisins er að kortleggja ástand og breytingar sem kunna að verða á lífríki og efna- og eðlisþáttum vegna hugsanlegra álagspátta, jafnt af mannlegum sem náttúrulegum toga. Á meðal álagspátta sem horft er til eru ofauðgun næringarefna, mengunaróhöpp og loftslagshlýnun.

Vöktuninni er skipt í þrjá meginverkpætti og um hvern verkþátt sér framkvæmdaraðili í samræmi við þar að lútandi samning:

1. Efna- og eðlisþættir í írennsli og útfalli. Jarðvísindastofnun Háskólans,
2. Lífríkis- og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Náttúrufræðistofa Kópavogs,
3. Fiskistofnar. Veiðimálastofnun og Náttúrufræðistofa Kópavogs.

Verkpættir nr. 1 og 2 hafa verið framkvæmdir öll fimm árin en verkþáttur nr. 3 einu sinni að undanskildum rannsóknum á hrygningarstofni murtu sem hafa farið fram á síðastliðin 30 ár á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs og Líffræðistofnunar Háskóla Íslands.

Fyrir vöktunarverkefninu fer verkefnisstjórn sem skipuð er einum manni frá hverjum framkvæmdaraðila. Umhverfisstofnun er umsýsluaðili verkefnisins og sér um fjárhagslega umsýslu verkþátta í vöktun Þingvallavatns. Verkefnisstjórn ræður einn verkefnisstjóra sem hefur faglega þekkingu á lífríki Þingvallavatns. Verkefnisstjóri vöktunarverkefnisins á tímabilinu 2007–11 hefur verið Hilmar J. Malmquist hjá Náttúrufræðistofu Kópavogs.

Niðurstöður fyrri ára hafa verið birtar í árlegum gagnaskýrslum (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2008, 2009a, 2010b, 2011a, 2012, Ingi Rúnar Jónsson og Guðni Guðbergsson 2009, Ingi Rúnar Jónsson o.fl. 2009).

Í þessari skýrslu er veitt yfirlit yfir helstu niðurstöður á fyrstu fimm árum vöktunarverkefnisins. Meginniðurstöður á árunum 2007–11 eru reifaðar og bornar saman við eldri gögn, þ. á m. gögn um efna- og eðlisþætti og lífríki frá miðjum áttunda áratug 20. aldar sem aflað var í tengslum við vistkerfisrannóknir Þingvallavatns undir stjórn Péturs M. Jónssonar. Þá er rýnt í áður óbirt vatnshitagögn við Steingrímsstöð en þau gögn eru fengin hjá Landsvirkjun og ná með hléi yfir tímabilið 1962–2011. Einnig eru tekin saman birt og óbirt gögn um ísalagnir og ísabrot á Þingvallavatni á tímabilinu 1975–2011. Nokkrar tillögur eru kynntar til úrbóta og breytinga á vöktunarverkefninu.

2. Efni og aðferðir

Á tímabilinu 2007–11 hafa sýnatökur á þörunga- og dýrasvifi á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs farið fram á þremur stöðvum úti í vatnsbol Þingvallavatns (V1–V3) og einni stöð við útfall vatnsins (V4) (1. tafla, 1. mynd). Á dýptarsniðum á stöðvum V1–V3 hafa einnig verið gerðar mælingar með fjölþáttamæli á efna- og eðlisþáttum og á eðlis- og efnaþættir hafa einnig verið mældir á stöð V4.

1. tafla. Yfirlit yfir sýnatökur og mælingar á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs vegna vöktunar í Þingvallavatni á árunum 2007–11. Greint er frá sýnum sem hafa verið fullunnin. Fjöldi sýna er flokkaður eftir gerð sýna og sýnastöðvum (V1–V4, sjá 1. mynd).

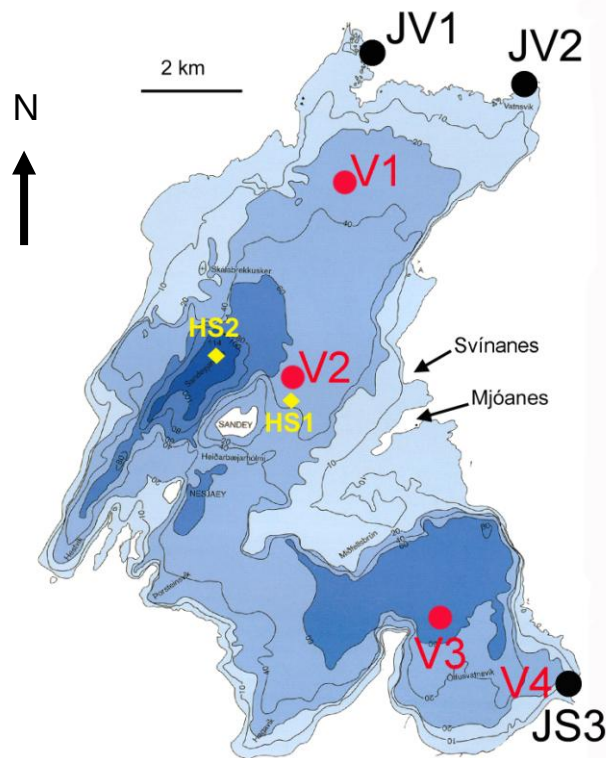
Ár	Þörungasvif				Blaðgræna-a				Dýrasvif				Efnafræði				Murta
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	
2007		12			3	3	3		12	12	12			3			1
2008		19		4	9	20	16	4	9	19	16	4				1	1
2009		13		4	12	20	16	8	12	20	16	4					1
2010		15		10		25		8		25		4		6			1
2011						20		9		20		4					1
Alls:		59		18	24	88	35	29	33	96	44	16		9		1	5

Jarðvísindastofnun Háskólans hefur fylgst með efna- og eðlisþáttum í írennsli (JV1 og JV2) og útfalli (JV3) Þingvallavatns frá upphafi vöktunarinnar (1. mynd). Á árunum 2007–2011 voru greind alls 12 vatnssýni úr Silfru og Vellankötlum (sex sýni frá hvorum stað) og við Steingrímsstöð hafa 19 sýni verið mæld (Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012).

2.1 Efna- og eðlisþættir

Á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs voru eðlisþættir jafnan mældir með fjölþáttamæli af gerðinni YSI 650MDS/6600 og eftirfarandi breytur mældar: Vatnshiti ($0,01^{\circ}\text{C}$ upplausn, $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ mælinákvæmni), sýrustig ($\text{pH } 0,01 \pm 0,2$), rafleiðni ($1 \mu\text{S}/\text{cm}$, $\pm 0,5\%$), uppleyst súrefni ($0,01 \text{ mg O}_2/\text{l}$, $\pm 0,2 \text{ mg}/\text{l}$) og súrefnismettun ($0,1\%$, $\pm 2\%$). Öll rafleiðnigildi voru leiðrétt fyrir 25°C . Á stöð V2 úti í vatnsbolnum var notast við rúmlega 50 m langan kapal og mælt á dýptarsniði frá yfirborði og niður að botni á 40–50 m dýpi. Í einstaka tilvikum þurfti að grípa til annars mælitækis af gerðinni YSI Model 63, samskonar gerðar og hitt mælitækið en hvorki með súrefnismetna né möguleika á því að senda mælinemana á meira en 1,5 m dýpi. Í þessum tilvikum voru eðlisþættirnir mældir í vatnssýnum sem tekin höfðu verið á tilteknu dýpi með 10 l vatnssýnataka (sjá hér á eftir).

Sjónkýpi (rýni, skyggni) í vatninu var mælt á hefðbundinn hátt með hvítum Secchi disk, 30 cm í þvermál. Náð samband er á milli rýnis og þörungamagns og/eða magns annarra sviflægra agna.



1. mynd. Sýna- og mælistöðvar vegna vöktunar í Þingvallavatni á árunum 2007–2011. Á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs voru stöðvar V1–V3 ásamt HS1 og HS2 úti í vatnsbolnum og stöð V4 við stíflugarð Steingrímsstöðvar. Stöðvar JV1 (Silfra), JV2 (Vellankatla) og JS3 (við stíflugarð Steingrímsstöðvar) voru á vegum Jarðvísindastofnunar Háskólans.

Meginmarkmiðið með vatnshitamælingunum í vöktunarverkefninu hefur verið að fylgjast með þróun hitaskila og lagskiptingar úti í vatnsbolnum. Þessi atriði skipta miklu máli varðandi vöxt þörunga og framvindu þeirra en í kjölfar hlýnunar má reikna með að hitaskil með tilheyrandi lagskiptingu verði bæði öflugri og vari lengur en ella. Fyrstu þrjú ár vöktunarinnar var fylgst með hitaskilum á stökum mæli- og sýnatökudögum með því að mæla vatnshita með fjölþáttamæli með stuttu millibili (0,5–1 m) á 40–50 m löngu dýptarsniði á stöðvum V1–V3. Auk vatnshitamælinga fóru fram mælingar með sama tæki á sýrustigi, rafleiðni, uppleystu súrefni og súrefnismettun. Framangreindum mæliaðferðum var fram haldið á stöð V2 á fjórða og fimmta ári vöktunarinnar. Til viðbótar þessum mælingum var tíu hitasíritum komið fyrir á stöð V2 í júní 2010 og öðrum tíu hitasíritum komið fyrir á Sandeyjardjúpi í júní 2011 (1. mynd). Þetta var gert í þeim tilgangi að varpa skýrara ljósi á hitaferla í vatninu heldur en hægt var að afla með fjölþáttamælingunum.

Í júní 2012 fékk Náttúrufræðistofa Kópavogs afhent gögn frá Landsvirkjun með niðurstöðum vatnshitamælinga í Þingvallavatni sem fóru fram annars vegar inni í Steingrímsstöð á tímabilinu 1.1.1962–31.10.1994 og hins vegar við inntak Steingrímsstöðvar á tímabilinu 1.9.2002–31.12.2011 (Landsvirkjun 2012). Mælingarnar frá 1962 til 1994 fóru fram 1–4 sinnum á dag og vatnshitinn gefinn upp sem

sólarhringsmeðaltöl ($T^{\circ}\text{C}$ með einum aukastaf), alls 11.992 færslur. Frá september 2002 er um að ræða sólarhringsmeðaltöl, alls 3.400 færslur, byggð á mælingum á 30 mín. fresti á 0,5–1 m dýpi við inntak Steingrímsstöðvar. Þótt ekki hafi verið staðið eins að vatnshitamælingunum hjá Landsvirkjun benda mælingar Náttúrufræðistofunnar (óbirt gögn) til að alla jafna sé ekki teljandi munur á vatnshita milli mælistaðanna tveggja.

Vatnssýni til efnagreiningar voru tekin með því að stútfylla eins lítra plastflöskur. Fyrir sýnatöku voru flöskurnar skolaðar með 0,1 N HCl og síðan með vatni á staðnum. Sýnin voru höfð í kælikassa í mesta lagi í sex klst. þar til þau voru fryst (-20°C) og síðar send til efnagreiningar. Sýni frá árunum 2007–10 voru mæld hjá Norsk institutt for vannforskning (NIVA) í Osló, Noregi, en árið 2011 voru vatnssýni mæld hjá ALS Environmental í Luleå, Svíþjóð. Allar efnagreiningar voru gerðar á ósíuðum sýnum. Eftirfarandi breytur voru jafnan mældar hjá báðum stofnunum: heildarmagn fosfórs (Tot-P), fosfat (PO_4), heildarmagn köfnunarefnis (Tot-N), nítrat (NO_3), ammóníum (NH_4), heildarmagn lífræns kolefnis (TOC) og kísill (SiO_2).

Jarðvísindastofnun Háskólans hefur fylgst með efna- og eðlisþáttum í írennsli og útfalli Þingvallavatns frá upphafi vöktunarinnar. Á árunum 2007–2011 voru greind alls 12 vatnssýni úr Silfru og Vellankötlu (sex sýni frá hvorum stað) og við Steingrímsstöð hafa 19 sýni verið mæld (Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012). Vatnssýnin voru síuð með sellulósa asetat-síu með 0,2 μm gatastærð.

Silfra og Vellankatla tilheyra tveimur af þremur megin lindavatnsstraumum sem fóðra Þingvallavatn en um 90% ($90 \text{ m}^3/\text{s}$) af öllu vatni sem berst til Þingvallavatns er lindavatn sem streymir neðanjarðar í vatnsskálina (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2002, 2011, Árni Snorrason 2011). Silfra tilheyrir Almannagjárstrauminum sem ber um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ af lindavatni í Þingvallavatn en Vellankatla tilheyrir Hrafnagjárstrauminum sem flytur um $20 \text{ m}^3/\text{s}$ í vatnið (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2011). Þriðja meginírennslið í Þingvallavatn er með Miðfellsstrauminum sem flytur um $25 \text{ m}^3/\text{s}$ í vatnsskálina austanverða (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2002, 2011). Fjórdi megin grunnvatnsstraumurinn sem berst til Þingvallavatns er við vatnið sunnan- og vestanvert, alls um $15 \text{ m}^3/\text{s}$, þar af um $2 \text{ m}^3/\text{s}$ undan Nesja- og Hagvíkurhauni (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2011).

Vakin er athygli á því að framangreindar tölur um grunnvatnsrennsli í einstökum kerfum eru frábrugðnar þeim sem áætlaðar voru á áttunda og níunda áratug síðustu aldar. Áður fyrr var reiknað með að Silfra bæri um 64% af grunnvatnsírennsli í vatnið og Vellankatla um 22% (Jón Ólafsson 1992; Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012). Seinni tíma mælingar benda hins vegar til að þáttur Silfru sé um 30% og Vellankötlu um 20% (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2002, 2011).

2.2 Svifþörungur

2.2.1 Tegundasamsetning og þéttleiki

Á fyrstu fjórum árum vöktunarinnar (2007–2010) voru sýni tekin á stöð V2 og V4 fyrir greiningu og talningu á sviflægum þörungum og hafa þær niðurstöður verið birtar í viðkomandi gagnaskýrslum (Hilmar. J. Malmquist o.fl. 2008, 2009a, 2010b og 2011a). Í sýnatökum árið 2007 voru flest sýnin síuð með 45 µm sigti en frá og með 2008 hafa sýnin verið greind úr ósíuðum vatnssýnum. Tegundagreining og talning á þörungasýnunum fór fram hjá Bio-limno Research & Consulting Inc., í Halifax, Kanada. Árið 2011 hélt þessi sýnataka áfram með sama hætti og áður en úrvinnslu sýnanna var frestað um óákveðin tíma í hagræðingarskyni. Jafnframt var ákveðið að taka sýni í framangreindu skyni einungis á þriggja ára fresti og er næsta sýnataka því fyrirhuguð árið 2014. Sýni voru tekin með 10 lítra vatnssýnataka á stöð V2 á 1, 5, 10, 25 og 35 m dýpi og við útfallið á stöð V4 (1. tafla). Tekið var 10 l sýni á hverju dýpi og af því hirtir 3 lítrar sem voru varðveittir ósíaðir til tegundagreiningar og talningar. Alls hefur verið greint úr 77 sýnum (1. tafla). Öll sýnin voru varðveitt með því að bæta út í þau ~4 ml af 10% Lugol lausn.

2.2.2 Blaðgræna-a

Mælingar á magni blaðgrænu-a veita vísbendingar um magn frumframleiðenda (þörungasvif) og endurspegla jafnframt næringarefnaástand í vatninu og fæðuframboð fyrir dýrasvif sem murtan étur í umtalsverðum mæli.

Sýni til mælinga á magni blaðgrænu-a voru tekin með 10 l vatnssýnataka og eins lítra hlutsýni hirt til mælinga. Sýnin voru höfð í kæli (~ 5°C) í 3–4 klst., þá síuð á Whatman GF/C síupappír (Cat No 1822 047), síupappírinn frystur og blaðgrænan mæld síðar. Til að leysa blaðgrænuna úr sýninu var síupappírinn lagður í 96% etanól og hafður í myrkri í kælikáp í 24 klst. Blaðgræna-a var mæld við bylgjulengdina 665 nm með ljósgleypnimæli (HACH, DR 5000) á Veiðimálastofnun.

Heildarmagn blaðgrænu-a (Blaðgræna-a, µg/l) var reiknað samkvæmt jöfnunni

$$\text{Blaðgræna-a } (\mu\text{g/l}) = (\text{Abs.}_{(665-750\text{nm})} * L * 10^3) / 83,4 * V$$

þar sem *Abs. (665–750 nm)* er ljósgleypni við 665 nm að fráðreginni ljósgleypni við 750 nm, *L* er rúmmál (ml) leysnivökva (etanóls) á síupappír, 83,4 er ljósgleypnistuðull fyrir etanól og *V* er rúmmál (l) sýnisins sem síað var (sjá Søndergaard og Riemann 1979, bls. 171).

2.3 Svifdýr

Sýni fyrir greiningu og talningu á dýrasvifi voru tekin með 10 lítra vatnssýnataka á stöð V2 og V4 (1. tafla). Af hverju sýni voru hirtir 9 lítrar og þeir síaðir í gegnum 45 µm sigti og það sem eftir sat í sigtinu hirt til tegundagreiningar og talningar. Sýnin voru varðveitt á staðnum með því að bæta út í þau 0,2–0,5 ml af 10% Lugol lausn.

Svifdýrasýnin voru skoðuð í kvörðuðu íláti undir víðsjá af gerðinni Olympus SZX12 við 7–90-falda stækkun. Við fíngreiningar (100–400-falda stækkun) var notuð smásjá af gerðinni Olympus CX41. Krabbadýr voru talin og greind til tegunda og ættkvísla. Fjöldi krabbadýra í sýnunum var að jafnaði lítill og því voru allir einstaklingar greindir. Stuðst var við ýmsa greiningarlykla en aðallega hefti í ritröðinni *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World* (Benzie 2005) og *Fauna Iberica*, Vol. 7 (Alonso 1996).

2.4 Murta

Sýnishorn hefur verið tekið úr murtustofninum með netveiði um mánaðamótin september–október þegar murtan gengur á grunn til hrygningar. Ávallt hefur verið veitt með sömu fjórum möskvastærðum, þ.e. 10,0 eða 12,5, 15,5, 19,5 og 24,0 mm legg í legg, og net lögð út af Svínanesi í landi Mjóaness (1. mynd) á 2–5 m dýpi og veitt í um 12 klst. yfir nótt.

Afli í net hefur verið skráður með hliðsjón af möskvastærð og fjölda tegunda (bleikja eða urriði) og fjölda einstaklinga eftir bleikjuafbrigðum (murta, dverg-, kuðunga- og sílableikja). Eftirfarandi atriði hafa einnig verið skráð og mæld á murtum: lengd (klauflengd, mælt að næsta 0,1 cm frá snoppu í miðja sporðsýlingu), votvigt (óslægður fiskur mældur að næsta 0,1 g), kyn, kynþroski og aldur (lestur áhringja í kvörnum).

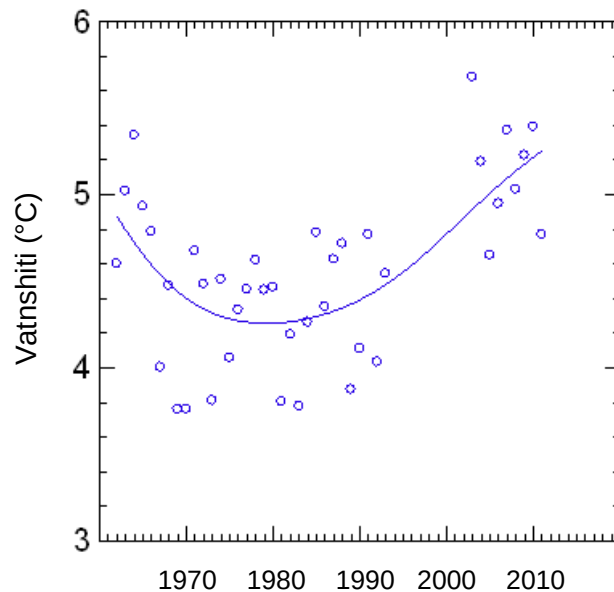
3. Niðurstöður

3.1 Eðlisþættir

Athuganir á vatnshitagögnum Landsvirkjunar frá 1962–94 og 2002–11 sem spanna 41 ár gefa sterklega til kynna að Þingvallavatn hafi hlýnað umtalsvert á umræddu tímabili. Ársmeðalhiti hefur hækkað marktækt á tímabilinu sem gögnin ná yfir (2. mynd) og línuleg aðhvarfsgreining þar sem hver mánuður fyrir sig er athugaður leiðir í ljós að Þingvallavatn hefur hlýnað mjög marktækt nær alla mánuði ársins nema í mars og apríl (2. tafla). Hitabúskapur Þingvallavatns á ársgrundvelli virðist fylgja vel þróun ársmeðalhita í lofti á Íslandi (Halldór Björnsson 2008, Halldór Björnsson o.fl. 2008). Fram undir 1965 sést móta fyrir lokum á hlýskeyðinu sem hófst um 1930. Upp úr 1965 og fram undir miðjan níunda áratuginn kólnaði loftslag og kemur það kuldaskýið fram í ferli ársmeðalhita Þingvallavatns (2. mynd). Um og upp úr 1983 hlýnar á ný, einkum þó eftir aldamótin 2000. Vatnshiti á árunum 1962–65 var að meðaltali á ári $4,97 \pm 0,153^{\circ}\text{C}$ ($\pm$ st.sk., spönn $4,60\text{--}5,34^{\circ}\text{C}$), á árunum 1966–85 var hann $4,27 \pm 0,07^{\circ}\text{C}$ ($3,76\text{--}4,79^{\circ}\text{C}$) og á árabilinu 1986–2011 var hann $4,78 \pm 0,123^{\circ}\text{C}$ ($3,88\text{--}5,68^{\circ}\text{C}$). Frá og með 2000 hefur ársmeðalhitinn verið $5,14 \pm 0,108^{\circ}\text{C}$ ($4,64\text{--}5,68^{\circ}\text{C}$) en fyrir aldamótin 2000 var ársmeðalhitinn $4,39 \pm 0,072^{\circ}\text{C}$ ($3,78\text{--}5,34^{\circ}\text{C}$).

Mest hlýnun hefur átt sér stað í Þingvallavatni um sumar, haust og vetur, þ.e. á tímabilinu júní–janúar (2. tafla). Ágúst sker sig töluvert úr, með um $1,5^{\circ}\text{C}$ hækkun á meðalhita mánaðarins yfir tímabilið 1962–2011. Fast á hæla ágúst fylgja júní og júlí með ríflega $1,2^{\circ}\text{C}$ hækkun í meðalhita hvorn mánuð fyrir sig. Einnig er athyglisverð hækkunin yfir haust- og vetrarmánuðina, þ.e. september–janúar, sem er á bilinu $0,6\text{--}1,0^{\circ}\text{C}$. Minnst breyting hefur átt sér stað síðla vetrar og um vorið, þ.e. á tímabilinu febrúar–maí. Ekki er t.d. um marktæka breytingu að ræða í vatnshita fyrir apríl og í mars hefur dæmið reyndar snúist við og vatnið kólnað marktækt á umræddu tímabili þó ekki sé nema um $0,2^{\circ}\text{C}$. Hafa verður í huga að þegar vatnið er hitalagskipt er hugsanlegt að hitamælingar Landsvirkjunar í Steingrímsstöð endurspegli fremur vatnshitann í yfirborðslaginu en meðalhita vatns í bæði yfirborðslaginu og undirlaginu. Þetta mætti kanna betur til að ganga úr skugga um ágæti vatnshitamælinganna í Steingrímsstöð.

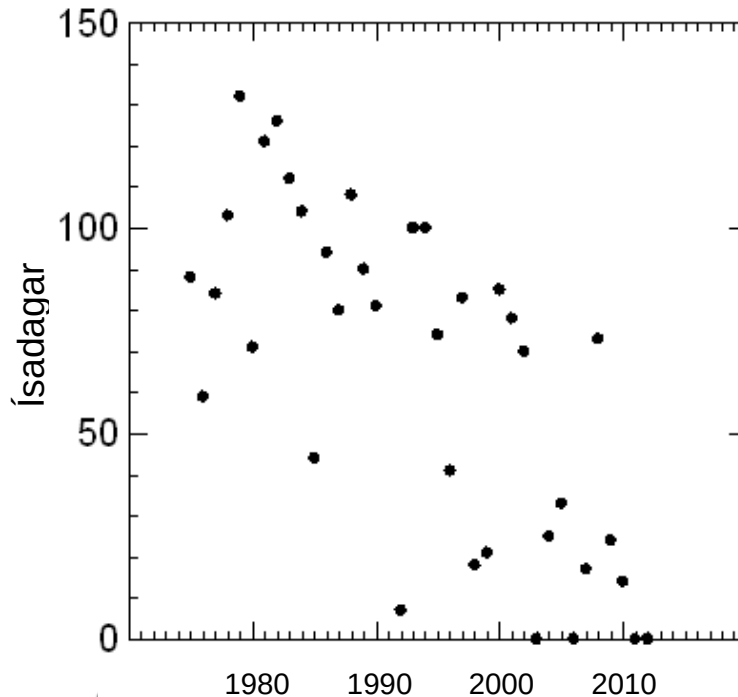
Hlýnun Þingvallavatns samkvæmt mælingum á vatnshita við Steingrímsstöð rímar vel við upplýsingar um þróun ísalagna og ísabrota á vatninu á undanförunum 30–40 árum. Samkvæmt gögnum með dagsetningum á ísalögnum og ísabrotum leggur Þingvallavatn nú orðið bæði sjaldnar og seinna en það gerði áður og jafnframt brotnar ís fyrr (3. mynd, 3. tafla). Fækkun á ísadögum hefur einkanlega verið áberandi um og upp úr síðustu aldamótum en síðan þá hefur íslausum árum fjölgað umtalsvert. Fjöldi ísadaga fyrir síðustu aldamót var að meðaltali 92 dagar (± 12 dagar, 95% öm.) en eftir aldamótin hafa dagarnir verið 29 (± 23 dagar, 95% öm.). Munurinn þarna á milli er mjög marktækur ($t = 5,817$, $ft. = 25$, $P < 0,001$).



2. mynd. Ársmeðalhiti (vatnshiti, °C) við Steingrímsstöð í Þingvallavatni á árunum 1962–1993 og 2003–2011, alls 14.966 færslur í 41 ár. Marktæk fylgni (Pearsons R) er milli ársmeðalhita og tíma (ára), $R = 0,424$, $ft. = 39$, $P < 0,01$. Gögn frá 1994 og 2002 voru ekki notuð þar sem mælingar náðu ekki yfir alla mánuði hvors árs. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (DWLS, þanstuðull 1,00). Sjá nánar um mæliaðferðir í meginmáli.

2. tafla. Línuleg aðhvarfsgreining á sólarhringsmeðaltölum vatnshita eftir mánuðum við Steingrímsstöð á árunum 1962–94 og 2002–11, alls 15.392 færslur í 41 ár. Skýringar: a er skurðpunktur við y-ás, b er hallatala, R er Pearsons fylgnistuðull, F er fervikahlutfall, P er marktæknigildi og n er fjöldi mælinga. Meðalhiti (°C) segir til um mánaðarmeðaltal vatnshita viðkomandi mánaðar á tímabilinu 1962–94 og 2002–11. Síðasti dálkurinn sýnir mismun í meðalhita hvers mánaðar milli áranna 1962 og 2011 samkvæmt jöfnunni $y = bx + a$ (x tekur gildið 1962 og 2011). Gögnin eru fengin hjá Landsvirkjun (Landsvirkjun 2012). Sjá nánar um mæliaðferðir í meginmáli.

Mánuður	a	b	R	F	P	n	Meðalhiti T (°C)	breyting
Janúar	-26,938	0,014	0,293	122,414	<0,001	1.302	0,97	0,69
Febrúar	-3,945	0,002	0,072	6,245	0,013	1.186	0,72	0,10
Mars	8,509	-0,004	-0,106	14,78	<0,001	1.299	0,91	-0,20
Apríl	1,082	0,000	0,004	0,024	0,878	1.260	1,48	0,00
Maí	-20,817	0,012	0,176	41,715	<0,001	1.302	3,12	0,59
Júní	-43,016	0,025	0,241	77,676	<0,001	1.260	6,09	1,23
Júlí	-43,444	0,026	0,249	86,173	<0,001	1.302	8,94	1,27
Ágúst	-51,772	0,031	0,374	268,259	<0,001	1.302	9,76	1,52
September	-21,515	0,015	0,299	126,854	<0,001	1.290	8,63	0,73
Október	-16,621	0,012	0,189	49,048	<0,001	1.333	6,90	0,59
Nóvember	-24,566	0,015	0,206	55,275	<0,001	1.251	4,56	0,73
Desember	-36,409	0,020	0,269	101,243	<0,001	1.305	2,34	0,98



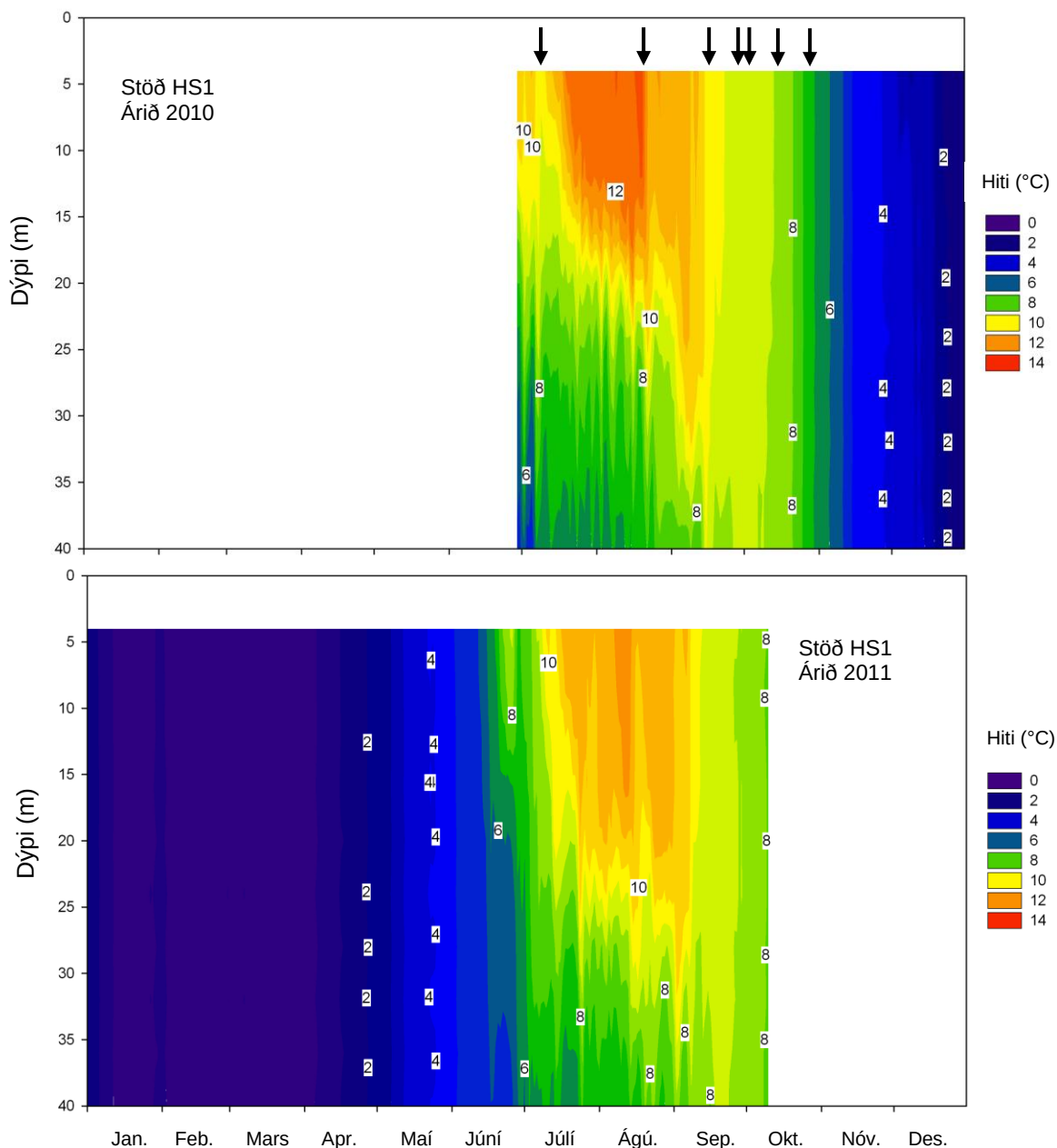
3. mynd. Ísadagar á Þingvallavatni (fjöldi daga með fastan ís á öllu vatninu) veturna 1974–2012. Mjög sterk neikvæð fylgni er á milli fjölda ísadaga og ára á tímabilinu sem um ræðir ($R = -0,712$, $ft. = 35$, $P < 0,01$). Sjá nánar um gögnin í 3. töflu.

Vatnshitamælingar með síritunum á stöð V2 varpa skýru ljósi á þróun vatnshitaferla eftir árstíðum úti í vatnsbol Þingvallavatns (4. og 5. mynd). Vatnsmassinn er jafnkaldur frá yfirborði og niður á botn á um 40 m dýpi á tímabilinu frá miðjum nóvember og fram undir miðjan júní. Á þessum tíma er vatnshiti jafnan $0-5^{\circ}\text{C}$, kaldast um háveturinn, þ.e. janúar–mars, þegar vatnshitinn er iðulega undir 1°C (sjá einnig 2. töflu). Upp úr miðjum júní hlýnar vatnið og nær hámarkshita á um sex vikna tímabili milli 30. viku (4. viku júlí) og 36. viku (1. viku september) en þá mælist vatnið jafnan $10-13^{\circ}\text{C}$ frá yfirborði og niður á um 20 m dýpi. Um og upp úr miðjum september fer vatnið að kólna hægt og bítandi og seint í september og októberbyrjun er vatnsmassinn orðin jafnkaldur frá yfirborði niður á botn, eða $8-9^{\circ}\text{C}$. Í annarri viku nóvember hefur vatnshitinn síðan fallið niður í $4-5^{\circ}\text{C}$.

Niðurstöður vatnshitamælinganna bæði með síritunum og fjölþáttamælinum staðfesta að skörp hitaskil geta myndast síðsumars í Þingvallavatni á 15–25 m dýpi (4., 5. og 6. mynd a). Áramunur er á því hve glögg skilin verða og ræður þar mestu lofthiti og vindstyrkur. Sumrin 2011 og einkum 2010 mynduðust allskörp hitaskil í vatninu á 15–25 m dýpi á 4–5 vikna kafla frá 30. viku (4. viku júlí) og fram í 33.–34. viku (3.–4. viku ágúst). Á þessu tímabili var vatnshitinn í hlýja yfirborðslaginu (e. epilimnion) á 0–24 m dýpi að meðaltali $10,6-11,0^{\circ}\text{C}$ (spönn $7,5-12,4^{\circ}\text{C}$), en í kalda undirlaginu (e. hypolimnion) fyrir neðan 24 m dýpi var vatnshitinn að meðaltali $7,1-8,0^{\circ}\text{C}$ (spönn $6,2-10,6^{\circ}\text{C}$). Þegar hitaskilin milli yfirborðs- og undirlags voru hvað skörpust sumarið 2010 féll vatnshitinn um $2-4^{\circ}\text{C}$ í millilaginu (e. metalimnion) á 20–24 m dýpi.

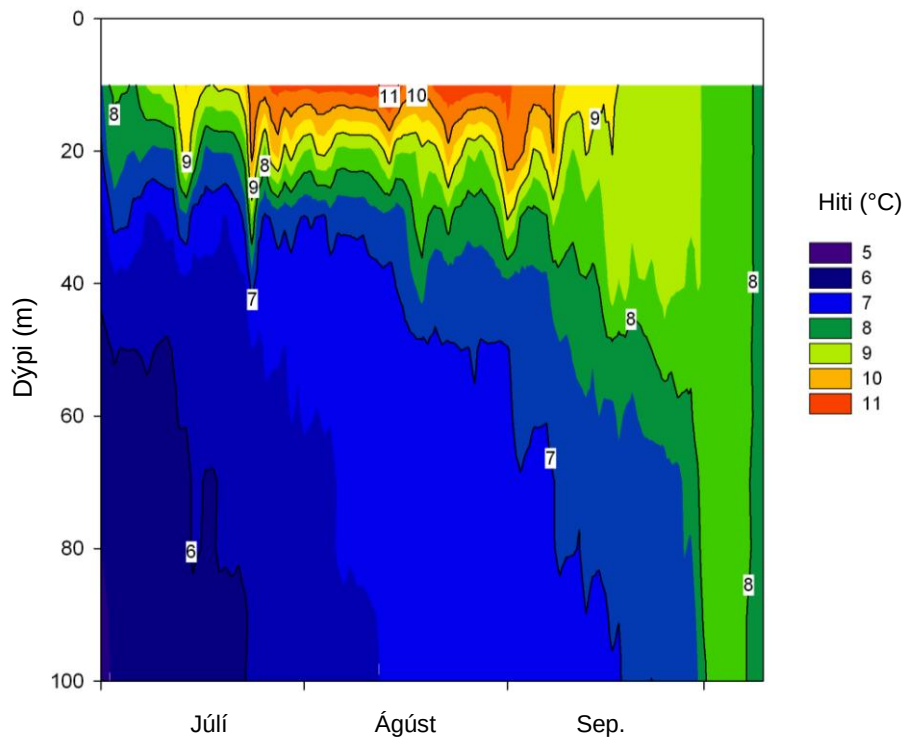
3. tafla. Ísalagnir, ísabrot og ísadagar á Þingvallavatni á árunum 1974–2012. Heimildir að baki gögnunum eru; nr. 1 Sigurjón Rist og Guðmann Ólafsson (1986), nr. 2 Einar Sveinbjörnsson (2009) og nr. 3 Árni B. Stefánsson (2012). Með ísadögum er átt við fjölda daga sem allt Þingvallavatn hefur verið ísi lagt, þ.e. landfastur ís á miðju vatni þvert yfir bæði sunnan og norðan Sandeyjar, en vakir við kaldavermsl ásamt opnu suðvestan Nesjaeyjar.

Vetur	Ísalögn	Ísabrot	Ísadagar	Athugasemd	Heimild
1974–75	22.12.1974	19.3.1975	88		2
1975–76	13.1.1976	12.3.1976	59		1
1976–77	18.1.1977	12.4.1977	84		1
1977–78	2.1.1978	15.4.1978	103		1
1978–79	3.1.1979	15.5.1979	132		1
1979–80	2.1.1980	13.3.1980	71		1
1980–81	2.1.1981	3.5.1981	121		1
1981–82	13.12.1981	18.4.1982	126		1
1982–83	19.1.1983	11.5.1983	112		1
1983–84	13.1.1984	26.4.1984	104		1
1984–85	23.1.1985	8.3.1985	44		1
1985–86	19.1.1986	23.4.1986	94		1
1986–87	12.2.1987	3.5.1987	80	Dags. ísabrota ónákvæm	2
1987–88	20.1.1988	8.5.1988	108	Dags. ísabrota ónákvæm	2
1988–89	16.2.1989	13.5.1989	90	Dags. ísabrota ónákvæm	2
1989–90	20.2.1990	12.5.1990	81	Dags. ísabrota ónákvæm	2
1990–91	12.1.1991		?	Ís í örfáa daga, þunnur	2
1991–92	13.3.1992	20.3.1992	7	Ís á hluta vatns í jan. og feb.	3
1992–93	6.1.1993	15.4.1993	100	Skekkjumörk ± 10 dagar	3
1993–94	22.12.1993	1.4.1994	100	Skekkjumörk ± 10–12 dagar	3
1994–95	15.1.1995	30.3.1995	74	Skekkjumörk ± 10 dagar	3
1995–96	21.12.1995	30.1.1996	41	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
1996–97	7.1.1997	30.3.1997	83	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
1997–98	17.1.1998	3.2.1998	18	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
1998–99	8.1.1999	28.1.1999	21	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
1999–2000	20.1.2000	14.4.2000	85	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
2000–01	27.12.2000	15.3.2001	78	Skekkjumörk ± 7 dagar	3
2001–02	5.2.2001	15.4.2001	70	Skekkjumörk ± 4 dagar	3
2002–03			0	Íslaust	3
2003–04	31.1.2004	2.3.2004	25	Íslaust 17.2.–22.2.2004	3
2004–05	7.1.2005	8.2.2005	33	Skekkjumörk ± 3 dagar	3
2005–06			0	Íslaust	3
2006–07	5.2.2007	21.2.2007	17	Skekkjumörk ± 3 dagar	3
2007–08	1.2.2008	23.4.2008	73	Íslaust 26.2.–6.3.2008	3
2008–09	2.2.2009	8.3.2009	24	Íslaust 21.2.–3.3.2009	3
2009–10	3.1.2010	12.2.2010	14	Íslaust 10.1.–5.2.2010	3
2010–11			0		3
2011–12			0		3



4. mynd. Hitastigsferill (dagsmeðaltöl, °C) á stöð HS1 úti í vatnsbol Þingvallavatns á tímabilinu 29.6.2010–10.10.2011. Dagsmeðaltöl eru reiknuð út frá mælingum á 1 klst. fresti með tíu síritum á jöfnu dýptarbili frá 4 m dýpi og niður á 40 m dýpi (botndýpi um 43 m). Alls 1.710 mælingar árið 2010 og 1.810 mælingar árið 2011. Svörtu övarnar sýna hvenær meðalvindhraði náði um og yfir 10 m/s.

Vindknúin áhrif á vatnshita komu vel fram með mælingum á vatnshita með síritunum á stöð HS1 úti í vatnsbol Þingvallavatns (4. mynd). Þegar meðalvindhraðinn fór yfir 10 m/s og varði þannig aðeins í nokkrar klukkustundir blandaðist vatnið jafnan með þeim afleiðingum að yfirborðslagið (0–24 m dýpi) kólnaði en undirlagið (> 24 m dýpi) hlýnaði. Þetta kom glögglega fram 7.–8. júlí, 20.–23. ágúst og 14.–16. september 2010 en þá blésu vindar allstíft af norðri á Þingvallavatni.

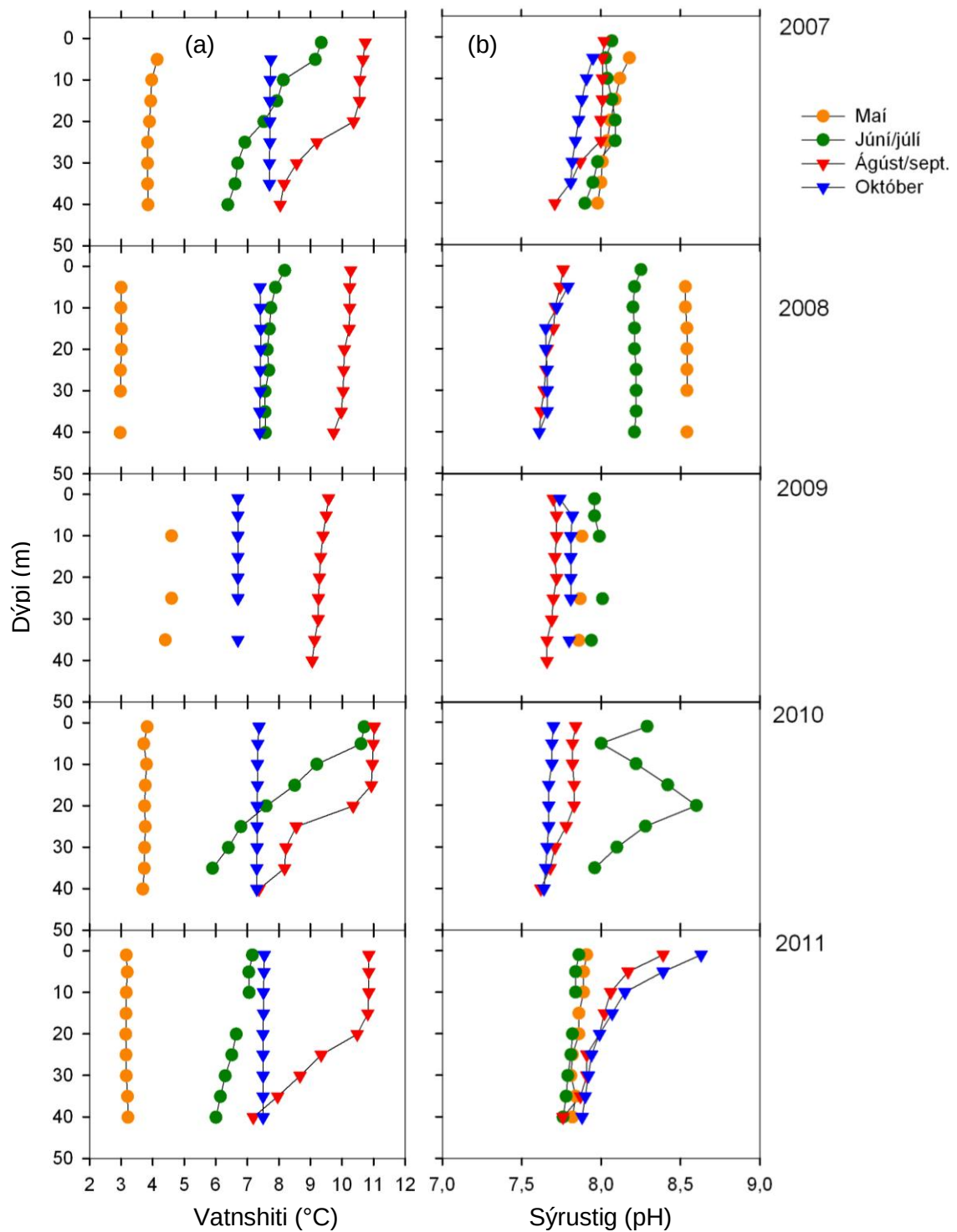


5. mynd. Hitastigsferill (dagsmeðatöl, °C) á Sandeyjardjúpi (stöð HS2) í Þingvallavatni á tímabilinu 1.7.–10.10.2011. Dagsmeðaltöl eru reiknuð út frá mælingum á 1 klst. fresti með tíu síritum á jöfnu dýptarbili frá 10 m dýpi og niður á 100 m dýpi. Botndýpi var um 110 m. Alls 1.020 mælingar.

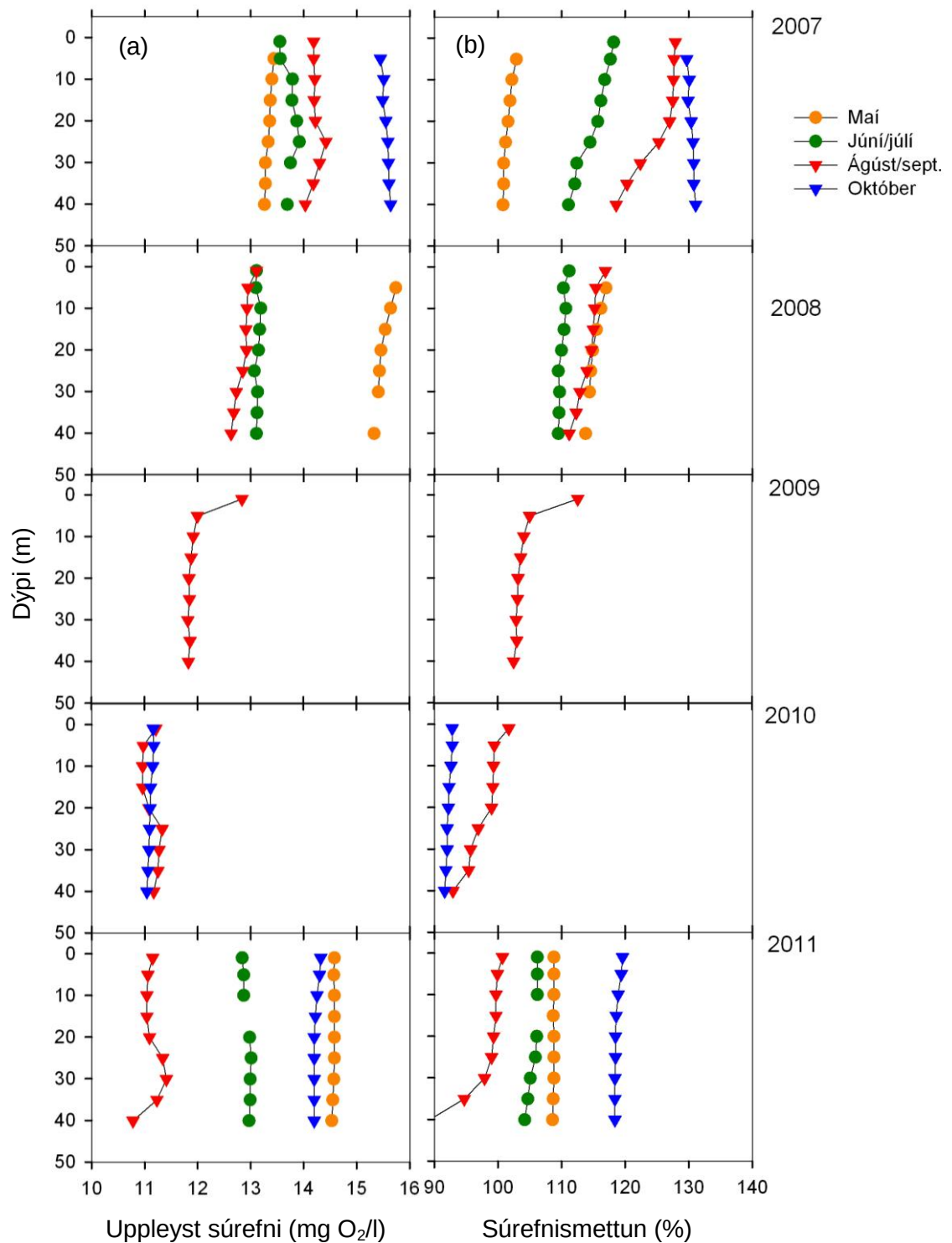
Aðrir eðlisþættir en vatnshiti sýndu tiltölulega lítinn breytileika á vöktunartímabilinu jafnt innan árs sem milli ára. Sýrustig mældist á bilinu 7,7–8,6 úti í vatnsbolnum á stöð V2 (6. mynd b). Styrkur uppleysts súrefnis var á heildina litið hár og lék á bilinu 10,8–15,9 mg O₂/l (7. mynd a) og súrefnismettunin var sömuleiðis mikil og lék á bilinu 90–131% (7. mynd b).

Rafleiðni var afar stöðug og mældist 71–78 µS/cm á öllu tímabilinu (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2008, 2009a, 2010b, 2011a, 2012).

Áhrif hitaskila og lagskiptingar úti í vatnsbolnum koma fram með merkjanlegum hætti á sýrustig og súrefni þau sumur þegar hitaskilin voru hvað sterkust, þ.e. síðsumars 2007 og einkum 2010. Í ágúst 2007 og 2010, og einnig 2011, má vel greina skil í sýrustigi, uppleystu súrefni og súrefnismettun á 20–24 m dýpi (6. mynd b, 7. mynd a og b) sem stemmir við dýpið sem hitaskilin lágu á á þessum tíma (4. og 5. mynd).



6. mynd. (a) Vatnshiti (°C) og **(b)** sýrustig (pH) mælt með fjölpáttamæli á dýptarsniði á stöð V2 í Þingvallavatni á árunum 2007–2011.



7. mynd. (a) Uppleyst súrefni ($\text{mg O}_2/\text{l}$) og **(b)** súrefnismettun (%) mælt með fjölþáttamæli á dýptarsniði á stöð V2 í Þingvallavatni á árunum 2007–2011.

3.2 Efnabættir

Ein helsta niðurstaðan hvað varðar styrk uppleystra aðal- og snefilefna í írennsli Þingvallavatns á tímabilinu 2007–11 er að ástand vatnsins var almennt mjög gott með hliðsjón af viðmiðunarmörkum samkvæmt reglugerð nr. 796/1999 (4. og 5. tafla). Einungis heildarfosfór (Tot-P) og króm (Cr) uppfylla ekki skilyrði reglugerðar nr. 650/2006 um ástandsflokk A. Í báðum tilvikum féllu öll mæligildin í ástandsflokk B (umhverfismarkaflokk II).

Önnur athyglisverð niðurstaða sem varðar írennslið í Þingvallavatn á tímabilinu 2007–11 er hve mikill munur er á ýmsum breytum í meginstraumunum tveimur, Almagnagjár- og Hrafnagjárstrauminum (4. og 5. tafla). Þannig var styrkur uppleysts heildarfosfórs marktækt hærri í Vellankötlum en Silfru ($28,3 \pm 1,05 \mu\text{g/l}$ vs. $24,7 \pm 0,99 \mu\text{g/l}$, $t = 2,537$, $ft. = 10$, $P = 0,030$) en styrkur uppleysts króms var marktækt hærri í Silfru en Vellankötlum ($2,39 \pm 0,09 \mu\text{g/l}$ vs. $1,02 \pm 0,05 \mu\text{g/l}$, $t = -13,292$, $ft. = 10$, $P < 0,001$). Einnig var vatnshiti marktækt lægri ($t = -25,456$, $ft. = 10$, $P < 0,001$) í Vellankötlum, $2,8 \pm 0,02^\circ\text{C}$, en Silfru, $3,4 \pm 0,02^\circ\text{C}$. Þá hefur styrkur klórs, súlfats, natríums og kalsíums jafnan mælst hærri í Silfru en Vellankötlum og á það bæði við um tímabilið 2007–11 og árið 1975 (6. tafla).

Efnafræðigögn sem aflað var í írennsli Þingvallavatns um miðjan áttunda áratug síðustu aldar (Jón Ólafsson 1992) bjóða upp á áhugaverðan samanburð við niðurstöður efnamælinganna árin 2007–11. Í rannsókn Jóns Ólafssonar sem fram fór árið 1975 voru sýni m.a. tekin í tvígang í Flosagjá og sex sinnum í Vatnsvíki (Vellankötlum). Gögnin frá 1975 sem hér eru birt sem stakar mælingar eru byggð á frumgögnum Jóns sem vísað er til í grein hans frá 1992 (Jón Ólafsson 1992) en í þeirri grein eru aðeins gefin upp meðaltöl en ekki niðurstöður stakra mælinga. Rétt er að taka fram að niðurstöðurnar frá 1975 sýna styrk uppleystra efna rétt eins og niðurstöðurnar frá 2007–11. Jón notaði síur með $0,45 \mu\text{m}$ gatastærð en í rannsókn Eyðísar og Sigurðar Reynis hefur verið stuðst við $0,20 \mu\text{m}$ gatastærð. Þá ber að hafa í huga að Jón tók sýni í bullauga Vellankötlum rétt fyrir utan fjöllumörkin en í rannsókninni 2007–11 voru sýnin tekin á 2 m dýpi í gjá rétt innan við fjöllumörkin.

Samanburður á styrk uppleystra næringarsalta í írennsli Þingvallavatns á áttunda áratug 20. aldar og styrk efnanna á vöktunartímabilinu 2007–11 gefur til kynna nokkrar markverðar breytingar. Einna skýrasta breytingin snýr að nitrati (NO_3) sem fyrirfinnst í mun meiri styrk nú en áður. Árið 1975 mældist nitrattstyrkur að jafnaði $33 \pm 1,8 \mu\text{g/l}$ en á árunum 2007–11 var hann að jafnaði $53 \pm 3,4 \mu\text{g/l}$ (4. og 7. tafla). Styrksaukningin með hliðsjón af meðaltalsgildum er um 61% og er munurinn mjög marktækur ($t = -4,407$, $ft. = 18$, $P < 0,001$). Ef eingöngu er borinn saman styrkur nitrats frá Vellankötlum, þar sem flest sýnin voru tekin, er munurinn samt sem áður mjög marktækur ($t = -5,949$, $ft. = 10$, $P < 0,001$). Árið 1975 var nitrattstyrkur í Vellankötlum $31 \pm 0,5 \mu\text{g/l}$ ($n = 6$) og á árunum 2007–11 var hann $53 \pm 3,6 \mu\text{g/l}$ ($n = 6$). Styrkur uppleysts heildarniturs var einnig heldur hærri á árabílinu 2007–11 en um miðjan áttunda áratug síðustu aldar (6. tafla), eða sem nemur tæpum 15%, en munurinn er ekki marktækur, hvorki fyrir sýni frá bæði Vellankötlum og Silfru ($t = -0,886$, $ft. = 18$, $P = 0,387$) né sýnin frá Vellankötlum eingöngu ($t = -0,831$, $ft. = 10$, $P = 0,426$).

4. tafla. Vatnshiti (T, °C), sýrustig (pH) og styrkur uppleysts fosfórs (Tot-P), fosfats (PO₄), niturs (Tot-N), nítrats (NO₃), ammóníums (NH₄) og kísils (SiO₂) í norðanverðu írennsli Þingvallavatns. Gögn frá 1975 eru byggð á frumgögnum frá Jóni Ólafssyni sem vísað er til í grein hans frá 1992 (Jón Ólafsson 1992). Gögn frá 2007–2011 eru fengin frá Eyðísi S. Eiríksdóttur og Sigurði R. Gíslasyni (2012). Mæliniðurstöðum á næringarsöltum og kísli var umbreytt úr μmól/l og mmól/l í μg/l og mg/l með því að margfalda mólstyrk með mólmassa viðkomandi efnis (P, N og Si). Sýnd eru viðmiðunarmörk fyrir ástandsflokka (umhverfismarkaflokka) í djúpum vötnum skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Stöð	Dags.	T °C	pH	Tot-P μg/l P	PO ₄ -P μg/l P	Tot-N μg/l N	NO ₃ -N μg/l N	NH ₄ -N μg/l N	SiO ₂ mg Si/l
Vatnsvík I	19.3.1975	3,0	8,7	27	23	70	29		6,2
Vatnsvík II	19.3.1975	2,8	8,8	34	28	71	32		6,5
Vatnsvík III	19.3.1975	3,0	9,0	35	29	85	32		7,1
Vatnsvík I	20.10.1975	3,4	8,9	24	23	83	29		6,6
Vatnsvík II	20.10.1975	2,9	9,0	32	26	85	31		6,7
Vatnsvík III	20.10.1975	3,0	9,2	39	30	94	31		7,7
Flosagjá	19.3.1975	3,5	9,1	29	21	87	42		5,8
Flosagjá	20.10.1975	3,6	9,3	28	20	109	41		6,6
	Meðaltal	3,2	9,0	31	25	86	33		6,6
	Staðalskekkja	0,11	0,07	1,7	1,4	4,4	1,8		0,2
	Lágmark	2,8	8,7	24	20	70	29		5,8
	Hámark	3,6	9,3	39	30	109	42		7,7
Vellankatla	8.10.2007	2,8	9,27	26	20	192	53	4	7,4
"	31.5.2008	2,8	9,12	31	21	88	62	17	7,2
"	17.11.2008	2,8	9,20	28	20	75	65	15	7,1
"	28.10.2009	2,8	9,25	26	22	76	43		7,6
"	20.12.2010	2,8	9,34	27	16	56	46	10	7,6
"	10.10.2011	2,8	9,35	32	24	102	47	10	7,4
Silfra	9.7.2007	3,4	9,36	23	16	130	50	<2,8	5,7
"	31.5.2008	3,4	9,23	24	17	79	68	13	7,2
"	17.11.2008	3,4	9,31	25	17	101	66	11	7,2
"	28.10.2009	3,4	9,40	22	20	84	31		7,2
"	20.12.2010	3,3	9,40	25	12	65	41	8	7,7
"	10.10.2011	3,4	9,38	29	21	124	63	10	7,5
	Meðaltal	3,1	9,30	26	19	98	53	11	7,2
	Staðalskekkja	0,09	0,03	0,9	0,9	10,7	3,4	1,2	0,15
	Lágmark	2,8	9,12	22	12	56	31	<2,8	5,7
	Hámark	3,4	9,40	32	24	192	68	17	7,7
Ástandsflokkur A				<10		<300	Næringarefnasnautt		
Ástandsflokkur B				10–30		300–750	Næringarefnalítið		
Ástandsflokkur C				31–50		751–1.500	Næringarefnaríkt		
Ástandsflokkur D				51–100		1.500–2.500	Næringarefnaauðugt		
Ástandsflokkur E				>100		>2.500	Ofauðugt		

5. tafla. Styrkur uppleystra snefilefna í norðanverðu írennsli Þingvallavatns (Vellankötlum og Silfru) og útrennsli við stíflugarð Steingrímsstöðvar á árunum 2007–11. Gögnin eru fengin frá Eyðisi S. Eiríksdóttur og Sigurði R. Gíslasyni (2012). Mæliniðurstöðum var umbreytt úr nmól/l í µg/l með því að margfalda mólstyrk með mólmassa viðkomandi frumefnis og stuðlinum 1000. Sýnd eru viðmiðunarmörk málma fyrir ástandsflokkka (umhverfismarkaflokkka) í yfirborðsvatni skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Stöð	Dags.	Kopar Cu µg/l	Sink Zn µg/l	Kadmín Cd µg/l	Blý Pb µg/l	Króm Cr µg/l	Nikkel Ni µg/l	Arsenik As µg/l
Vellankatla	8.10.2007	<0,10	0,22	<0,002	<0,01	0,91	<0,05	<0,20
"	31.5.2008	<0,10	<0,20	<0,002	<0,01	0,94	0,26	<0,05
"	17.11.2008	<0,10	0,35	<0,002	0,02	1,01	0,08	<0,05
"	28.10.2009	0,18	2,16	<0,002	0,02	0,89	<0,05	<0,05
"	20.12.2010	<0,10	0,34	<0,002	0,02	1,12	0,06	<0,05
"	10.10.2011	<0,10	0,36	<0,002	0,02	1,22	<0,05	<0,05
Silfra	9.7.2007	0,18	0,31	<0,002	<0,01	2,19	0,07	<0,20
"	31.5.2008	<0,10	<0,20	<0,002	<0,01	2,45	0,27	0,07
"	17.11.2008	0,14	0,78	<0,002	0,03	2,40	0,09	0,07
"	28.10.2009	0,11	0,90	<0,002	0,01	2,13	<0,05	0,06
"	20.12.2010	<0,10	1,10	<0,002	0,02	2,41	0,06	0,07
"	10.10.2011	<0,10	0,83	<0,002	0,02	2,74	<0,05	0,11
Meðaltal		0,15	0,74	<0,002	0,02	1,70	0,13	0,07
Staðalskekkja		0,010	0,169		0,001	0,246	0,027	0,005
Steingrímsstöð 2007–11 (n = 19)								
Meðaltal		0,14	4,76	0,004	0,02	0,88	0,11	0,10
Staðalskekkja		0,007	1,368		0,001	0,032	0,020	0,016
Lágmark		<0,10	0,33	<0,002	<0,01	0,59	<0,05	<0,05
Hámark		0,20	14,70	0,006	0,02	1,07	0,26	0,27
Ástandsflokkur A		<0,5	<5	<0,01	<0,2	<0,3	<0,7	<0,4
Ástandsflokkur B		0,5–3	5–20	0,01–0,1	0,2–1	0,3–5	0,7–15	0,4–5
Ástandsflokkur C		3–9	20–60	0,1–0,3	1–3	5–15	15–45	5–15
Ástandsflokkur D		9–45	60–300	0,3–1,5	3–15	15–75	45–225	15–75
Ástandsflokkur E		>45	>300	>1,5	>15	>75	>225	>75

Styrkur uppleysts kísils í írennslisvatninu hefur einnig breyst á sömu lund og nítrat (7. tafla). Árið 1975 mældist kísilstyrkur að jafnaði $6,6 \pm 0,20$ mg/l en á árunum 2007–11 var hann að jafnaði $7,2 \pm 0,20$, sem er um 9% aukning, og er munurinn á meðaltalsgildunum marktækur ($t = -2,453$, $ft. = 18$, $P = 0,025$). Ef eingöngu er miðað við sýni frá Vellankötlum, þegar kísilstyrkur mældist að jafnaði $6,8 \pm 0,22$ mg/l árið 1975 og $7,4 \pm 0,08$ mg/l á árunum 2007–11, er styrksmunurinn engu að síður marktækur ($t = -2,688$, $ft. = 10$, $P = 0,024$).

6. tafla. Styrkur uppleysts klórs (Cl), sulfats (SO₄), natríums (Na), kalíums (K), kalsíums (Ca) og magnesíums (Mg) í norðanverðu írennsli Þingvallavatns á árunum 1975 og 2007–2011. Gögn frá 1975 eru byggð á frumgögnum frá Jóni Ólafssyni sem vísað er til í grein hans frá 1992 (Jón Ólafsson 1992). Gögn frá 2007–11 eru fengin frá Eydísí S. Eiríksdóttur og Sigurði R. Gíslasyni (2012). Mæliniðurstöðum frá 2007–11 var umbreytt úr mmól/l í mg/l með því að margfalda mólstyrk með mólmassa viðkomandi efnis.

Stöð	Dags.	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
Vatnsvík I	19.3.1975	5,1	2,0	6,5	0,48	3,2	1,1
Vatnsvík II	19.3.1975	4,7	1,7	6,2	0,41	2,8	0,9
Vatnsvík III	19.3.1975	4,9	2,1	7,5	0,48	3,5	0,8
Vatnsvík I	20.10.1975	5,1	1,9	6,7	0,59	3,1	1,2
Vatnsvík II	20.10.1975	4,8	1,7	6,4	0,62	2,8	0,9
Vatnsvík III	20.10.1975	4,9	1,9	7,7	0,63	3,6	0,8
Flosagjá	19.3.1975	6,5	2,1	10,6	0,38	4,3	0,7
Flosagjá	20.10.1975	6,4	2,4	11,4	0,55	4,2	0,7
	Meðaltal	5,3	2,0	7,9	0,52	3,4	0,9
	Staðalskekkja	0,25	0,08	0,71	0,03	0,20	0,06
	Lágmark	4,7	1,7	6,2	0,38	2,8	0,7
	Hámark	6,5	2,4	11,4	0,63	4,3	1,2
Vellankatla	8.10.2007	4,5	1,2	6,1	0,43	2,8	1,43
"	31.5.2008	4,5	1,3	5,5	0,43	2,8	0,87
"	17.11.2008	4,4	1,3	6,1	0,43	2,8	0,92
"	28.10.2009	4,4	1,2	6,0	0,51	2,8	0,92
"	20.12.2010	4,5	1,2	5,9	0,43	2,8	0,92
"	10.10.2011	4,5	1,3	6,0	0,47	2,6	0,90
Silfra	9.7.2007	5,7	1,3	8,9	0,51	4,0	0,92
"	31.5.2008	5,6	1,6	7,7	0,39	3,8	0,97
"	17.11.2008	5,7	1,6	8,4	0,47	4,0	1,07
"	28.10.2009	5,6	1,3	7,8	0,43	3,8	1,00
"	20.12.2010	5,8	1,4	8,1	0,47	4,0	1,09
"	10.10.2011	5,7	1,5	8,2	0,47	3,6	1,00
	Meðaltal	5,1	1,4	7,1	0,45	3,3	1,00
	Staðalskekkja	0,19	0,05	0,35	0,01	0,17	0,04
	Lágmark	4,4	1,2	5,5	0,39	2,6	0,87
	Hámark	5,8	1,6	8,9	0,51	4,0	1,43

7. tafla. Samantekin gögn um eðlisþætti og styrk uppleystra næringarefna og kísils í norðanverðu írennsli Þingvallavatns á árunum 1975 og 2007–11 og í útrennsli við stíflugarð Steingrímsstöðvar á árunum 2007–11. Gögn frá 1975 eru byggð á frumgögnum frá Jóni Ólafssyni sem vísað er til í grein hans frá 1992 (Jón Ólafsson 1992). Gögn frá 2007–11 eru fengin frá Eyðisi S. Eiríksdóttur og Sigurðir R. Gíslasyni (2012). Mæliniðurstöðum var umbreytt úr $\mu\text{mól/l}$ og mmól/l í $\mu\text{g/l}$ og mg/l með því að margfalda mólstyrk með mólmassa viðkomandi frumefnis. Sýnd eru viðmiðunarmörk fyrir ástandsflokka (umhverfismarkaflokka) í djúpum vötnum skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Stöð	Dags.	T °C	pH	Tot-P $\mu\text{g/l P}$	PO ₄ -P $\mu\text{g/l P}$	Tot-N $\mu\text{g/l N}$	NO ₃ -N $\mu\text{g/l N}$	NH ₄ -N $\mu\text{g/l N}$	SiO ₂ mg Si/l
Vellankatla–Vatnsvík og Flosagjá 1975 (n = 8)									
Meðaltal		3,2	9,00	31	25	86	33		6,6
Staðalskekkja		0,11	0,07	1,7	1,4	4,4	1,8		0,20
Lágmark		2,8	8,70	24	20	70	29		5,8
Hámark		3,6	9,30	39	30	109	42		7,7
Vellankatla og Silfra 2007–2011 (n = 12)									
Meðaltal		3,1	9,30	26	19	98	53	11	7,2
Staðalskekkja		0,09	0,03	0,9	0,9	10,7	3,4	1,2	0,2
Lágmark		2,8	9,12	22	12	56	31	<2,8	5,7
Hámark		3,4	9,40	32	24	192	68	17	7,7
Steingrímsstöð 2007–2011 (n = 19)									
Meðaltal		6,4	7,72	10	9	76	9	12	5,7
Staðalskekkja		0,77	0,04	0,3	2,0	13,0	2,1	1,8	0,07
Lágmark		1,4	7,45	8	<3,1	<2,8	<0,84	<2,8	5,3
Hámark		11,7	8,04	12	24	146	29	27	6,2
Ástandsflokkur A				<10	<300 Næringarefnasnautt				
Ástandsflokkur B				10–30	300–750 Næringarefnalítið				
Ástandsflokkur C				31–50	751–1.500 Næringarefnaríkt				
Ástandsflokkur D				51–100	1.500–2.500 Næringarefnaauðugt				
Ástandsflokkur E				>100	>2.500 Ofauðugt				

Þriðja breytingin sem er á sama veg og að framan greinir snýr að sýrustiginu (7. tafla). Sýrustig í írennslisvatninu er marktækt hærra nú en það var árið 1975. Árið 1975 mældist pH að jafnaði $9,00 \pm 0,08$ en á árunum 2007–11 var það $9,30 \pm 0,04$ ($t = -4,629$, $ft. = 18$, $P < 0,001$). Ef eingöngu er miðað við sýni frá Vellankötlu, þegar pH mældist $8,93 \pm 0,07$ árið 1975 og $9,26 \pm 0,04$ á árunum 2007–11, er munurinn einnig marktækur ($t = -4,030$, $ft. = 10$, $P = 0,002$).

Fjórða markverða breytingin sem hefur átt sér stað milli fyrrgreindra tímabila snýr að fosfór, en að þessu sinni er breytingin í gagnstæða átt. Bæði styrkur uppleysts heildarfosfórs og fosfats er lægri nú en hann var árið 1975. Árið 1975 mældist styrkur heildarfosfórs $31 \pm 1,7 \mu\text{g/l}$ en á árunum 2007–11 var hann $26 \pm 0,9$ ($t = 2,631$, $ft. = 18$,

$P = 0,017$). Styrkur fosfats mældist að jafnaði $25 \pm 1,4 \mu\text{g/l}$ árið 1975 en á árunum 2007–11 mældist hann $19 \pm 0,9 \mu\text{g/l}$ ($t = 3,760$, $ft. = 18$, $P = 0,001$). Ef eingöngu er miðað við sýni frá Vellankötlum, þegar fosfatstyrkur var $26 \pm 1,3 \mu\text{g/l}$ árið 1975 og $20 \pm 1,1 \mu\text{g/l}$ á árunum 2007–11, er munurinn einnig marktækur ($t = 3,505$, $ft. = 10$, $P = 0,006$).

Fimmta breytingin sem átt hefur sér stað og vert er að nefna er lækkun í styrk an- og katjóna milli tímabilanna 1975 og 2007–11 (6. tafla). Þannig er styrkur súlfats, natríums og kalíums markækt minni nú (t-próf, $P < 0,045$) en hann var um miðjan áttunda áratug síðustu aldar. Á hinn bóginn hefur styrkur klórs, kalsíums og magnesíums ekki breyst á marktækan hátt milli tímabilanna (t-próf, $P > 0,05$).

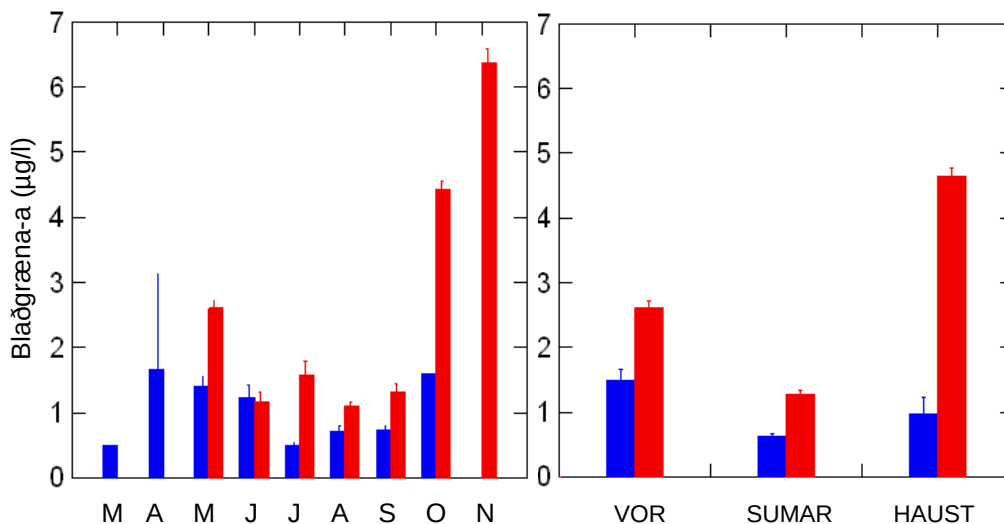
Hvað varðar styrk helstu næringarefna úti í sjálfu Þingvallavatni (8. tafla) sverja niðurstöðurnar sig í ætt við það sem fram kemur í írennslinu. Styrkur heildarniturs hefur verið lítill og í öllum 15 tilfellum langt innan viðmiðunarmarka fyrir ástandsflokk A í djúpum vötnum. Á hinn bóginn var styrkur heildarfosfórs í öllum 15 mælingunum innan ástandsflokks B.

8. tafla. Styrkur heildarfosfórs (Tot-P), fosfats (PO₄), heildarniturs (Tot-N), ammóníums (NH₄), nítrats (NO₃), lífræns kolefnis (TOC) og kísils (SiO₂) á stöð V2 í Þingvallavatni á árunum 2007, 2010 og 2011. Einnig eru sýndar niðurstöður efnagreiningar á sýni sem tekið var við stíflugarðinn við útfall vatnsins. Sýnd eru viðmiðunarmörk fyrir ástandsflokka (umhverfismarkaflokka) í djúpum vötnum skv. reglugerð nr. 796/1999. Efnagreiningar fyrir árin 2007–10 fóru fram hjá NIVA í Noregi en árið 2011 hjá ALS-Scandinavia í Svíþjóð. Greiningarmörk sænska aðilans voru almennt mun grófari en hjá þeim norska.

Dagð.	Dýpi (m)	Tot-P µg/l P	PO ₄ -P µg/l P	Tot-N µg/l N	NH ₄ -N µg/l N	NO ₃ -N µg/l N	TOC mg/l C	SiO ₂ mg Si/l
28.8.2007	1	12	9	41	<2		0,29	
"	5	11	8	39	<2		0,25	
"	25	11	8	33	<2		0,20	
28.6.2010	5	14	11	119	<2		0,55	4,6
"	35	15	12	44	<2		0,39	4,7
9.7.2010	5	13	11	41	<2		0,34	4,4
"	35	16	12	41	<2		0,38	5,1
10.8.2010	5	13	10	91	<2		0,54	5,2
"	35	16	12	106	<2		0,61	5,3
30.6.2011	5	16		<100	<26	<40	<0,5	4,2
"	35	18		<100	<26	<40	<0,5	4,1
24.8.2011	5	14		<100	<26	<40	<0,5	4,2
"	35	18		<100	<26	<40	<0,5	4,1
11.10.2011	5	17		<100	<26	<40	<0,5	4,1
"	35	18		<100	<26	<40	<0,5	4,1
Meðaltal		15	10	62		<40	0,39	4,5
Staðalskekkja		0,6	0,6	11,2			0,05	0,13
Lágmark		11	8	33	<2	<40	0,20	4,1
Hámark		18	12	119	<26	<40	<0,5	5,3
Stíflugarður- Steingrímsstöð								
28.4.2008	1	20	14	59	<2	<1	0,44	1,9
Ástandsflokkur A	<10		<300		Næringarefnasnautt			
Ástandsflokkur B	10–30		300–750		Næringarefnalítið			
Ástandsflokkur C	31–50		751–1.500		Næringarefnaríkt			
Ástandsflokkur D	51–100		1.500–2.500		Næringarefnaauðugt			
Ástandsflokkur E	>100		>2.500		Ofauðugt			

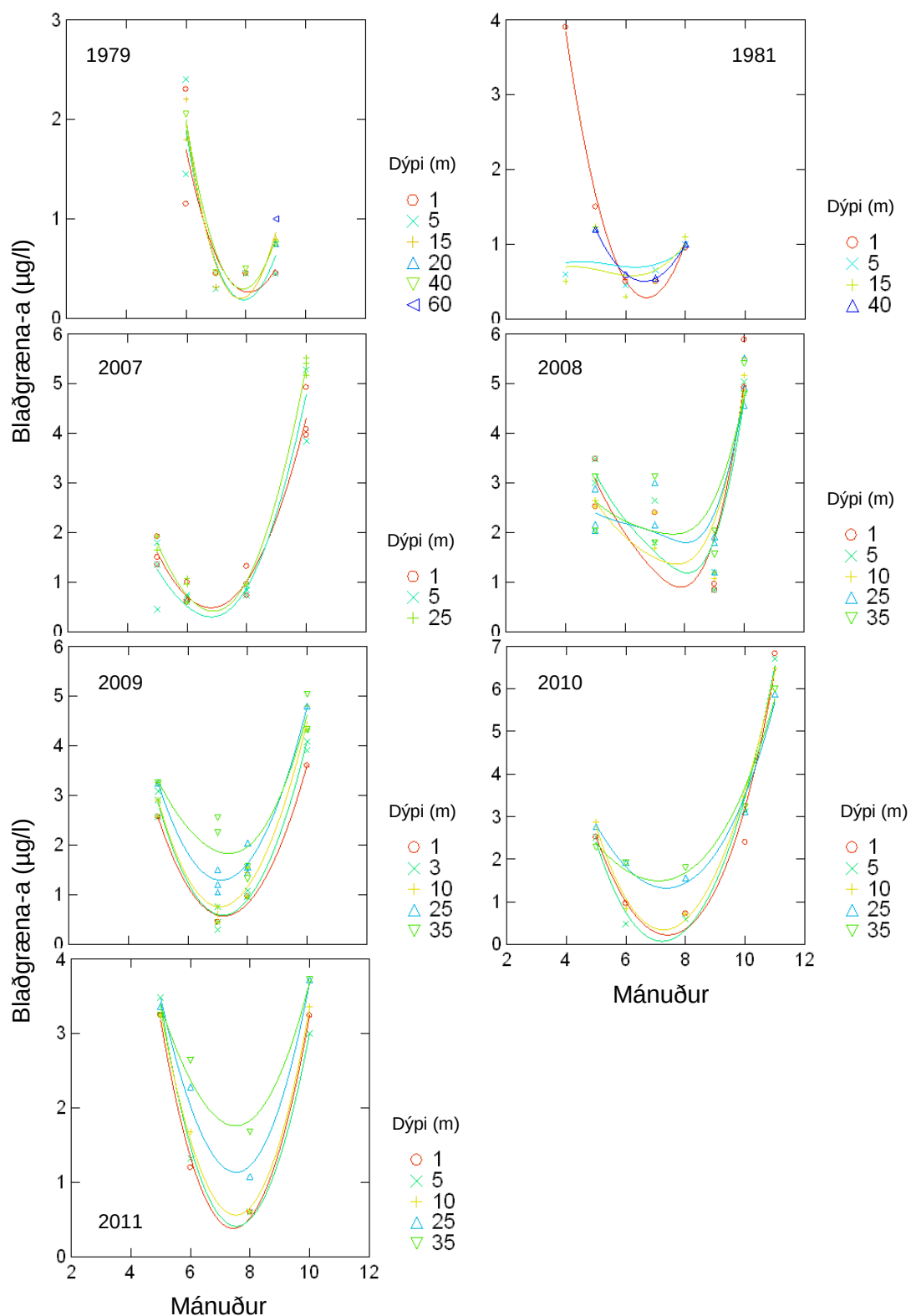
3.3 Svifþörungar

Markverðar breytingar hafa átt sér stað í svifþörungasamfélagi Þingvallavatns nú hin síðari ár miðað við ástandið eins og það var á áttunda og níunda áratug 20. aldar. Magn svifþörungna (mælt í magni blaðgrænu-a), og þar með frumframleiðsla, hefur aukist umtalsvert hin síðari ár. Samanburður á blaðgrænumagnni frá 1979 og 1981–82 og mæliniðurstöðum á blaðgrænumagnni í vöktunarverkefni á árabílinu 2007–11 leiðir í ljós að munurinn í meðalmagn blaðgrænu milli tímabilanna er marktækur hvort sem um er að ræða vor, sumar eða haust (8. mynd). Meðalmagn blaðgrænu-a að vori til á árabílinu 2007–11 var $2,61 \pm 0,11 \mu\text{g/l}$ (meðaltal $\pm$ st.sk., spönn 0,45–3,48, $n = 43$) en á fyrra árabílinu var það $1,50 \pm 0,15 \mu\text{g/l}$ (0,50–3,90, $n = 26$). Munurinn er mjög marktækur ($t = -6,07$, ft. = 67, $P < 0,001$). Að sumarlagi var meðalmagn blaðgrænu á árabílinu 2007–11 $1,27 \pm 0,07 \mu\text{g/l}$ (0,30–3,12, $n = 83$) en á fyrra tímabilinu var það $0,63 \pm 0,05 \mu\text{g/l}$ (0,30–1,70, $n = 34$). Munurinn hér er einnig mjög marktækur ($t = -5,59$, ft. = 115, $P < 0,001$). Að hausti til var meðalmagn blaðgrænu-a á árabílinu 2007–11 $4,63 \pm 0,15 \mu\text{g/l}$ (2,40–6,83, $n = 48$) en á fyrra tímabilinu var það $0,98 \pm 0,21 \mu\text{g/l}$ (0,75–1,60, $n = 4$). Munurinn milli árabíllanna tveggja um haust er mjög marktækur ($t = -7,16$, ft. = 50, $P < 0,001$), en hafa verður í huga að aðeins fjórar mælingar liggja að baki fyrra árabílinu.

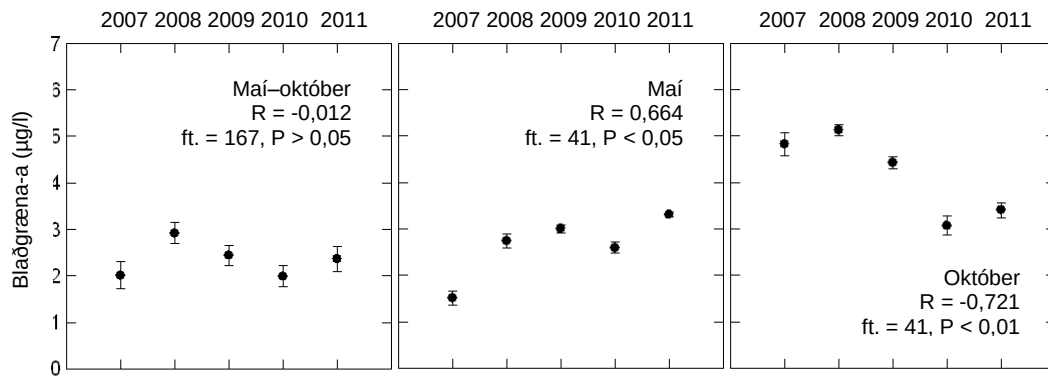


8. mynd. Magn blaðgrænu-a ($\mu\text{g/l}$) í vatnsbol Þingvallavatns á árabílinu 1979 og 1981–82 (bláar súlur) og 2007–11 (rauðar súlur). Sýnd eru meðaltöl ($\pm$ st.sk.) þar sem fleiri en tvær mælingar liggja að baki. Vor tekur til tímabilsins 29.3.–15.6., sumar er 16.6.–15.9. og haust er 16.9.–23.11. Gögn frá 20. öld eru fengin frá Péttri M. Jónassyni o.fl. 1992 (12. mynd bls. 171, 6. tafla bls. 179).

Áhrif hitaskila í vatninu koma glögg í ljós þegar magn blaðgrænu-a er skoðað m.t.t. dýpis (9. mynd). Á sumrin (júní–ágúst) og fram á haust (september) er blaðgrænumagn með minnsta móti í yfirborðslaginu ($< 25 \text{ m}$) og mun minna en í undirlaginu ($> 25 \text{ m}$). Vegna hitaskilanna gengur á næringarefnið í yfirborðslaginu og vöxtur þörunganna þar þverr (Moss1998).



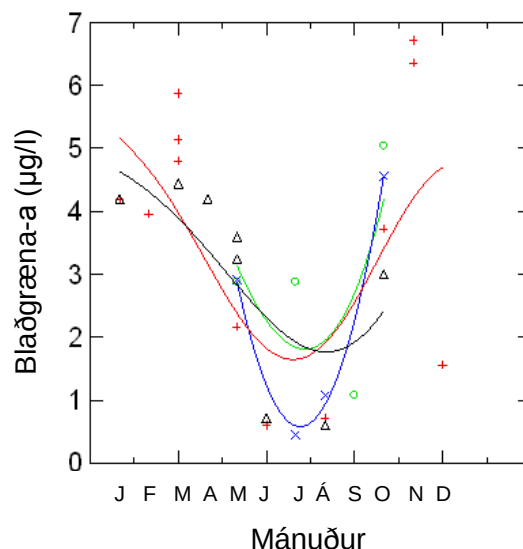
9. mynd. Magn blaðgrænu-a ($\mu\text{g/l}$) á mismunandi dýpi á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns árin 1979, 1981 og 2007–11. Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (DWLS). Gögn frá 20. öld eru fengin frá Péttri M. Jónassyni o.fl. 1992 (12. mynd bls. 171).



10. mynd. Magn blaðgrænu-a ($\mu\text{g/l}$) á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árabílinu 2007–11. Sýnd eru meðaltöl ($\pm$ st.sk.). R er fylgnistuðull Pearsons.

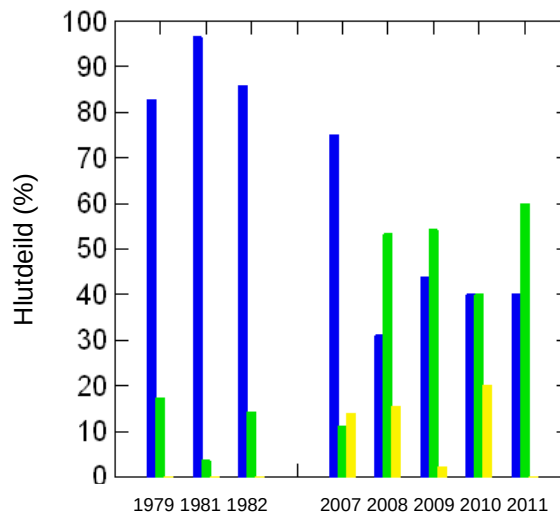
Ef aðeins er horft til tímabilsins 2007–11 (10. mynd) er ekki um að ræða marktæka fylgni milli ársmeðalmagns blaðgrænu-a og tíma (ára), en hins vegar er marktæk jákvæð fylgni milli vormeðalmagns blaðgrænu-a og ára (mælingar í maí) og marktæk neikvæð fylgni milli haustmeðalmagns blaðgrænu-a og ára (mælingar í október).

Á stöð V4 við útfall vatnsins, þar sem sýni voru tekin yfir lengra tímabil en úti í vatnsbolnum, kemur fram að vöxtur þörunga virðist hefjast snemma á árinu og verða snemma öflugur, þ.e. í janúar–mars (11. mynd). Jafnframt sést að það hægist strax á vextinum í maí, sem gefur til kynna að styrkur næringarefna hafi þá þegar verið tekinn að minnka. Síðsumars er botninn að mestu dottinn úr frumframleiðslunni, enda næringarefnin á þeim tíma líklega að verulegu leyti uppurin. Vöxturinn tekur svo aftur kipp um haustið þegar lagskipting rofnar og vatnið blandast í kjölfar haustlægða og næringarefni verða aftur aðgengileg.



11. mynd. Magn blaðgrænu-a ($\mu\text{g/l}$) á stöð V4 við stíflumannvirki Steingrímstöðvar árið 2008 (grænt), 2009 (blátt), 2010 (rautt) og 2011 (svart). Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (DWLS). Gögn frá 2007 eru ekki tiltæk frá stöð V4.

Samkvæmt 5. gr. reglugerðar nr. 650/2006 skal magn blaðgrænu-a í Þingvallavatni vera í samræmi við viðmið fyrir ástandsflokk A sem tilgreind eru í reglugerð nr. 796/1999. Samkvæmt síðarnefndu reglugerðinni skal magn blaðgrænu-a falla í a.m.k. 90% tilfella innan marka viðkomandi ástandsflokks. Á árunum 2007–11 uppfyllti Þingvallavatn aldrei framangreind skilyrði þegar litið er til hvers árs fyrir sig (12. mynd). Skást var ástandið árið 2007 þegar 75% mæligilda (af alls 36) féllu innan viðmiðunarmarka fyrir vatnsgæðaflokk A. Síst var ástandið árið 2008 þegar 31% mæligilda (af alls 45) voru innan viðmiðunarmarka. Á fyrrgreindu árabili féllu 11–60% mæligilda í vatnsgæðaflokk B og 0–20% í vatnsgæðaflokk C. Gildi innan viðmiðunarmarka fyrir tvo verstu vatnsgæðaflokkana, D og E, hafa ekki mælst til þessa í Þingvallavatni. Árin 1979, 1981 og 1982 féllu öll mæligildi (alls 64) í vatnsgæðaflokk A eða B, þ.e. 83–96% í vatnsgæðaflokk A og 4–17% í flokk B. Þegar á heildina er litið er marktækur munur á hlutdeild vatnsgæðaflokkanna þriggja eftir því hvort um er að ræða mæligildi frá 1979, 1981 og 1982 annars vegar og hins vegar frá árabilinu 2007–11 (G-próf, $G = 69,916$, $ft. = 3$, $P < 0,001$).



12. mynd. Hlutdeild (%) mæligilda á magni blaðgrænu-a í Þingvallavatni eftir umhverfismarkaflokkum í djúpum vötnum samkvæmt reglugerð nr. 796/1999. Blátt: umhverfismarkaflokkur I ($< 2 \mu\text{g/l}$), grænt: umhverfismarkaflokkur II ($2\text{--}5 \mu\text{g/l}$), gult: umhverfismarkaflokkur III ($5\text{--}10 \mu\text{g/l}$).

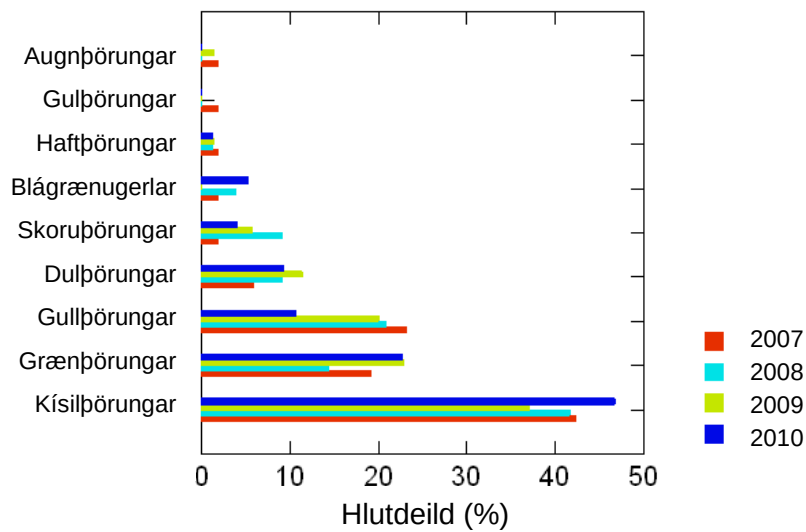
Á tímabilinu 2007–10 voru greindar alls 121 tegundir eða flokkunareiningar af svifþörungum úti í vatnsbol Þingvallavatns (9. og 10. tafla). Flestar tegundir voru meðal kísilþörungum, alls 47 (39%), næstmest var af grænþörungum, eða 28 tegundir (23%), og í þriðja sæti voru gullþörungar með 23 tegundir (19%). Á meðal dulþörungum voru átta tegundir (7%), átta tegundir (7%) meðal skorupþörungum, fimm tegundir (4%) á meðal blágrænugerla og tvær tegundir (2%) meðal augn- og haftþörungum. Árið 2010 skar sig úr með óvenju mikinn fjölda af flokkunareiningum, eða alls 97 miðað við 50–78 á árunum 2007 og 2008–09. Þetta stafar líklega mest af því að árið 2010 stóð sýnatakan lengur yfir og tók til allra fjögurra árstíðanna ólíkt því sem gildi um sýnatökurnar á fyrstu þremur árum vöktunarinnar. Fremur lítill áramunur var í hlutdeild helstu þörungahópa úti í vatnsbolnum (13. mynd).

9. tafla. Þéttleiki (fjöldi/l) og lífþyngd (mg/m³) kísilþörungum og dulþörungum á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–10. Sýnd eru geometrisk meðaltöl fyrir hvert ár reiknuð út frá 3–5 dýpum (1, 5, 10, 15, 25 og 35 m dýpi).

FLOKKUNAREINING	2007		2008		2009		2010	
	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³
DIATOMEA – Kísilþörungar	246.717	855	160.316	2.864	161.223	2.372	65.090	1.409
<i>Achnanthes minutissima</i> Kuetzing			4	<1	1	<1	3	<1
<i>Achnanthes subatomoides</i> (Hustedt) Lange-Bertalot							2	<1
<i>Amphipleura pellucida</i> Kuetzing							2	<1
<i>Amphora</i> tegund	2	<1	6	<1	3	<1		
<i>Asterionella formosa</i> Hansall	241.243	310	23.915	18	117.518	73	9.733	13
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simonsen	3.385	222	13.175	600	3.808	100	108	9
<i>Aulacoseira islandica</i> f. <i>curvata</i> (Ehrenberg) O. Müller	1.637	307	71.881	1.733	21.852	2.022	42.006	1.335
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	318	5	19.973	111	2.014	65	1.499	13
<i>Cocconeis pacentula</i> Ehrenberg			2	<1	<1	<1	2	<1
<i>Cymbella</i> tegund							2	<1
<i>Denticula</i> tegund					30	<1		
<i>Diploneis</i> tegund			2	<1				
<i>Epithemia adnata</i> (Kuetzing) Brebisson			4	<1	58	<1	5	<1
<i>Eunotia</i> tegundir							2	<1
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow					46	<1	276	1
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres			307	2	7	<1	6	<1
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	2	<1	21	2			4	<1
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	9	<1			2	<1		
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	11	<1						
<i>Fragilaria</i> tegundir			3	4				
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) de Toni							2	<1
<i>Frustulia</i> tegund			2	18	2	<1		
<i>Gomphonema</i> tegund			2	3	2	<1	5	<1
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg							2	<1
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow							3	<1
<i>Mastogloia smithii</i> Thwaites ex W. Smith							2	<1
<i>Navicula</i> tegund	2	<1	25	1	2	<1	7	<1
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kuetzing) W. Smith	5	<1	210	6	2	<1	8	<1
<i>Nitzschia dissipata</i> (Hantzsch) Grunow	2	<1						
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch	2	<1	3	10				
<i>Nitzschia</i> tegund (>50 µm)	5	1	4	13			14	<1
<i>Nitzschia</i> tegund (18–50 µm)			2	2			15	<1
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L. Smith					2	<1	4	<1
<i>Rhizosolenia longiseta</i> Ehrenberg	11	<1	228	7	773	1	34	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot			2	<1	4	<1		
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller			3	36	13	32	2	<1
<i>Rhopalodia</i> tegund	2	<1	2	78				
<i>Stephanodiscus alpinus</i> Hustedt			1.388	52	1.876	10	173	3
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kuetzing) Cleve & Mueller	40	1	22.760	36	752	5	9.296	2
<i>Stephanodiscus parvus</i> Stoermer & Hakansson	17	<1	6.357	16	588	<1	1.806	<1
<i>Synedra acus</i> var. <i>radians</i> (Kuetzing) Hustedt	4	<1	2	16				
<i>Synedra</i> tegund (30–50 µm)	2	<1	2	<1			3	2
<i>Synedra</i> tegund (>50 µm)	2	<1	2	<1			55	<1
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.	15	<1	30	21	12	40	4	1
<i>Synedra/Nitzschia</i> tegund (>50 µm)					4	2	4	<1
<i>Synedra/Nitzschia</i> tegund (36–50 µm)					11.834	2	2	<1
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kuetzing	2	<1			2	<1	2	<1
CRYPTOPHYCEAE – Dulþörungar	146	1	44.335	53	5.249	40	32.054	7
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	4	<1	2	9	1	9	5	<1
<i>Cryptomonas marsonii</i> Skuja			3	9			3	<1
<i>Cryptomonas pyrenoidifera</i> Geitler			2	9	3	4		
<i>Cryptomonas reflexa</i> Skuja			2	11	16	2	10	<1
<i>Cryptophyte</i> tegund					13	4	2	<1
<i>Katablepharis ovalis</i> Skuja			46	<1	127	<1	80	<1
<i>Rhodomonas lens</i> Pascher & Ruttner	2	<1	82	2	234	<1	3	<1
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja	140	<1	44.200	11	4.853	15	31.952	4

10. tafla. Þéttleiki (fjöldi/l) og lífþyngd (mg/m³) svifþörunganna annarra en kísil- og dulþörunganna á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–10. Sjá skýringar í texta við 9. töflu.

FLOKKUNAREINING	2007		2008		2009		2010	
	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³	Fjöldi/l	mg/m ³
CHRYSTOPHYCEAE – Gullþörungar	1.853	11	24.920	57	112.942	13	9039	7
<i>Bicosoeca kenaiensis</i> Hillard	5	<1	2	36	2	<1		
<i>Bicosoeca pulchra</i> Hillard							2	<1
<i>Bitrichia ollula</i> (Fott) Bourrelly					3	<1		
<i>Chromulina</i> tegund			201	2	13	<1		
<i>Dicronema</i> cf. <i>vlkanum</i> Prauser			502	1	18.202	<1	326	<1
<i>Dinobryon bavaricum</i> Imhof	12	<1	14	<1	22	<1	3	<1
<i>Dinobryon bavaricum</i> var. <i>medium</i> (Lemmermann) Krieger	1.785	8			49	<1	4	<1
<i>Dinobryon borgei</i> Lemmermann			2	<1				
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof			2	<1				
<i>Dinobryon</i> tegund (stakar frumur, e. <i>loose monad</i>)	8	<1	4	<1	2	<1	3	<1
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>stipitatum</i> (Stein) Lemmermann			2	2			2	<1
<i>Kephyrion</i> tegund					2	<1		
<i>Monosiga</i> tegund			2	<1				
<i>Ochromonas</i> tegund	3	<1	2	<1	2	<1		
Ógr. nakin tegund (<i>Ochromonas/Chromulina</i>) - stór	4	<1	23.248	4	54.715	10	5622	3
Ógr., nakin tegund (<i>Ochromonas/Chromulina</i>) - lítill	11	<1	936	<1	39.914	1	3078	<1
<i>Paraphysomonas</i> tegund	18	2			2	<1		
<i>Pedinella</i> tegund			2	4	2	<1		
<i>Pseudokephyrion ellipsoideum</i> (Pascher) Schmid			2	<1				
<i>Spiniferomonas bilacunosa</i> Takahashi	1	<1						
<i>Spiniferomonas bourrellyi</i> Takahashi	2	<1						
<i>Spiniferomonas takahashi</i> Nichols	3	<1						
<i>Spiniferomonas</i> tegund	2	<1			12	<1		
CHLOROPHYCEAE – Grænþörungar	606	473	51	350	101	2	202	12
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Kors							8	<1
<i>Ankyra lanceolata</i> (Kors) Fott					9	<1	9	<1
<i>Chlamydomonas globosa</i> Snow	2	<1						
<i>Cosmarium depressum</i> Nageli (Lund)			2	4			4	1
<i>Cosmarium phaeseolus</i> Brebisson					2	<1		
<i>Cosmarium</i> tegund							2	<1
<i>Gloeocystis planctonica</i> (W. & G.S. West) Lemmermann	2	<1						
<i>Gloeocystis</i> tegund	7	<1			4	<1		
<i>Elakatothrix genevensis</i> (Reverdin) Hindak			2	<1			4	<1
<i>Monoraphidium braunii</i> Naegeli			22	<1	67	<1	4	<1
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komarkova-Legenerova	2	<1	2	<1	2	<1	111	<1
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komarkova-Legenerova	2	<1			3	<1	3	<1
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nag.) Komarkova-Legenerova								
<i>Mougeotia</i> tegund Agardh	578	472	15	56	6	2	24	5
<i>Oocystis borgei</i> Snow	2	<1					7	1
<i>Oocystis gigas</i> Archer					2	<1	2	1
<i>Oocystis parva</i> W. & G.S. West			3	<1	2	<1	16	<1
<i>Oocystis pusilla</i> Hansgirg							2	<1
<i>Oocystis solitaria</i> Wittrock					2	<1	2	1
<i>Pandorina charkowiensis</i> Korshikov	5	2						
<i>Scenedesmus ecomis</i> var. <i>bicellularis</i> (Ehrenberg) Chodat					2	<1		
<i>Schroderia setigera</i> (Schroed.) Lemmermann			2	<1			2	<1
<i>Staurostrum paradoxum</i> Meyen							2	1
<i>Staurostrum pingue</i> Teiling	2	<1						
<i>Staurostrum</i> tegund	6	<1	2	36			2	1
<i>Tetraedron minimum</i> (A. Braun) Hansgirg 1888			1	<1				
<i>Tetraedron regulare</i> var. <i>bifurcatum</i> Wille			2	190				
<i>Ulothrix</i> tegund			2	64				
DINOPHYCEAE – Skorupþörungar	8	<1	40	353	18	6	17	5
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Schrank			15	65				
<i>Glenodinium</i> tegund			2	26	7	<1	3	1
<i>Gymnodinium aeruginosum</i> Stein			2	96				
<i>Gymnodinium helveticum</i> Pen.	8	<1			6	4	7	3
<i>Gymnodinium ordinarum</i> Skuja			2	7	3	<1	8	1
<i>Gymnodinium</i> tegund			14	31	2	<1		
<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemmermann			2	88				
<i>Peridinium</i> tegund			2	37				
CYANOBACTERIA – Blágrænugerlar	3	<1	5	103	0	0	7	4
<i>Anabaena</i> tegund							2	1
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & West			2	<1				
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. & G.S. West							2	1
<i>Limnothrix</i> tegund	3	<1	2	<1			2	1
<i>Oscillatoria</i> tegund			2	103			2	1
EUGLENOPHYCEAE – Augnþörungar	2	<1	0	0	2	<1	0	0
HAPTOPHYTA – Haftþörungar	2	<1	254	1	281	<1	3	<1

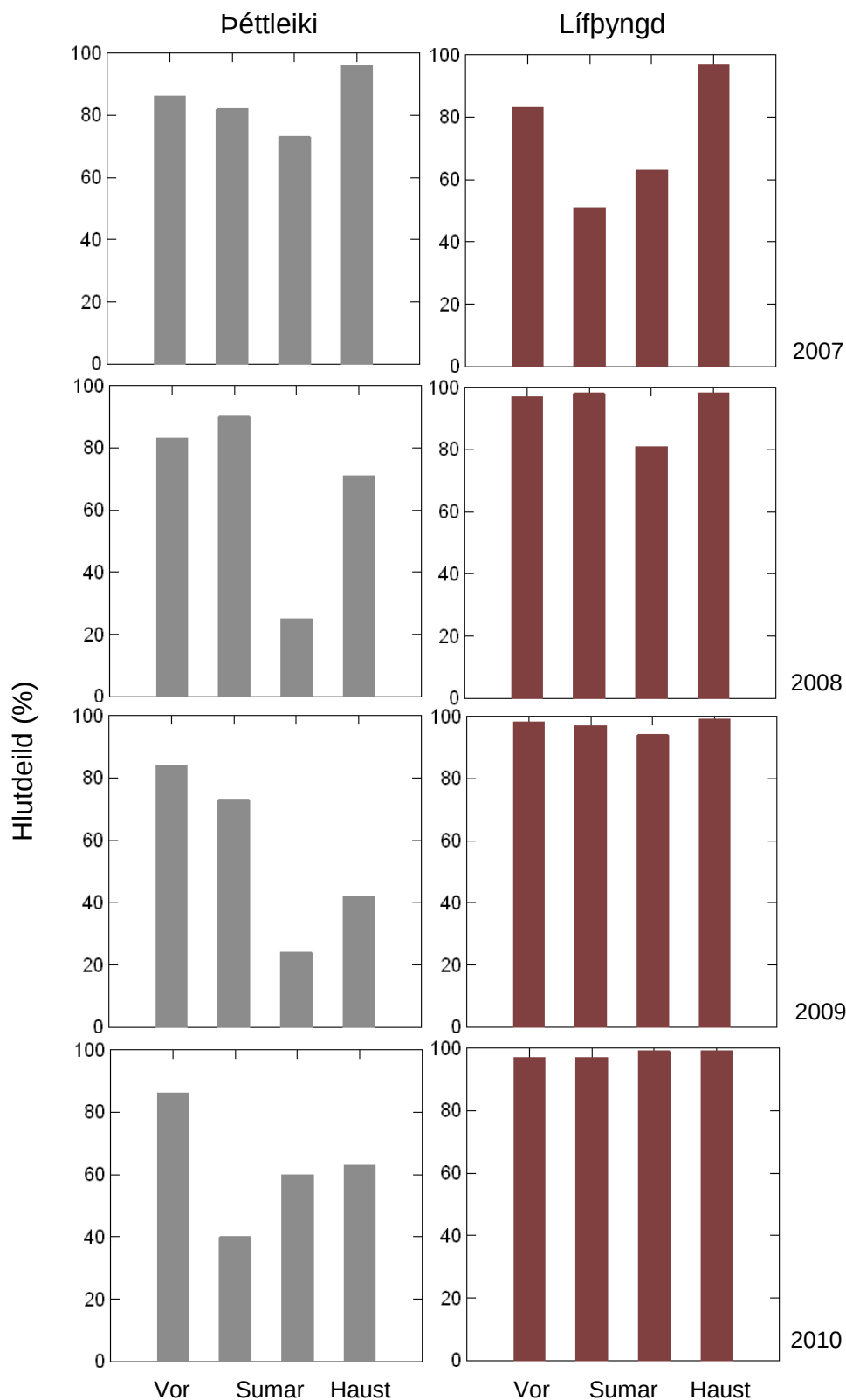


13. mynd. Hlutdeild (%) svifþörungategunda miðað við tegundafjölda á stöð V2 í Þingvallavatni skipt eftir þörungahópum og sýnatökuárum.

Af einstökum þörungategundum skera fjórar tegundir kísilþörungna sig úr með hliðsjón af þéttleika og lífþyngd (9. og 10. tafla) og má kalla þær ráðandi í þörungaflóru Þingvallavatns á árabílinu 2007–10. Þetta eru hinar stórvöxnu tegundir af sáldeiskjum *Aulacoseira islandica* f. *curvata*, *A. islandica* (O. Müller) og *A. italica* ásamt stjarneskinu *Asterionella formosa*. Kísilþörungarnir *Stephanodiscus minutulus*, *S. parvus* og *S. alpinus* auk dulþörungna *Rhodomonas minuta* koma einnig fyrir í allmiklum þéttleika en lífþyngd þeirra er lítil (9. tafla).

Magn mismunandi þörungahópa var breytilegt eftir árstímum eins og búast mátti við. Þegar á heildina er litið voru kísilþörungar ríkjandi bæði með tilliti til þéttleika og einkum lífþyngdar (14. mynd). Taka ber tölum frá 2007 með fyrirvara þar sem sýnin voru flest síuð með 45 µm sigti en önnur ár voru sýni ekki síuð (sjá bls. 15). Ef horft er til árabilsins 2008–10 var hlutdeild kísilþörungna af heildarþéttleika á bilinu 24–90% og 81–99% með tilliti til lífþyngdar (14. mynd). Hvað þéttleika áhrærir á árunum 2008–10 stóðu dulþörungar næstir kísilþörungunum með 22–43% hlutdeild þegar best lét, í þriðja sæti voru gullþörungar með 10–37% hlutdeild og grænþörungar í fjórða sæti með 1–3% hlutdeild. Hlutdeild annarra þörungahópa en kísilþörungna af lífþyngd var á bilinu 0–10%.

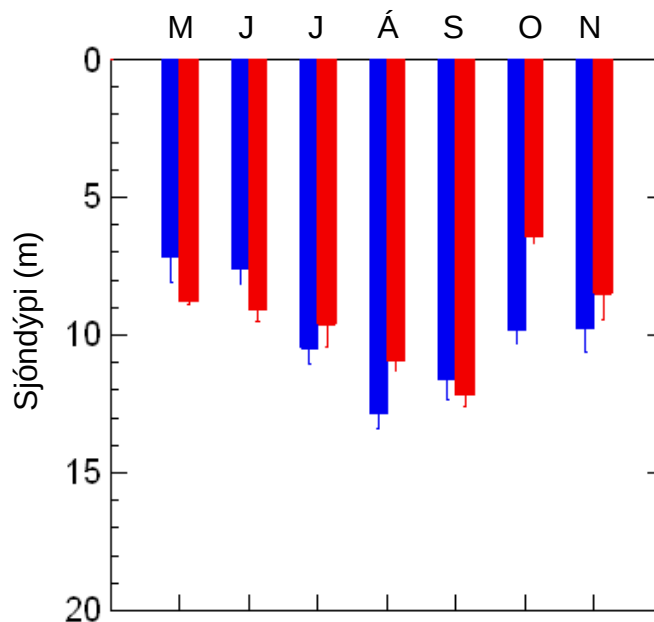
Árstíðabreytingar í þéttleika mismunandi þörungahópa felast í því að þéttleiki kísilþörungna, einkum stóru tegundanna *A. islandica* f. *curvata* og *A. italica*, minnkar umtalsvert yfir sumarið þegar vatnið er hlýjast og lagskipting er hvað sterkust (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2008, 2009a, 2010b, 2011a, 2012). Þá hefur gengið verulega á magn næringarefna, aðallega niturs, og stærri tegundir þörungna eiga þá í erfiðleikum með að verða sér út um næringu. Smágerðum tegundum annarra þörungahópa, einkum gulþörungum, sem og smágerðum kísilþörungategundum, sem ráða betur við skilyrðin yfir hásumarið, fjölga eitthvað en aðallega vex þó hlutfallslegur fjöldi þessara tegunda vegna fækkunar stórvaxinna kísilþörungna.



14. mynd. Hlutdeild (%) kísilþörunga af heildarþéttleika og heildarlífþyngd svifþörunga á 5 m dýpi á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árabilinu 2007–10. Vor (súlur lengst til vinstri) tekur til sýnatöku í maí, sumar (súlurnar tvær fyrir miðju) tekur til sýnatöku frá júní til miðs september, haust (súlur lengst til hægri) tekur til sýnatöku frá miðjum september til loka nóvember.

3.4 Rýni

Markverðar breytingar hafa átt sér stað í rýni Þingvallavatns á síðastliðnum 30–40 árum (15. mynd, 11. tafla). Miðað við áttunda og níunda áratug síðustu aldar hefur sjóndýpi (rýni) á þessari öld verið annars vegar meira á vorin og snemma sumars og hins vegar minna síðsumars og einkum á haustin. Í maí 2007–11 var rýni að meðaltali 8,8 m ($\pm 0,15$ (st.sk.), spönn 7,7–11,0 m, $n = 26$) en á áttunda og níunda áratug síðustu aldar var það að meðaltali 7,2 m ($\pm 0,80$, spönn 5,2–9,5 m, $n = 5$). Munurinn á meðalrýni milli þessara tveggja tímabila er marktækur (t-próf, $t = -3,392$, ft. = 29, $P = 0,002$). Í júní 2007–11 var rýnið að meðaltali 9,1 m ($\pm 0,42$, spönn 7,0–16,0 m, $n = 20$) en á fyrra tímabilinu var það að meðaltali 7,6 m ($\pm 0,48$, spönn 5,8–9,5 m, $n = 7$) og er munurinn á meðalrýni milli tímabilanna marktækur ($t = -2,305$, ft. = 25, $P = 0,035$). Í ágúst 2007–11 var rýnið að meðaltali 11,0 m ($\pm 0,31$, spönn 9,0–15,0 m, $n = 24$), en á fyrra tímabilinu var það 12,9 m ($\pm 0,48$, spönn 11,0–15,0 m, $n = 7$) og er munurinn marktækur ($t = 2,971$, ft. = 29, $P = 0,006$). Í október 2007–11 var rýnið að meðaltali 6,4 m ($\pm 0,24$, spönn 5,0–11,0 m, $n = 28$), en á fyrra tímabilinu var það 9,8 m ($\pm 0,39$, spönn 9,0–10,5 m, $n = 4$), og er munurinn mjög marktækur ($t = 5,215$, ft. = 30, $P < 0,001$). Ekki er um marktækan mun að ræða í meðalrýni milli tímabilanna tveggja í júlí og september. Í nóvember voru mælingar of fáar til að hægt væri að framkvæma tölfræðipróf (aðeins tvö gildi frá 2007–11).



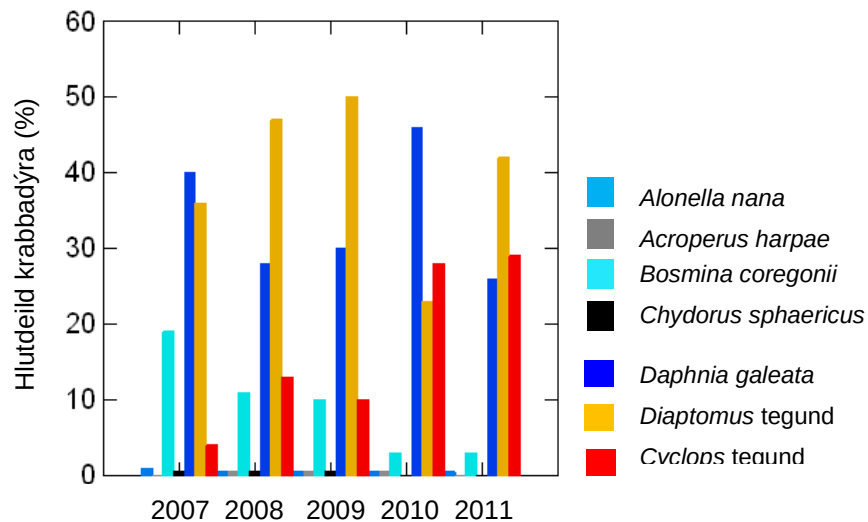
15. mynd. Rýni (sjóndýpi, m) í Þingvallavatni á árunum 1974–79 og 1981–82 (bláar súlur) og 2007–11 (rauðar súlur). Sýnd eru meðaltöl ($\pm$ st.sk.) nema þar sem um stakar mælingar er að ræða. Gögn frá 20. öld eru fengin frá Péttri M. Jónassyni o.fl. (1992). Nánari upplýsingar um rýnigögn er að finna í 11. töflu.

11. tafla. Rýni (sjóndýpi, m) í Þingvallavatni á árunum 1974–79, 1981–82 og 2007–11. Gögn frá 20. öld eru fengin frá Péttri M. Jónassyni o.fl. (1992).

Ár	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	Sept.	Okt.	Nóv.	Des.
1974						11,8	9,3	11,5	
1975	7,0	6,7	7,6	8,7	15,0	15,0			
1976		6,0	7,6	11,2	12,2	12,0	10,5	10,0	7,0
1977		8,5	7,5	9,8	12,5	10,1	10,5	9,6	
1978			6,5	12,0	12,3				
1979			5,8	9,2	13,5	12,0			
1980									
1981		9,5	9,5	10,0	11,0	10,5	9,0	8,0	
1982		5,2	8,8	12,5	13,5	10,0			
2007		8,7	9,2		10,9		5,7		
"		9,7	7,7		9,9		6,2		
"		8,9	8,7		9,9		5,7		
2008		8,0		6,8		11,5	6,5		
"		7,5		8,9		12,5	6,5		
"		8,0				12,5	6,5		
2009		8,5		12,5	12,5		7,0		
"		8,5		12,5	12,5		7,2		
"		7,5		12,0	12,5		7,2		
2010		8,5	16,0	12,0	15,0		11,0	8,0	
"					14,0			9,0	
2011		8,0	9,5		13,0		9,5		

3.5 Svifdýr

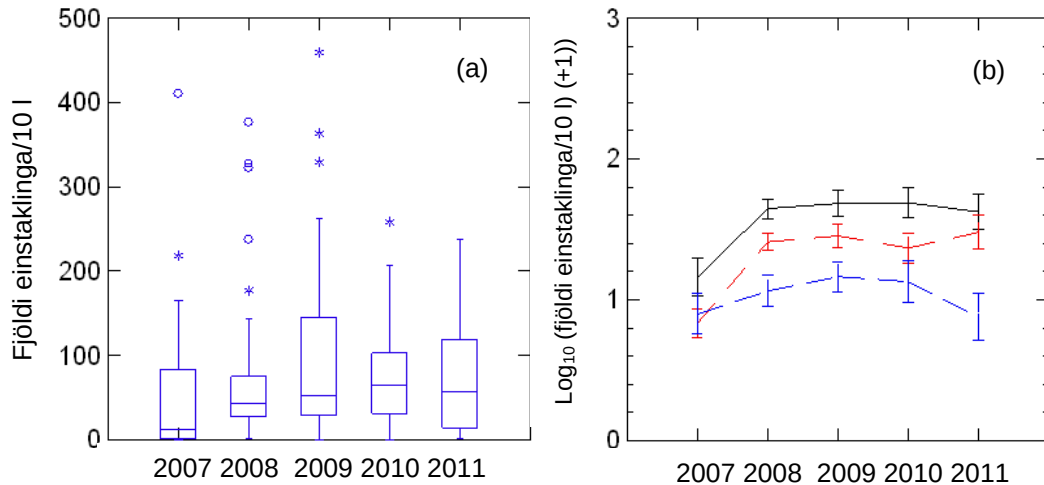
Alls voru greindar sjö tegundir af krabbadýrum úti í vatnsbol Þingvallavatns í vöktunarverkefninu (16. mynd, 12. tafla). Um er að ræða fimm tegundir af vatnaflóm (Cladocera), þ.e. gárafló (*Alonella nana*), hjálmfló (*Acroperus harpae*), kúlufló (*Chydorus sphaericus*), ranafló (*Bosmina coregonii*) og halaflóin *Daphnia galeata*, auk tveggja tegunda af árfætlum (Copepoda), þ.e. smádílið (*Diaptomus*) sem tilheyrir rauðátubræðrum (Calanoida) og er af svifdílsætt (Diaptomidae), og ein tegund af ætt sunddíla (Cyclopoidae), þ.e. augndílið (*Cyclops*). Hugsanlega er einnig um aðra tegund augndílis að ræða en óvíst hvaða tegund það er.



16. mynd. Hlutdeild (%) krabbadýrategunda með hliðsjón af heildarþéttleika á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns árin 2007–11. Byggt á geómetrísku meðaltali á fjórum sýnatökum á tímabilinu maí–nóvember á 3–5 dýpum (1, 5, 10, 25 og 35 m) í hvert skipti.

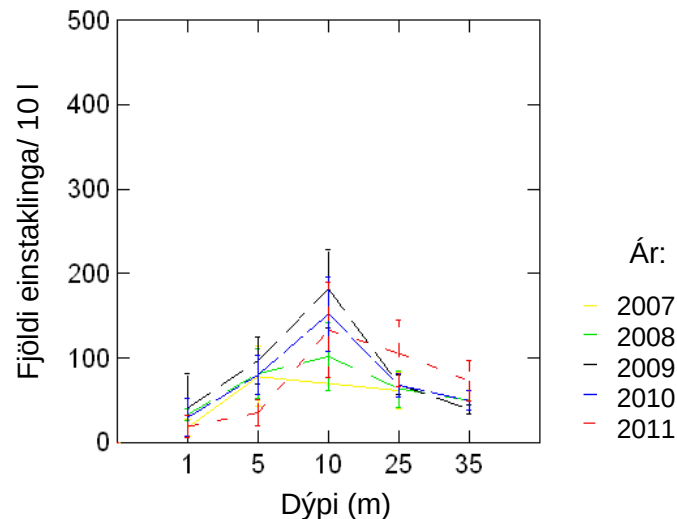
Tvær algengustu tegundirnar öll fimm árin hafa verið smádíli og halaflóin *Daphnia galeata* og var hlutdeild þeirra fremur jöfn eða 23–50% fyrir smádílið og 26–46% fyrir halaflóna. Ranafló og augndíli má einnig kalla algengar, a.m.k. sum árin, en hlutdeild þeirra hefur verið allbreytileg og sveiflast frá 3% til 19% fyrir ranafló og 4–29% fyrir augndíli. Gára-, hjálm- og kúlufló hafa verið fágætar tegundir og hefur hlutdeild þeirra nær ávallt verið langt undir 1%.

Heildarþéttleiki krabbadýra í einstökum sýnum á árabílinu 2007–11 hefur leikið á bilinu 0–459 einstaklingar í hverjum tíu lítrum og hefur þéttleikinn verið svipaður öll árin að árinu 2007 undanskildu (17. mynd). Árið 2007 var heildarþéttleikinn að meðaltali 14 krabbadýr/10 l (geómetrískt meðaltal) eða aðeins um helmingurinn af því sem hann var að meðaltali á árunum 2008–11, þ.e. 24–35 krabbadýr/10 l ($F_{4,168} = 4,826$, $R^2 = 0,103$, $P = 0,001$). Þennan mun í þéttleika má útskýra með hliðsjón af ólíku sýnatökudýpi, en árið 2007, þegar sýnataka var í mótun, voru svifsýni aðeins tekin á 1, 5 og 25 m dýpi en ekki

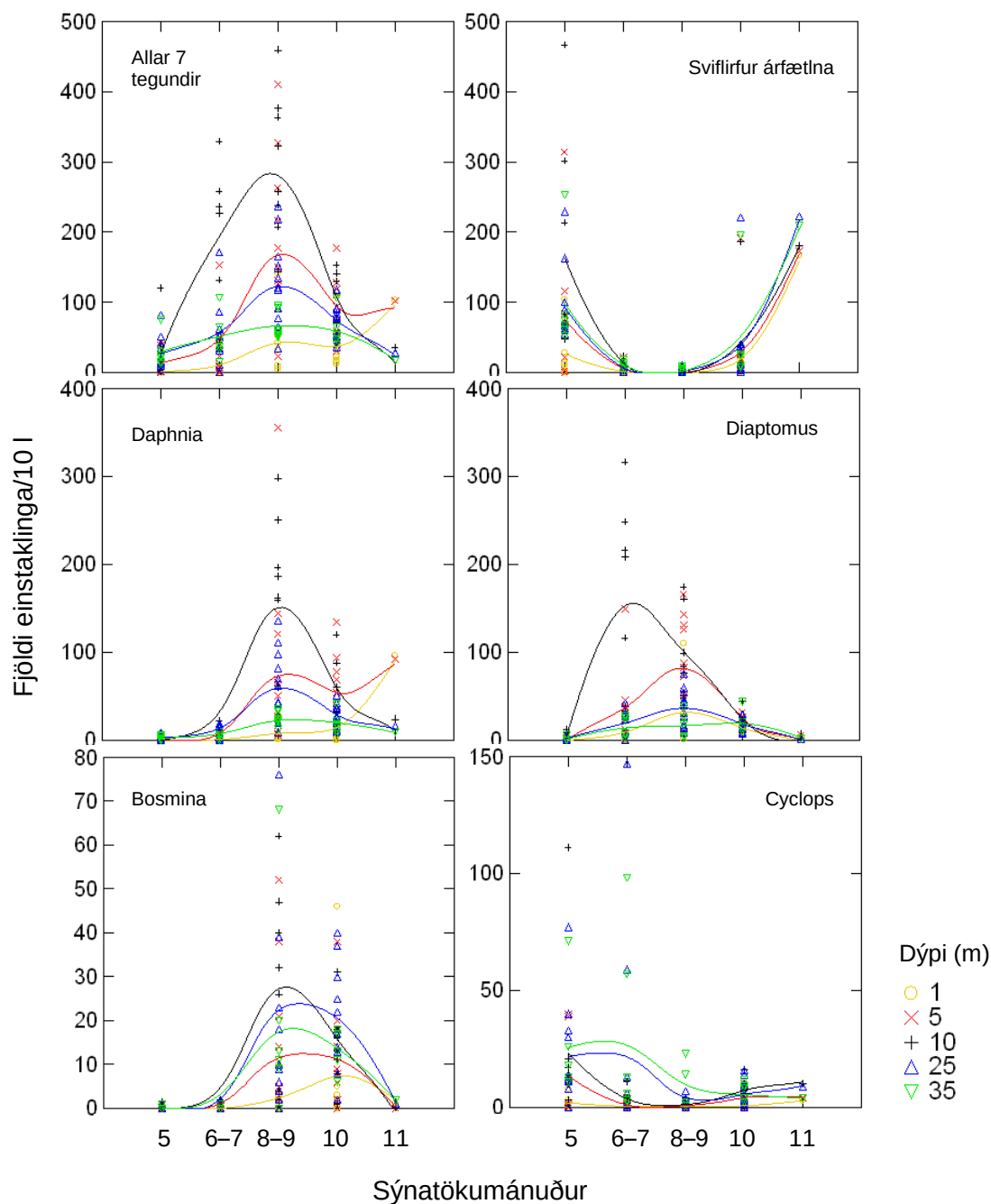


17. mynd. (a) Heildarþéttleiki allra krabbadýrategunda (fjöldi einstakl./10 l) á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–11. Grafið sýnir m.a. miðgildi (þverstrik) innan kassa sem spannar 50% af miðsæknustu gildunum. Stjörnur og hringir merkja útlagagildi. **(b)** Heildarþéttleiki allra krabbadýrategunda (svört lína) á stöð V2 ásamt þéttleika árfætlna (rauð lína) og vatnaflóa (blá lína) á árunum 2007–11. Gögnin á grafi b hafa verið umbreytt með lygra (Log_{10}) og sýnd eru meðatöl og st.sk.

á 10 m og 35 m dýpi til viðbótar við fyrrnefndu dýpin þrjú eins og gert var hin árin fjögur. Á árunum 2008–2011 hefur meðalþéttleiki allra krabbadýrategundanna reynst mestur á 10 m dýpi (18. mynd).



18. mynd. Þéttleiki allra krabbadýrategunda (fjöldi einstakl./10 l) á stöð V2 í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–11 með hliðsjón af sýnatökudýpi (m). Sýnd eru meðaltöl og st.sk.



19. mynd. Þéttleiki krabbadýra í vatnsbol Þingvallavatns árin 2007–11 með hliðsjón af sýnatökutíma og dýpi. Sýnatökumánuðir taka til eftirfarandi dagsetninga: 5 (8.5.–18.5), 6–7 (28.6.–7.7.), 8–9 (27.8.–1.9.), 10 (8.10.–26.10.) og 11 (23.11.). Vegnar línur eru dregnar milli mæligilda með aðferð minnstu kvaðrata (DWLS).

Dæmigerðir vaxtarferlar algengustu svifkrabbategundanna fjögurra í vatninu lýsa sér í stuttu máli þannig að báðar árfætlutegundirnar taka fyrir við sér um sumarið og fjölga hraðar en vatnaflónum, en jafnframt hjaðnar vaxtarkúfurinn fyrir hjá árfætlunum en vatnaflónum (19. mynd).

12. tafla. Tegundasamsetning krabbadýra og þéttleiki (fjöldi einstaklinga í 10 lítrum) í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–11. Sýnatökur voru að jafnaði fjórar á ári, frá miðjum maí til loka október, á 1–3 stöðvum (sjá 1. mynd) og 3–5 dýpum (1, 5, 10, 25 og 35 m) á hverri stöð. Gm. er geómetrískt meðaltal.

		<i>Alonella nana</i>	<i>Acroporus harpae</i>	<i>Bosmina coregoni</i>	<i>Chydorus sphaericus</i>	<i>Daphnia galeata</i>	<i>Diaptomus tegund</i>	<i>Cyclops tegundir</i>	<i>Sviflur (nauplius)</i>	Alls (= nauplius)
2007 n = 36	Meðaltal	0,2	10,2	0,0	29	11	2	11	53	
	St.sk.	0,1	3,0	0,0	10,6	2,4	1,4	3,9	14	
	Lágm.	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Hám.	2	76	1	355	55	40	84	410	
	Tíðni (%)	14	0	47	3	67	31	61	86	
	Gm.	0,1	2,3	0,0	5	5	1	2	13	
	% Gm.	0,9	18,6	0,2	40,3	36,1	4,0		100	
2008 n = 44	Meðaltal	0,2	0,1	11	0,1	26	31	5	20	73
	St.sk.	0,1	0,0	2,6	0,1	7,1	6,0	1,0	3,8	13
	Lágm.	1	1	0	1	1	1	1	1	2
	Hám.	1	1	76	2	196	166	39	81	376
	Tíðni (%)	14	5	61	9	86	86	93	98	100
	Gm.	0,1	0,0	3,3	0,1	8	13	4	9	28
	% Gm.	0,4		11,7	0,3	27,9	46,9	12,7		100
2009 n = 48	Meðaltal	0,1	0,0	10	0,0	34,0	46	7	36	97
	St.sk.	0,0	0,0	2,1	0,0	8,9	9,5	1,2	11,8	15
	Lágm.	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	Hám.	1	1	62	1	298	316	40	466	459
	Tíðni (%)	6	4	63	2	83	94	75	77	100
	Gm.	0,0	0,0	3	0,0	10,6	17,8	3,4	8	35
	% Gm.	0,1	0,1	9,7	0,0	29,9	50,4	9,7		100
2010 n = 25	Meðaltal	0,1		1,3		34	20	21	88	76
	St.sk.	0,1		0,6		9,1	10,0	6,1	17,3	12
	Lágm.	1		1		1	1	2	1	0
	Hám.	1		13		162	248	111	222	258
	Tíðni (%)	12	0	44	0	84	84	80	100	100
	Gm.	0,1		0,7		11	6	7,2	34	25
	% Gm.	0,4		2,7		45,7	22,8	28,5		100
2011 n = 20	Meðaltal	0,1		2,6		20	31	19	66	73
	St.sk.	0,1		1,3		6,4	9,8	8,2	22,3	15
	Lágm.	1		4		1	8	1	1	1
	Hám.	1		22		88	174	147	314	238
	Tíðni (%)	5	0	25	0	75	70	90	85	100
	Gm.	0,0		0,8		6	10	7	17	24
	% Gm.	0,1		3,2		25,7	42,0	29,0		100

Á meðal þyrildýra voru alls um 14 tegundir eða flokkunareiningar greindar á vöktunartímabilinu auk hóps með ógreindum þyrildýrum (13. tafla). Meðalþéttleiki þyrildýranna í heild á ársgrundvelli var fremur svipaður milli áranna fimm, þ.e. 162–384 dýr/10 l (geómetrískt meðaltal, 13. tafla). Það er einungis árið 2010 sem sker sig úr með marktækt minni þéttleika en hin árin ($F_{4,168} = 17,057$, $R^2 = 0,289$, $P < 0,001$). Heildarþéttleiki þyrildýra í einstaka sýnum mældist á bilinu 0–3.487 dýr/10 l.

Þrjár tegundir réðu ríkjum meðal þyrildýranna í dýrasvifinu á öllu tímabilinu. Langmest kvað að fjaðurþyrlu, líklega *Polyarthra dolichoptera*, en hún kom fyrir í nær öllum sýnum og var með tíðnina 97–100% og hlutdeildina 18–62% af heildarmeðaltali þyrildýra á ársgrundvelli (13. tafla). Í næsta sæti var spaðþyrlutegundin *Keratella chochlearis* með tíðnina 78–100% og þéttleikahlutdeildina 5–34% og í þriðja sæti sólþyrlan *Conochilus unicornis* með tíðnina 39–85% og þéttleikahlutdeildina 1–7%.

Í rannsókn Úlfars Antonssonar á dýrasvifinu í Þingvallavatni á tímabilinu 1974–77 reyndust sömu þrjár tegundir þyrildýra og að framan greinir vera ráðandi m.t.t. lífþyngdar (Úlfar Antonsson 1992). Sömu sögu er að segja frá athugunum C.E.H. Ostensfeld og C.J. Wesenberg-Lund á dýrasvifi í vatninu á árunum 1902 og 1903. Einnig þá voru þrjár fyrrnefndu þyrildýrategundirnar hvað algengastar, en að auki bar nokkuð á eyraþyrlum (*Synchaeta neglecta*) og svuntuþyrlum (*Notholca longispina*) (Ostensfeld og Wesenberg-Lund 1906).

Þær ríflega 14 tegundir eða flokkunareiningar sem greindar voru í vöktunarverkefninu eru allar þekktar úr fyrri rannsóknum í Þingvallavatni, en alls hafa um 55 tegundir þyrildýra verið greind í vatninu (Úlfar Antonsson 1992). Ekki hefur gefist tækifæri til að greina til tegunda allstóran hóp þyrildýra í vöktunarverkefninu (13. tafla) og bíður sú vinna betri tíma.

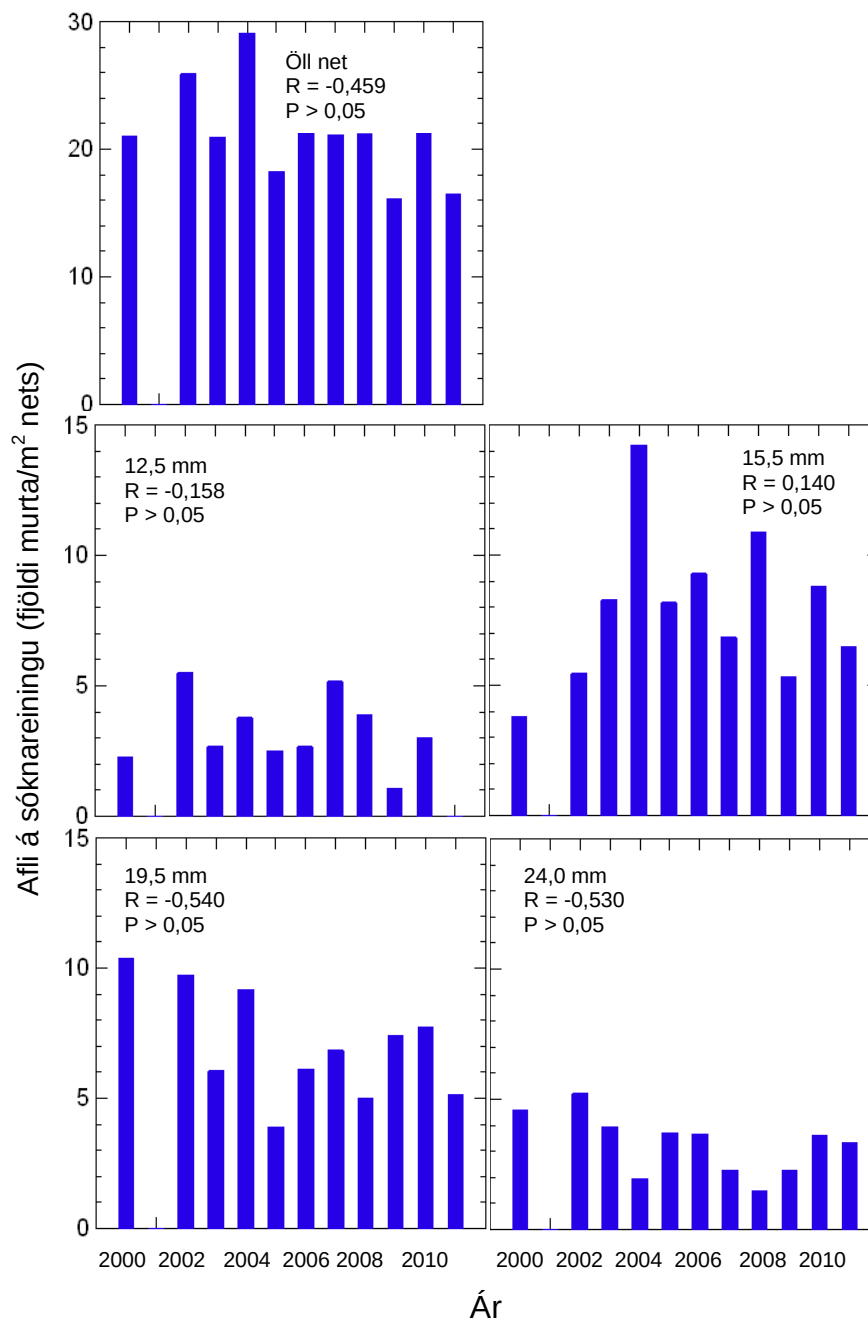
13. tafla. Tegundasamsetning þyrildýra (Rotifera) og þéttleiki (fjöldi einstaklinga í 10 lítrum) í vatnsbol Þingvallavatns á árunum 2007–11. Sýnatökur voru að jafnaði fjórar á ári, frá miðjum maí til loka október, á 1–3 stöðvum (1. mynd) og 3–5 dýpum (1, 5, 10, 25 og 35 m) á hverri stöð. Gm. er geómetrískt meðaltal.

		<i>Conochilus unicornis</i>		<i>Asplanchna priodonta</i>		<i>Euchlanis</i> tegund		<i>Keratella cochlearis</i>		<i>Keratella quadrata</i>		<i>Polyarthra</i> tegund		<i>Trichocerca</i> tegund		<i>Trichotria</i> tegund		<i>Filinia terminalis</i>		<i>Notholca foliacea</i>		<i>Notholca squamula</i>		<i>Lecane</i> tegund		<i>Synchaeta</i> tegund		<i>Ploesoma</i> tegundir		<i>Þyrldýr - ógreind</i>		Alls	
2007 n = 36	Meðaltal	8	3			30	0,4	432	51	0,2	11	0,3	0,2			2												116	653				
	St.sk.	2,9	0,9			5,6	0,2	92,1	18,9	0,2	3,3	0,2	0,1			0,5												18,9	94				
	Lágm.	1	4			3	2	4	4	8	2	1	1			0												3	12				
	Hám.	64	22			128	4	1.896	472	8	73	5	3			12												600	2.013				
	Tíðni (%)	39	25	0	78	11	97	33	3	42	11	11	0	28	0	100																	
	Gm.	2	1			12	0,2	147	3	0,1	2	0,2	0,1			1												71	238				
	% Gm.	0,6	0,3			4,9	0,1	61,8	1,3	0,0	1,0	0,1	0,0			0,3												29,6	100				
2008 n = 44	Meðaltal	140	23	1	175	2	149	58			23	1	1			7												413	992				
	St.sk.	38,1	6,2	0,4	21,1	0,6	21,3	14,8			4,1	0,5	0,3			2,3												81,9	83				
	Lágm.	4	8	8	16	1	0	8			0	8	8			3												0	206				
	Hám.	16	184	16	600	16	544	320			144	16	8			80											1.624	2.032					
	Tíðni (%)	70	52	5	100	23	98	39	0	82	11	7	0	34	0	100																	
	Gm.	22	5	0,1	122	1	66	5			11	0,3	0,2			1												130	362				
	% Gm.	6,0	1,3	0,0	33,7	0,2	18,1	1,2			2,9	0,1	0,0			0,4												35,9	100				
2009 n = 48	Meðaltal	122	7	0,5	126	7	460	25			50	3	4	0,2	1	1	129	936															
	St.sk.	31,1	1,9	0,5	17,1	1,6	71,5	6,7			14,7	1,4	1,7	0,2	0,5	0,2	20,0	93															
	Lágm.	1	1	22	4	3	0	4			0	4	4	1	3	1	9	54															
	Hám.	26	58	22	507	44	2.173	187			471	49	53	9	22	6	618	2.600															
	Tíðni (%)	81	58	2	100	52	100	48	0	79	19	17	4	17	21	98																	
	Gm.	24	2	0,1	69	2	162	4			11	1	1	0,0	0,4	0,3	71	348															
	% Gm.	7,0	0,6	0,0	19,9	0,7	46,6	1,1	0,0	3,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	20,3	100																
2010 n = 25	Meðaltal	34	36		60	23	363	15			32	1	0,4			12	1	14	592														
	St.sk.	13,6	15,4		13,3	9,2	119,8	5,5			9,0	0,4	0,4			4,8	0,4	2,6	134														
	Lágm.	1	1		22	2	9	18			1	4	0			1	2	2	18														
	Hám.	320	289		258	178	1.991	84			142	9	9			89	7	44	2.486														
	Tíðni (%)	72	40	0	88	36	100	32	0	72	8	12	0	52	20	84																	
	Gm.	7	3		31	2	98	2			8	0,1	0,1			3	0,3	8	162														
	% Gm.	4,2	1,8		19,2	1,4	60,3	1,4			5,0	0,1	0,1			1,7	0,2	4,8	100														
2011 n = 20	Meðaltal	70	10		154	16	196	1	0,1	36	2	0,4			43	2	221	751															
	St.sk.	24,5	5,0		28,6	4,9	37,8	0,6	0,1	17,0	1,0	0,3			14,7	0,7	113,6	159															
	Lágm.	18	1		1	4	14	4	1	1	4	4			9	2	26	42															
	Hám.	373	98		356	76	667	9	1	338	18	4			213	10	2.364	3.487															
	Tíðni (%)	85	50	0	100	60	100	15	5	70	20	10	0	50	35	100																	
	Gm.	26	2		89	5	137	0,4	0,0	8	1	0,2			7	1	108	384															
	% Gm.	6,6	0,6		23,1	1,4	35,6	0,1	0,0	2,1	0,1	0,0			1,8	0,2	28,2	100															

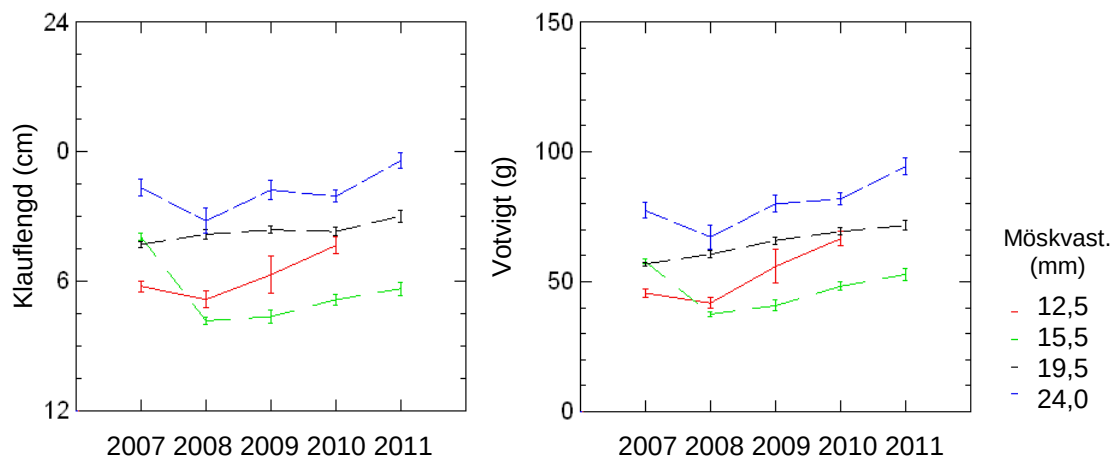
3.6 Murta

Heildarafli murtu á sóknareiningu hefur verið allbreytilegur milli ára (20. mynd). Fljótt á litið virðist gæta tilhneigingar til minnkunar á afla á sóknareiningu en ekki er um marktækar breytingar að ræða (árabilið 2007–11; $R = -0,368$, ft. = 3, $P > 0,05$; árabilið 2000–11; $R = -0,459$, ft. = 9, $P > 0,05$).

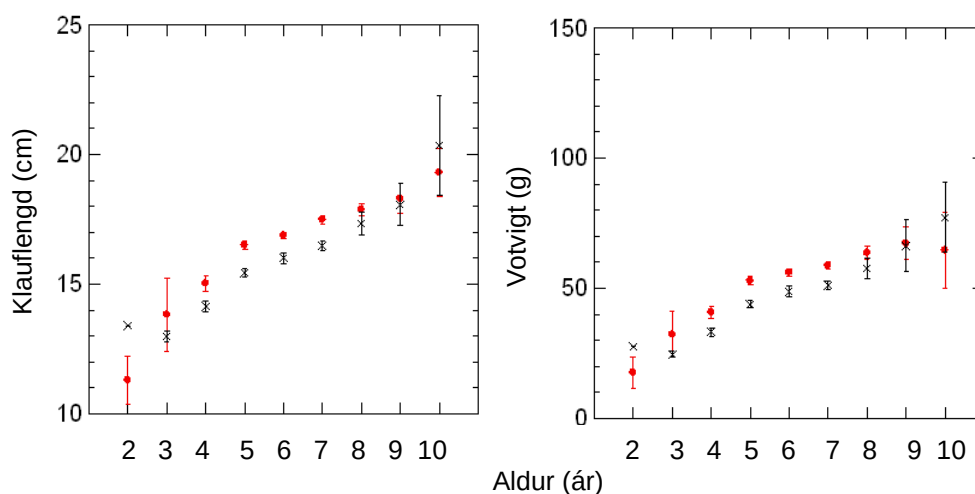
Meðallengd og meðalþyngd murtu virðist hafa vaxið á tímabilinu 2007–11 ef frá er talið fallið milli 2007 og 2008 (21. mynd). Ef horft er sérstaklega á murtur sem veiddust árið 2007 í lagnet með 24,0 mm og einkanlega 15,5 mm möskvastærð voru þær hvorutveggja lengri og þyngri en murtur sem veiddust árið eftir í lagnet með sömu möskvastærðum (21. mynd). Murtur sem ánetjuðust 15,5 mm möskva árið 2007 voru $17,4 \pm 0,12$ cm (meðaltal $\pm$ st.sk.) en murtur sem veiddust í sama möskva árið 2008 voru ekki nema $14,8 \pm 0,09$ cm. Munurinn í meðallengd milli þessara tveggja ára er mjög marktækur ($t = 17,001$, ft. = 259, $P < 0,001$). Sama gildi um meðalþyngd murtu í 15,5 mm möskvastærð þessi tvö ár. Murtur sem veiddust árið 2007 voru $57,8 \pm 1,01$ g en voru árið 2008 aðeins $37,5 \pm 0,75$ g ($t = 16,430$, ft. = 259, $P < 0,001$). Skýring á mun í lengd og þyngd murta sem veiddust í 15,5 mm möskva árin 2007 og 2008 liggur að einhverju leyti í því að murtur sem veiddust árið 2007 voru marktækt eldri en árið 2008 ($t = 5,650$, ft. = 250, $P < 0,001$). Árið 2007 voru murturnar að meðaltali $6,4 \pm 0,12$ ára en 2008 voru þær $5,5 \pm 0,11$ ára. Árið 2007 voru murtur bæði lengri og þyngri en árið 2008 við 4+, 5+, 6+ og 7+ ára aldur (t-próf, $P \leq 0,015$, 22. mynd).



20. mynd. Murtuafli á sóknareiningu (fjöldi veiddra murta í hvern fermetra lagnets) á árunum 2000–11. Aflinn er gefinn upp annars vegar sem samanlagður murtuafli á sóknareiningu úr öllum fjórum lagnetum og hins vegar sem sundurliðaður afli eftir möskvastærð lagnets (12,5, 15,5, 19,5 og 24,0 mm legg í legg). R er Pearsons fylgnistuðull á sambandinu milli afla og ára. Aflagögn fyrir árið 2001 eru ekki tiltæk. Fermetrafjöldi lagneta hvert ár var á bilinu 54–90 og ávallt veitt í fyrstu viku október í um 12 klst. á sama stað við Svínanes.



21. mynd. Meðallengd murtu (klauflengd, $\pm$ st.sk.) og meðalþyngd (votvigt, $\pm$ st.sk.) á vöktunartímabilinu 2007–11 flokkuð eftir möskvastærð lagneta. Gögn fyrir 12,5 mm net árið 2011 eru ekki til þar eð 10 mm lagnet voru notuð það ár.



22. mynd. Meðallengd murtu (klauflengd, $\pm$ st.sk.) og meðalþyngd (votvigt, $\pm$ st.sk.) eftir aldri (ár) í veiði við Svínanes í október árið 2007 (rautt) og 2008 (svart). Aldursgreiningu er ólokið fyrir murtu sem veiddist árin 2009–11.

4. Umræður

Niðurstöður mælinga fyrstu fimm árin í vöktunarverkefninu sem hófst árið 2007 staðfesta í fyrsta lagi að vatnsgæði í Þingvallavatni eru almennt góð enda þótt sumar vatnsgæðabreytnar, nánar til tekið blaðgræna-a, heildarfosfór og króm, hafi mælst yfir tilskildum viðmiðunarmörkum. Í öðru lagi staðfesta niðurstöðurnar með samanburði við eldri gögn að umtalsverðar breytingar hafa átt sér stað í lífríki og efna- og eðlisþáttum Þingvallavatns á undanförunum þremur til fjórum áratugum. Þingvallavatn hefur hlýnað, styrkur nítrats aukist í írennsli vatnsins, magn þörungasvifs í vatnsbolnum aukist og vaxtartímabil þeirra virðist hafa lengst, einkum um haustið. Þá hefur rýni í vatninu breyst að hluta til í takt við breytingarnar á magni þörungasvifs.

4.1 Vatnshiti í Þingvallavatni

4.1.1 Hlýnun vatnsins

Hlýnun Þingvallavatns á tímabilinu 1962–2011 er umtalsverð og athyglisvert er hve hlýnunarferillinn á ársgrundvelli fellur vel að þróun ársmeðallofthita á Íslandi á umræddu tímabili, sem hefur stigið vegna hlýnandi loftslags (Halldór Björnsson 2008, Halldór Björnsson o.fl. 2008). Þetta gerist þrátt fyrir að Þingvallavatn sé í hópi allra stærstu, dýpstu og köldustu vatna landsins. Vatnsskál Þingvallavatns rúmar hartnær 3.000 Gl, meðaldýpið er nær 34 m, mesta dýpi um 114 m og inn í vatnsskálina streyma um 90 m³ á hverri sekúndu allt árið um kring af köldu lindarvatni sem er á bilinu 2,7–4,0°C (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1992, Árni Snorrason 2011, Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigbjarnarson 2011). Hér skiptir sennilega höfuðmáli að viðstöðutími Þingvallavatns er langur, þ.e.a.s. að það tekur vatnið um 330 daga að endurnýja sig (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1992), þannig að nægur tími gefst til varmaflutnings og upphitunar á vatninu.

Jafn afgerandi hlýnun í Þingvallavatni og raun ber vitni kemur að vissu leyti á óvart með hliðsjón af rúmtaki vatnsins, dýpi og köldum lindavatnsupprunum. Á norðlægum slóðum, þ. á m. á Íslandi, hefur hlýnun vatna aðallega verið staðfest í tiltölulega grunnum vötnum (Jeppesen o.fl. 2010, 2012). Gott dæmi um þetta er Elliðavatn, þar sem meðaldýpi er aðeins um 1 m, en vatnið hefur hlýnað með mjög marktækum hætti undanfarna þrjá til fjóra áratugi (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2009b, Jeppesen o.fl. 2012). Elliðavatn hefur hlýnað flesta mánuði ársins nema október–desember, mest snemma vors (mars–apríl) annars vegar og hins vegar síðsumars (júlí–september) (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2009b).

Samkvæmt munnlegum heimildum ábúenda við Þingvallavatn bendir flest til að vatnið hafi á tímabilinu 1950–85 jafnan lagt í annarri viku janúar, en þá var hægt að hefja netaveiðar undir ís (Sigurjón Rist og Guðmann Ólafsson 1986). Íðulega stóð ísinn við í þrjá mánuði og ísabrot (ísalausnir) oftast talin vera í annarri viku apríl. Eftir aldamótin síðustu er nær lagið að ísalagnir séu um mánaðamótin janúar–febrúar og ísabrot á tímabilinu frá miðjan febrúar til miðs mars, ef vatnið leggjur yfir höfuð.

Kólnun í Þingvallavatni í mars hin síðari ár, eins og vatnshitamælingarnar við Steingrímsstöð benda til, stafar vafalítið af því að ís er nú sjaldnar til staðar á vatninu í

marismánuði og því nýtur ekki við einangrunar íssins. Vatnið kólnar því bæði vegna loftkælingar og útgeislunar á varmaorku.

4.1.2 Hitaskil og lagskipting

Hitaskil geta myndast í vötnum þegar hlýr eðlisléttur vatnsmassi flýtur ofan á kaldari eðlisþyngri vatnsmassa (Moss 1998). Vatnshitamælingarnar úti í vatnsbol Þingvallavatns staðfesta að allskörp hitaskil geta myndast að sumri til á 15–25 m dýpi ef veður er í senn hlýtt og stillt í nokkurn tíma. Þannig kjöraðstæður voru til staðar síðsumars árið 2010 en þá mynduðust allskörp hitaskil milli yfirborðslagsins og undirlagsins á 20–24 m dýpi þar sem vatnshitinn féll um 2–4°C í millilaginu. Ef vatnshitinn fellur um meira en 1,0°C/m í millilaginu er jafnan talað um að hitaskil séu skörp eða eindregin (e. direct stratification, Moss 1998). Sumrin 2007 og 2011 mynduðust einnig tiltölulega glögg hitaskil, en þó ekki eins og sumarið 2010, enda var lofthiti síðsumars 2010 óvenju hár í Þingvallasveit (Veðurstofa Íslands 2011).

Þegar hitaskilin voru hvað sterkust í vatninu mátti greina áhrif lagskiptingar á sýrustig, uppleyst súrefni, súrefnismettun og blaðgrænumagn. Allir fjórir þættirnir tóku merkjanlegum breytingum í og við millilagið á 15–25 m dýpi þegar hitaskilin voru hvað skörpust. Sérstaklega hefur þetta verið skýrt varðandi magn blaðgrænu-a nú á síðari árum (9. mynd). Þetta kann að benda til þess að hitaskil og lagskipting séu að styrkjast í vatninu, en búast má við að hitaskil með tilheyrandi lagskiptingu verði bæði öflugri og vari lengur en ella í kjölfar loftslagshlýnunar (Blenckner o.fl. 2007, Kernan o.fl. 2009). Við lagskiptingu myndast einangrun milli yfirborðslags og undirlags og hætt er við að gangi á næringarefni í yfirborðslaginu sem leiðir til þess að vöxtur þörunganna þverr. Í kjölfarið drepast flestir þörungarnir og sökkva til botns og vatnið verður tært og blátt. Mikilvægt er að halda áfram mælingum á vatnshita með síritum úti í vatnsbolnum til að fylgjast með þróun hitaskila í vatninu.

4.1.3 Hitamengun frá Nesjavallavirkjun

Auk hlýnunar Þingvallavatns af völdum hnattrænnar loftslagshlýnunar gætir staðbundinnar hitamengunar í sunnanverðu vatninu vegna heits affallsvatns frá Nesjavallavirkjun (Wetang'ula 2004, Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011b). Hitamengun vegna affallsvatnsins hefur mælst á um 2 km löngum kafla meðfram ströndinni milli Markagjár og Grámels. Mest áhrif hafa verið inni í Varmagjá þar sem vatnshiti hefur mælst um og yfir 27°C yfir lengri tíma, sem er allt að 17°C umfram náttúrulegan vatnshita á staðnum. Fyrir utan Varmagjá hefur vatnshiti mælst 7–12°C umfram náttúrulegan vatnshita á nokkrum stöðum milli Markagjár og Grámels. Þótt hitaáhrifin virðist aðeins ná niður á um 40 cm dýpi geta þau náð töluvert út frá ströndinni ef veður er stillt og heitt vatn nær að fljóta ofan á köldu undirlagi.

Síðustu ítarlegu vatnshitamælingarnar sem gerðar voru í tengslum við affallsvatn Nesjavallavirkjunar í Þingvallavatni fóru fram 2003–04 (Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011b). Tímabært er að fylgjast nánar með þessum umhverfispætti, ekki síst í ljósi þess að samkvæmt lauslegri vettvangskonnnun sem nýlega var gerð á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs lítur út fyrir að hitamengun hafi aukist á framangreindu strandsvæði. Á einum stað fyrir opnu Þingvallavatni, þar sem ekki var vitað til þess að

hitamengun hefði áður verið til staðar, var áætlað að vatnshiti í uppsprettu væri 25–30°C. Það þýðir að hitamengun á þeim stað kann að vera 25–30°C umfram náttúrulegan vatnshita þegar Þingvallavatn er kaldast.

4.2 Efnaákoma og uppruni efna

4.2.1 Nitur

Mælingar sýna að breytingar hafa orðið á styrk efna í írennsli Þingvallavatns. Einna athyglisverðasta breytingin snýr að aukningunni í nitri, en nítratstyrkur í írennslinu er um 60% meiri nú en fyrir 35–40 árum. Þessi aukning stafar líklega að hluta til a.m.k. af aukninni loftborinni ákomu niturs á vatnasviðinu. Á Mjóanesi við Þingvallavatn hófust reglulegar mælingar á efnum í úrkomu árið 2008 í tengslum við tilkomu hins nýja vegar yfir Lyngdalsheiði (Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson 2011). Í þeim mælingum hefur sérstaklega verið hugað að ákomu köfnunarefnis og m.a. mæld efnin $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$. Mæliniðurstöður frá Mjóanesi hafa verið notaðar ásamt upplýsingum um úrkomumagn á Írafossi til að reikna ákomu á bæði Þingvallavatn út af fyrir sig og allt vatnasvið vatnsins (Gunnar Steinn Jónsson 2012). Meginniðurstöðurnar eru að loftborin ákoma köfnunarefnis hefur aukist verulega og lítur út fyrir að vera allt að tvöfalt meiri nú en talið er að hún hafi verið á níunda áratug síðustu aldar. Á seinni hluta síðustu aldar var loftborin votákoma köfnunarefnis á sjálft Þingvallavatn metin um 15 tonn á ári og um 300 tonn á ári á allt vatnasviðið (Hákon Aðalsteinsson og Pétur M. Jónasson 2002, 2011, Pétur M. Jónasson 2011). Samkvæmt mælingum á Mjóanesi fyrir tímabilið maí 2008 til október 2011 var votákoman aftur á móti nær því að vera um 30 tonn á vatnið og um 700 tonn á allt vatnasviðið (Gunnar Steinn Jónsson 2012).

Af áætlaðri árlegri 710 tonna heildarákomu niturs á vatnasviðinu hin síðari ár er talið að um 185 tonn, eða nær 25%, megi rekja til langt aðborinnar mengunar, þar af um 175 tonn (90%) með votákomu og 10 tonn (10%) með þurrákomu (Gunnar Steinn Jónsson 2012). Óvíst er hve stór hluti þessarar niturákomu skilar sér í vatnið. Loftborin niturákoma sem berst beint í vatnið með úrkomu og loftflæði er talin vera samtals um 30 tonn á ári. Af síðastnefndu ákomunni eru alls um 8 tonn (~25%) rakin til mengunar, þ.e. 7 tonn (~90%) vegna votákomu og 1 tonn (~10%) vegna þurrákomu (Gunnar Steinn Jónsson 2012). Önnur ákoma niturs af manna völdum sem berst ár hvert beint í Þingvallavatn er vegna áburðarnotkunar (~6 tonn), skólplosunar (~6 tonn) og Nesjavallavirkjunar (~1 tonn) (Gunnar Steinn Jónsson 2012).

Styrksaukning nítrats í írennsli Þingvallavatns, sem og aukning í styrk kísils, kann einnig að standa í sambandi við hlýnun loftslags á vatnasviðinu. Fræðin spá fyrir um að rof og veðrunarhraði á vatnasviðum, jafnt af mekanískum sem efnafræðilegum toga, stígi með vaxandi lofthita og því megi reikna með að efnastyrkur, þ. m. t. næringarefni, aukist almennt í ferskvatni (Blenckner o.fl. 2007, Kernan o.fl. 2009). Tengsl af þessu tagi milli lofthita og efnastyrks hafa verið staðfest hér á landi með allskýrum hætti á vatnasviðum nokkurra straumvatna á Norðausturlandi (Sigurður R. Gíslason o.fl. 2009). Einnig eru fyrir hendi vísbendingar um að styrksaukning uppleystra efna í nokkrum stöðuvötnum á höfuðborgarsvæðinu, sem vart hefur orðið við undanfarinn áratug eða svo, stafi af hækkandi lofthita á svæðinu (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2010c, 2011b).

Þáttur efnaákomu vegna uppblásturs á vatnasviði Þingvallavatns hefur ekki verið metinn með beinum hætti en stærstan hluta síðustu aldar átti sér stað umtalsverð gróðureyðing og jarðvegsrýrnun á vatnasviðinu með tilheyrandi uppblæstri og efnaflutningum (Ingvi Þorsteinsson og Ólafur Arnalds 1992). Mælingar á setmyndun í Þingvallavatni veita aftur á móti óbeinar upplýsingar um umfang efnaákomu eins og nýlega hefur verið bent á (Gunnar Steinn Jónsson 2012). Á tímabilinu 1228–1500 mældist hraði setmyndunar í vatninu 0,26 mm á ári en á tímabilinu 1918–1983 var hann tæplega þrisvar meiri, eða 0,68 mm á ári (Hafliði Hafliðason o.fl. 1992). Frumorsök þessarar aukningar hefur verið eignuð loftborinni ákomu og rakin til minnkandi hæfni jarðvegs til jónaskipta og aukinnar útskolunar efna í kjölfar jarðvegseyðingar (Hafliði Hafliðason o.fl. 1992). Í gegnum tíðina hefur safnast fyrir á botni Þingvallavatns mikill forði af bæði nitri og fosfór. Hluti næringarefnanna er bundinn setinu varanlega, einkum sá hluti sem er á meira dýpi en u.þ.b. 30 m, sem svarar til um 52% af flatarmáli vatnsins. Fyrir ofan 30 m dýpi er hins vegar um rof að ræða og virka efnaflutninga (Hafliði Hafliðason o.fl. 1992). Undir lok áttunda áratugarins á síðustu öld var áætlað að nær 42 tonn af nitri væru árlega bundin varanlega í botnseti Þingvallavatns (Lastein 1983). Tímabært er að endurtaka mælingar á setmyndun í Þingvallavatni til að varpa ljósi á þátt uppblásturs í ákomu næringarefna á vatnið, en rúm 30 ár eru síðan setmælingar fóru þar fram síðast.

4.2.2 Önnur efni en nitur

Athygli vekur að kísill er eina efnið auk nítrats sem sýnt hefur marktæka styrksaukningu í írennslisvatninu milli 1975 og 2007–2011. Önnur efni í írennslinu mælast annað hvort í minni styrk en áður, þ.e. fosfór, súlfat, natrium og kalíum, eða þau sýna engin marktæk ummerki um breytingar, þ.e. klór, kalsíum og magnesíum. Þetta stemmir ekki vel við þá skýringu að loftslagshlýnun með tilheyrandi aukningu í veðrunarhraða og styrk uppleystra efna kunni að spila hér einhverja rullu. Ef svo væri ætti styrkur fleiri efna en nítrats og kísils að aukast. Sérstaklega á þetta við um fosfór og kísil sem eru af eindregnum landrænum toga og eiga uppruna sinn mestan part í veðrun bergs (Sigurður R. Gíslason 1993, Davíð Egilsson o.fl. 1999, Sigurður R. Gíslason og Eugster 1987). Hugsanlega er þáttur loftslagshlýnunar og landrænnar veðrunar að baki framangreindum efnabreytingum í Þingvallavatni lítilvægur og/eða minni en hinn loftborni þáttur, hvort sem hann er vegna mengunar eða uppblásturs.

Hafa verður í huga að styrkur efnanna í írennslisvatninu er einungis mældur í uppleystu formi þeirra, þ.e. þess hluta sem kemst í gegnum hárfínan síubúnað (0,45 μm gatatsræð árið 1975 og 0,2 μm árin 2007–11). Ekki hefur verið mældur heildarstyrkur viðkomandi efnis, þ.e.a.s. styrkur bæði uppleysts hluta efnisins og óuppleysts. Mælingarnar taka m.ö.o. ekki tillit til þess efnishluta sem kann að vera í sambandi við annað efni, t.d. vegna viðloðunar við bergagnir sé ögnin of stór til að komast í gegnum síubúnað mælitækisins. Mæliaðferðin kemur ekki að sök ef allt efnið er uppleyst, eins og búast má við að sé tilfellið með vatn í lindum og uppsprettum á borð við Silfru og Vellankötlu. Ef þetta er hins vegar ekki tilfellið og um það að ræða að töluverður hluti viðkomandi efnis er á óuppleystu formi þá hentar mæliaðferðin illa, a.m.k. að því leytnu til að hún varpar ekki ljósi á mismunandi uppruna í ákomu efnisins. Til dæmis endurspeglar mæling á uppleystum efnastyrk ekki vel ákomu efnis ef hún stafar af jarðvegseyðingu og uppblæstri og berst á vatnasvið með svifryki og fíngerðum ögnum.

Vandkvæði vegna þessa ráðast af ýmsum þáttum, þ.á m. efninu sem um er að ræða. Fosfór er sennilega sérstaklega viðkvæmur í þessu samhengi þar sem hann er hvarfgjarn og binst öðrum efnum oft föstum böndum.

Tiltölulega hár heildarstyrkur fosfórs jafnt í írennslinu sem og í vatninu sjálfu kemur ekki á óvart og má rekja til náttúrulegs, landræns uppruna efnisins, þ.e. til hinna ungu hrauna á vatnasviðinu. Slíkar bergmyndanir hér á landi einkennast m.a. af miklum uppleysanleika og ríkulegu magni fosfórs í vatnslausn (Sigurður R. Gíslason 1993, Davíð Egilsson o.fl. 1999). Á hinn bóginn vekur athygli að fosfórstyrkur í Silfru og Vellankötlum er minni nú en fyrir 30–40 árum. Hér ber að hafa í huga að fjöldi mælinga, hvort sem er í írennslinu eða úti á vatninu, er fremur lítill og varðandi vatnsbolinn bundnar að mestu við sumarið. Til að varpa skýrara ljósi á ástand vatnsins m.t.t. næringarefna er æskilegt að bæta efnagreiningum við vöktunarverkefnið bæði snemma árs og síðla.

Ekki er útilokað að mismunur í sýnatöku og mæliaðferðum geti skýrt að einhverju leyti breytingar í efnastyrk milli áranna 1975 og 2007–11. Annars vegar er um ræða grófari gatastærð í síubúnaði árið 1975, þ.e. 0,45 μm í stað 0,20 μm , og hins vegar voru vatnssýni í Vellankötlum tekin skammt utan við fjörumörkin úti í Þingvallavatni árið 1975, en árin 2007–11 voru þau tekin á 2 m dýpi í gjá skammt innan við fjöruna. Grófari gatastærð í síubúnaði kann að hafa í för með sér að styrkur uppleystra efna mælist meiri en ella, en það á þó líklega fyrst og fremst við ef töluverður hluti efnisins er ásogaður eða bundinn fastur ögnunum sem smjúga göt síubúnaðarins. Þar sem vatnið í Flosagjá/Silfru og Vellankötlum/Vatnsviki er að megninu til sprottið úr grunnvatnsgeyminum í hrauninu á vatnasviðinu er ekki við öðru að búast en að vatnið sé að mestu laust við agnir. Því er talið ólíklegt að umræddur munur í gatastærð síubúnaðar hafa haft áhrif á niðurstöðurnar til lækkunar á uppleystum styrk efna. Ef munur er til staðar væri það helst gagnavart fosfóri vegna hvarfgirni hans og tilhneigingar til að ásogast öðrum efnum og/eða ögnum.

Varðandi staðsetningu á sýnum í Vellankötlum árið 1975 er hugsanlegt að gætt hafi blöndunaráhrifa frá Þingvallavatni sem reikna má með að hafi haft í för með sér styrkslækkun efna almennt. Það sem einkum stríðir á móti þessu er annars vegar að styrkur efna í Flosagjá/Silfru sýnir sömu tilheingingar til styrkslækkunar eða hækkunar eins og á við um Vellankötlum/Vatnsvik. Hins vegar er styrkur nítrats og kísils lægri árið 1975 en 2007–11 og styrkur klórs, kalsíums og magnesíums er hinn sami. Þar við bætist að uppsprettustrumur Vellankötlum þar sem sýni voru tekin árið 1975 er mjög sterkur og vellur þar og bullar vatn upp þrátt fyrir að lindin sé vatnsmegin og utan við fjöruna.

Jafn hár styrkur króms og mældist í írennslinu kemur nokkuð á óvart og er óútskýrður (Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012).

4.2.3 Stöðugleiki

Eitt af því sem er einkennandi fyrir margar breyturnar sem fylgst hefur verið með í írennslisvatninu er hve stöðugur styrkur efnanna almennt er og breytileiki tiltölulega lítill á vöktunartímabilinu (Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012). Stöðugleikann má fyrst og fremst rekja til jarðfræðilegrar gerðar berggrunnins á

vatnasviðinu, sem er víðfeðmt, um 1.300 km², og að miklu leyti þakið ungum, gropnum hraunum. Helsta undantekningin frá þessu er nitur (Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012) og kann óstöðugleiki þess að stafa af loftbornum uppruna efnisins.

Hvað varðar stöðugleika efnastyrks í írennsli Þingvallavatns ber að huga að því að aðeins sex mælingar liggja að baki niðurstöðum á hvorum mælistað í Silfru og Vellankötlum. Til að ganga úr skugga um árstíðabreytileika í eðlis- og efnaþáttum í írennslisvatninu, sem er mjög brýnt einkum m.t.t. næringarefna, er full þörf á að fjölga mælingum.

4.3 Lífríkið

4.3.1 Breytingar í þörungasvifinu

Breytingarnar í efna- og eðlisþáttum Þingvallavatns, einkum er varðar hlýnun og aukningu í styrk nitrats, virðast hafa leitt af sér merkjanlegar breytingar á lífríki vatnsins sem felast í aukinni frumframleiðslu þörungasvifsins. Frumframleiðsla þörungaflórunnar í vatninu er einkum takmörkuð af framboði niturs (Hákon Aðalsteinsson o. fl. 1992, Hákon Aðalsteinsson og Pétur M. Jónasson 2002, 2011, Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012) og þar sem styrkur næringarefna er almennt í lægri kantinum í Þingvallavatni þá leiðir jafnvel smávægileg aukning í niturákomu til vaxtaraukningar meðal þörunganna. Magn þörunga í svifinu nú hin síðari ár virðist vera meira allt árið um kring en það mældist á áttunda og níunda áratug síðustu aldar, og sér í lagi virðist aukningin vera mikil að hausti til. Aukningin um haustið lýsir sér einnig í því að vaxtartímabilið hefur lengst og virðist nú ná mun lengra fram í byrjun vetrar en það gerði áður fyrr. Aukningin í þörungamagninu milli tímabilanna tveggja er á bilinu tvö- til ríflega fjórföld og mest um haustið, en hafa ber í huga að aðeins fjögur sýni liggja að baki haustmælingunum frá fyrra tímabilinu (sjá bls. 32). Þessi aukning leiðir til þess að vatnið fellur nú að jafnaði í ástandsflokk B (umhverfismarkaflokk II) skv. reglugerð nr. 796/1999.

Þrátt fyrir breytingar í heildarmagni þörungasvifs er ekki að sjá að breytingar hafi átt sér stað í þörungaflórunni m.t.t. tegundasamsetningar á undangengnum áratugum. Líkt og nú í upphafi 21. aldar voru kísilþörungar ráðandi þörungahópur um miðjan áttunda áratug síðustu aldar. Í mælingum sem stóðu frá ágúst 1974 til ágúst 1975 mældist hlutdeild kísilþörunga af heildarlífþyngd svifþörunga yfirleitt meiri en 95% og aðeins um tveggja mánaða skeið, yfir hásumarið, var hún minni (Pétur M. Jónasson o.fl. 1992).

Á áttunda áratug síðustu aldar voru sömu tegundir ráðandi í svifþörungaflórunni og nú (Gunnar S. Jónsson 1977, Pétur M. Jónasson o.fl. 1992, Pétur M. Jónasson og Hákon Aðalsteinsson 2002, 2011). Á tímabilinu 1974–75 var samanlögð hlutdeild tegunda af ættkvísl sáldeskja (*Aulacoseira islandica* f. *curvata* og *A. italica*) af heildarlífþyngd svifþörunga á 5 m dýpi á Miðfellsdjúpi aldrei undir 66% og jafnan meiri en 90% (Gunnar S. Jónsson 1977, Pétur M. Jónasson o.fl. 1992). Á tímabilinu 2008–10 gildi svipað um lífþyngdarhlutdeild tegundanna af þessari ættkvísl. Þannig var hlutdeildin á 5 m dýpi á stöð V2 iðulega meiri en 90% nema um hásumar þegar hún féll niður í allt að 15% eins og gerðist sumarið 2009 (Hilmar J. Malmquist o.fl. 2010b).

Elstu gögn um svifþörunga í Þingvallavatni eru tæplega 110 ára og byggja á rannsókn dönsku vatnalíffræðinganna C.E.H. Ostenfeld og C.J. Wesenberg-Lund á árunum 1902 og 1903 (Ostenfeld og Wesenberg-Lund 1906). Þeir félagar fengu Bjarna Sæmundsson fiskifræðing og Símon Pétursson í Vatnskoti til liðs við sig og safnaði Símon svifþörunga- og svifdýrasýnum með netháfum á u.þ.b. hálfmánaðar fresti frá miðjum júlí 1902 til loka júní 1903. Svifþörungasýnin voru tekin með Müllers netháfi nr. 20 með 53 µm möskvastærð og var aðallega safnað sýnum í yfirborði en einnig á nokkru dýpi um sumarið. Ekki er ljóst hvar í vatninu sýnin voru tekin en líklega hefur það verið undan Vatnskoti við vatnið norðanvert. Líkt og nú og á áttunda áratug síðustu aldar voru sáldejkjategundir (*Aulacoseira islandica* og *A. italica*) ásamt stjarneskinu *Asterionella formosa* ríkjandi þörungategundir í svifvist vatnsins í upphafi 20. aldar (sbr. töflu bls. 1154–1155, Ostenfeld og Wesenber-Lund 1906). Þessar niðurstöður benda til þess að ekki hafi átt sér stað markverðar breytingar í hlutdeild ráðandi svifþörungategunda í vatninu á umliðinni öld.

Þær tegundir sem mest eru áberandi í Þingvallavatni, þ.e. sáldeskin ásamt stjarneskinu, eru vel kunnar í öðrum djúpum og tiltölulega næringarefnasnaudum stöðuvötnum á landinu (Karst-Riddoch o.fl. 2009, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2010b). Jafnan eru þessar tegundir taldar endurspegla hreinleika og mikil vatnsgæði (Hall o.fl. 1997, Karst-Riddoch o.fl. 2009, Hilmar J. Malmquist o.fl. 2010a). Ekki er að sjá að blágrænugerlar eða smávaxnar næringarefnaelskar kísilþörungategundir á borð við *Stephanodiscus* tegundir og *Fragillaria crotonensis* hafi vaxið ásmegin á undanegnum 3–4 áratugum og er það til marks um að vatnsgæði Þingvallavatns eru enn með skikkanlegu móti þótt blikur séu á lofti.

4.3.2 Áhrif þverrandi rýni

Minna rýni (sjóndýpi) í Þingvallavatni að sumri og hausti til nú hin síðari ár stafar af vaxtaraukningu þörungasvifsins sem leiðir til þess að birta sólar nær skemur niður í vatnið. Minnkandi rýni veldur því að neðri mörk frumframleiðslu flytjast upp á grynna vatn. Þetta getur haft í för með sér að búsvæði botngróðurs á strandgrunninu dregst saman. Fyrir Þingvallavatn getur þetta haft umtalsverðar afleiðingar fyrir lífríkið.

Á strandgrunni Þingvallavatns vaxa á leirbotni umhverfis nær allt vatnið breiður af kransþörungnum tjarnarnál (*Nitella opaca*) á 8–22 m dýpi (Kairesalo o.fl. 1992, Gunnar Steinn Jónsson o.fl. 2002, 2011). Tjarnarnálin er stærst allra þörunga í vatninu, verður allt að rúmur metri á hæð og myndar víða umfangsmiklar, þéttar breiður. Í vistfræðilegu tilliti er kransþörungabeltið þýðingarmikið fyrir vatnið í heild. Tjarnarnálin skiptir miklu máli fyrir frumframleiðslu og nýmyndun efnis í vatninu, ekki aðeins sem tegund út af fyrir sig heldur einnig vegna þess að hún þjónar sem búsvæði fyrir ljóstillífandi þörungaásætur. Jafnframt er kransþörungabeltið mjög mikilvægt búsvæði fyrir ýmsar tegundir af hryggleysingjum, einkum fyrir fáburstunga (*Oligochaeta*), t.d. rórana (*Tubifex tubifex*), og rykmý (*Chironomidae*) og þá sér ílagi fyrir stóru toppfluguna (*Chironomus islandicus*) sem er ein af örfáum einlendum dýrategundum á Íslandi. Þá er kransþörungabeltið aðalbúsvæði hornsíla (*Gasterosteus aculeatus*) í Þingvallavatni, en þrátt fyrir smæð sína skipta þau miklu máli fyrir vistfræði vatnsins. Hornsílið er algengasta fisktegundin í vatninu, með stofnstærð metna á allt að 80 milljónir einstaklinga og um 50 tonna lífþyngd. Hornsílið er einnig aðalfæða sílableikjunnar, sem

á þróun og tilvist sína hornsílanum að þakka (Sigurður S. Snorrason o.fl. 1992, 2002, 2011a).

Kransþörungabeltið í Þingvallavatni er að líkindum eitt allra viðkvæmasta búsvæðið í vatninu fyrir röskun af völdum þverrandi rýnis. Ef beltið dregst verulega saman mun það hafa alvarlegar afleiðingar fyrir allt vistkerfið, jafnt orkuflutning milli fæðuþrepa sem og tilvist hornsíla og sílableikju. Full ástæða er til þess að beina sjónum sérstaklega að kransþörungabeltinu í vöktunarverkefninu, enda eru liðlega 20 ár síðan síðast var aflað gagna í vatninu um þennan þörung. Æskilegt er að ráðast m.a. í könnun á útbreiðslu tjarnarnálarinnar m.t.t. dýpis og velja til þess einn stað eða fleiri með hliðsjón af þeim sem rannsakaðir voru 1978 og 1987 (Kairesalo o.fl. 1992). Upplýsingar frá fyrri tíð um efri og neðri útbreiðslumörk tjarnarnálarinnar ásamt niðurstöðum um gróðurþekju og hæð plantnanna veita afar mikilvæga viðmiðun til að meta umfang líklegra breytinga.

4.3.3 Dýralífið

Ekki er að sjá að merkjanlegar breytingar hafi átt sér stað að undanfögnu í svifdýrafánu Þingvallavatns í tengslum við breytingar í þörung aflórunni og efna- og eðlisþáttum.

Allar krabbategundirnar sem greindar hafa verið í vöktunarverkefninu eru kunnar úr fyrri rannsóknum á dýrasvífi í vatninu. Á árabílinu 1974–1977 voru sömu tegundir greindar og nú og voru smádíli, augndíli og langhalaflo þrjár algengustu tegundirnar og var hlutdeild þeirra með svipuðu móti og nú (Úlfar Antonsson 1992). Athygli vekur hins vegar að hlutdeild ranaflóa var mun minni á áttunda áratug síðustu aldar, eða langt undir 1% miðað við 3–19% á vötkunartímabilinu.

Í rannsókn C.E.H. Ostensfeld og C.J. Wesenberg-Lund á árunum 1902 og 1903 voru langhalaflo, augndíli og smádíli einnig algengustu tegundirnar og reyndar þær einu sem fundust auk þrildýra (Ostensfeld og Wesenberg-Lund 1906). Þeir félagar notuðu svokallaðan Bosminaháf (Bosmina net. Griesgauze No. 60) sem að líkindum var með 50–60 µm möskvastærð. Samkvæmt grófri þéttleikaflokkun dönsku vatnalíffræðinganna virðist hlutdeild tegundanna þriggja hafa verið fremur jöfn (30–40%). Svifdýrasýnin voru tekin á um hálf mánaðar fresti frá miðjum júlí 1902 til loka júní 1903 og mest safnað í yfirborði en einnig á nokkru dýpi um sumarið. Sýnin voru sennilega tekin við vatnið norðanvert undan Vatnskoti. Framangreindar niðurstöður benda til þess að ekki hafi átt sér stað markverðar breytingar í hlutdeild ráðandi svifkrabbategunda í vatninu í rúma öld.

Breytileiki milli ára í stofnstærð og lífsöguþáttum murtu er vel þekkt fyrirbrigði (Sigurður S. Snorrason o.fl. 1992, 1994, 2002, 2011a). Murtuveiðarnar byggjast á því að veiða kynþroska murtu sem gengur á grunnið til hrygningar um mánaðamótin september–október. Eitt af því sem einkenndi murtustofninn lengst af á síðustu öld voru allreglulegar sveiflur í afla, þannig að 5–10 ár liðu jafnan milli lágmarka og hámarka. Enda þótt gera megja ráð fyrir náttúrulegum sveiflum í stofnstærð murtu þá virðist skýringanna á breytilegum aflabrögðum í murtuveiðinni fremur vera að leita í breytilegum vexti murtunnar og stærð. Niðurstöður murturannsókna sem staðið hafa yfir hvert ár síðan 1983 staðfesta m.a. að hrúnið sem varð í murtuveiðinni 1985–87 mátti

nær alfarið rekja til þess að stærð hrygningarfisks minnkaði snarlega. Annars vegar var ljóst að fullorðin murta, sem náð hafði um 18 cm lengd, þ.e. þeirri lágmarkslengd sem netmöskvar murtubænda fanga, drapst unnvörpum. Hins vegar var ljóst að vöxtur einstaklinga í árgöngunum sem urðu kynþroska á þessum árum, einkum árgangur 1981, var mun hægari en áður og jafnramt urðu murturnar kynþroska mun minni.

Kyrkingurinn sem kom í vöxt murtunnar árin 1985–87 og aftur á árunum 1988 og 1989 hefur verið tengdur við framboð á helstu fæðu murtunnar, hinum sviflægu krabbadýrum, halafló og augndíli. Atburðarrásin kann að vera sú að þegar klak murtu heppnast vel og nýliðun er óvenju góð, eins og virðist vera tilfellið með murtuárgangana frá 1978–81 og 1984–85, þá geti murtan í krafti óvenju mikils fjölda fiska haft áhrif á framboð lykilmæðu sinnar með því að ganga á stofna krabbadýranna (Sigurður S. Snorrason o.fl. 2002, 2011a).

Niðurstöður núverandi vöktunar á murtu benda til að meðallengd og meðalþyngd hafi farið vaxandi ef frá er talið fallið milli 2007 og 2008. Breytingarnar gætu annað hvort legið í vexti eða aldurssamsetningu, en úr því fæst ekki skorið fyrir en aldursgreining murtu fyrir árin 2009–2011 liggur fyrir. Upplýsingar um aldur og stærð frá árunum 2007 og 2008 sýna að úr vexti dró á milli þessara ára. Áður hafa verið leiddar líkur að því að tengsl séu á milli fæðuframboðs og afkomu murtustofnsins. Í því ljósi er vert að skoða niðurstöður þessarar vöktunar er varðar magn svifdýra, en árið 2007 virðist magn þeirra hafa verið töluvert minna en árin á eftir.

5. Niðurlag og ábendingar

Eitt helsta markmið vöktunarverkefnisins sem hér hefur verið fjallað um er að fylgjast með ástandi Þingvallavatns og skrásetja breytingar sem kunna að verða á lífríki og efna- og eðlisþáttum vatnsins vegna hugsanlegra álagsþátta af völdum manna og náttúru. Niðurstöður vöktunarinnar fyrstu fimm árin hafa sannað gildi verkefnisins og sýnt fram á mikilvægi langtímarannsókna.

Ein af mikilvægari forsendum fyrir notagildi verkefnisins var lögð með ítarlegum grunnrannsóknum á vistkerfi vatnsins undir stjórn Péturs M. Jónassonar á áttunda og níunda áratug síðustu aldar. Þær rannsóknir veita grundvallarviðmið til að vega og meta seinni tíma breytingar í umhverfis- og lífríkisþáttum vatnsins.

Megintilgangur vöktunarinnar er samkvæmt samningi milli aðstandenda verkefnisins að stuðla að verndun á vistkerfi vatnsins. Verndargildi Þingvallavatns er mjög mikið bæði á landsvísu og í hnattrænu samhengi. Vatnið er margrómað fyrir tærleika sinn og bláma, það er fengsælt af fiski og frægt m.a. fyrir bæði tilvist tveggja einlendra tegunda grunnvatnsmarflóa og þróunar á bleikjuafbrigðunum fjórum sem hvergi eiga sinn líka í öðru stöðuvatni.

Til verndar vatninu og lífríki þess gilda ákvæði í lögum nr. 47/2004 um þjóðgarðinn á Þingvöllum ásamt tilheyrandi reglugerð nr. 848/2005. Ennfremur gilda ákvæði í lögum nr. 85/2005 um verndun vatnasviðs Þingvallavatns ásamt tilheyrandi reglugerð nr. 650/2006. Verndarákvæði í þessum lögum og reglugerðum hafa gagnert verið sett með skírskotun til verndargildis og vistfræðilegrar sérstöðu vatnsins. Einnig eiga við um allt vatnið og vatnasvið þess ýmis verndarákvæði og tilmæli í tengslum við samþykkt Þingvalla á heimsminjaskrá Menningarmálastofnunar Sameinuðu þjóðanna (UNESCO 2004, UNESCO 2012). Ýmis önnur lög snerta verndun Þingvallavatns með óbeinum hætti. Þar á meðal lög nr. 44/1999 um náttúruvernd, einkanlega b-liður 37. gr. og lög nr. 36/2011 um stjórn vatnamála ásamt tilheyrandi reglugerð nr. 935/2011.

- Í reglugerð nr. 650/2006 um framkvæmd verndunar vatnasviðs og lífríkis Þingvallavatns segir í 19. gr. að „Umhverfisstofnun fer með vöktun vatnsgæða skv. lögum um hollustuhætti og mengunarvarnir. Leiði eftirlit eða vöktun í ljós að ástand vatns á verndarsvæðinu eða lífríki Þingvallavatns fari hrakandi skal heilbrigðisnefnd Suðurlands grípa til aðgerða sem miða að því að viðhalda vatnsgæðum.“ Í 20. gr. sömu laga er að finna efnislýsingar á aðgerðum sem grípa skal til ef með þarf til að vernda viðkomandi vatn.

Meginniðurstaða vöktunarinnar hvað varðar vatnsgæði eins og þau eru skilgreind skv. reglugerð nr. 796/1999 er að ástand Þingvallavatns er eins og best verður á kosið m.t.t. sjö mælibreyta af tíu. Þrjár mælibreytur, þ.e. magn blaðgrænu-a, styrkur heildarfosfórs og króms, hafi verið yfir viðmiðunarmörkum fyrir ástandsflokk A, besta ástandsflokkinn. Á árunum 2007–11 féllu allt að 60% mæligilda á blaðgrænu-a í vatnsbol Þingvallavatns í ástandsflokk B (2–5 µg/l) á ársgrunni og allt að 20% í ástandsflokk C (5–10 µg/l). Styrkur heildafosfórs í írennslinu við Silfru og Vellankötlum

og í vatnsbolnum mældist í öllum tilfellum á mörkum ástandsflokks B (10–30 µg P/l) og C (31–50 µg P/l). Styrkur króms í írennslinu mældist í öll skipti innan marka ástandsflokks B (0,3–5,0 µg Cr/l).

Jafn hár styrkur króms og að framan greinir kemur á óvart og er óútskýrður. Tiltölulega hár styrkur heildarfosfórs kemur hins vegar ekki á óvart og virðist einkum mega rekja til náttúrulegs, landræns uppruna efnisins, þ.e. til hinna ungu hrauna á vatnasviðinu, en slíkar bergmyndanir á Íslandi einkennast m.a. af miklum uppleysanleika og ríkulegu magni fosfórs í vatnslausn (Davíð Egilsson o. fl. 1999, Sigurður R. Gíslason 1993, Sigurður R. Gíslason og Eugster 1987). Athygli vekur að magn fosfórs í írennslinu með Silfru og Vellankötlum er minna nú en það var fyrir 30–40 árum.

- Æskilegt er að mæla heildarstyrk bæði á uppleystum og óuppleystum hluta næringarefna í því skyni m.a. að átta sig betur á uppruna í ákomu efnanna.

Önnur meginniðurstaða vöktunarinnar er að marktækar breytingar hafa átt sér stað í lífríki og efna- og eðlisþáttum Þingvallavatns undanfarna áratugi. Þingvallavatn hefur hlýnað, styrkur uppleysts nítrats í írennslinu aukist, magn þörungasvifs (blaðgrænu-a) í vatnsbolnum aukist og rýni vatnsins minnkað í kjölfarið. Orsakasamhengi er á milli þessara breytinga og eru þær raktar bæði til hnattrænna og staðbundinna þátta.

Hlýnun Þingvallavatns er umtalsverð og hlýnunarferillinn sem nær yfir tímabilið 1962–2011 fellur vel að þróun ársmeðalhita á Íslandi í kjölfar loftslagshlýnunar. Vatnið hefur hlýnað flesta mánuði, mest þó í júní–ágúst eða um 1,23–1,52°C að meðaltali í mánuði. Vegna hlýnunar leggur Þingvallavatn nú orðið sjaldnar en það gerði áður fyrr. Samhliða hlýnuninni virðast hitaskil í vatninu með tilheyrandi lagskiptingu hafa eflst. Allskörp hitaskil geta myndast tímabundið í vatninu á 15–25 m dýpi þar sem vatnshitinn í millilagini fellur um nær 1°C/m. Mismunur í vatnshita milli yfirborðslags og undirlags getur numið allt að 4°C að meðaltali.

- Mikilvægt er að halda áfram mælingum á vatnshita með síritum úti í vatnsbolnum vegna áhrifa hitaskila á ýmsa efna- og eðlisþætti svo og frumframleiðslu þörungasvifs.
- Mikilvægt er að koma á formlegri skráningu á ísalögnum og ísabrotum í Þingvallavatni á vegum aðstandenda vöktunarinnar.
- Ástæða er til að fylgjast betur með hitamengun en gert hefur verið við sunnanvert Þingvallavatn í tengslum við affallsvatn frá Nesjavallavirkjun. Vatnshiti vegna hitamengunar er sums staðar 25–30°C umfram náttúrulegan vatnshita.
- Ástæða er til að ganga úr skugga um gildi vatnshitamælinga Landsvirkjunar við stíflugarð Steingrímsstöðvar í tengslum við hitaskil úti í vatnsbol Þingvallavatns.

Aukningin í styrk uppleysts nítrats í írennslinu er umtalsverð, eða um 60%, og er rakin m.a. til loftborinnar ákomu niturs sem lítur út fyrir að hafa aukist verulega á vatnasviðinu, eða allt að því tvöfaldast á umliðnum 3–4 áratugum. Árleg heildarákoma

niturs á vatnasviðinu nú hin síðari ár hefur verið metin á um 710 tonn en þar af eru um 25% rakin til loftborinnar mengunar af manna völdum, bæði erlendar og innlendar.

- Töluverð óvissa ríkir um uppruna ákomu niturs og fleiri efna á vatnasviði Þingvallavatns. Tímabært er að endurtaka mælingar á setmyndun í Þingvallavatni til að varpa ljósi á þátt uppblásturs í ákomu næringarefna á vatnið. Rúm 30 ár eru síðan setmælingar fóru þar fram síðast.
- Mjög æskilegt er að ganga úr skugga um hugsanlegan árstíðabreytileika í eðlis- og efnaþáttum í írennslisvatninu, einkum m.t.t. næringarefna, með tíðari mælingum en gert hefur verið. Aðeins sex mælingar liggja að baki niðurstöðum á efna- og eðlisþáttum í Silfru og Vellankötlum á tímabilinu 2007–11.

Aukningin í magni þörungasvifs frá miðjum áttunda áratugnum og fram á fyrsta áratug þessara aldar er mikil, eða á bilinu tvö- til fjórföld. Vaxtaraukningin er rakin til aukningar á framboði niturs, sem er auk fosfórs annað af tveimur næringarefnum sem frumframleiðendur þarfnast helst. Þar sem frumframleiðsla þörungasvifs í Þingvallavatni er takmörkuð af nitri og styrkur næringarefna í vatninu almennt í lægri kantinum getur jafnvel lítil aukning í niturákomu leitt til merkjanlegrar vaxtaraukningar meðal þörunganna.

Þrátt fyrir breytingar í magni þörungasvifs er ekki að sjá að tegundasamsetning þörungaflórunnar hafi breyst sem heitið getur. Ríkjandi tegundir nú, rétt eins og fyrir um 110 árum þegar danskir vatnalíffræðingar stóðu að rannsóknum í Þingvallavatni, eru stórvaxnir kísilþörungar á borð við sáldeskin *Aulacoseira islandica* f. *curvata*, *A. islandica* og *A. italica*. Ekki er heldur að sjá að dýrasvif eða murta hafi tekið miklum breytingum. Murta er þekkt fyrir tiltölulega reglulegar sveiflur og breytingar í stofnstærð og lífsöguþáttum sem virðast fremur tengjast náttúrulegum breytingum í fæðuskilyrðum en breytingum í umhverfinu af völdum manna.

Minnkandi rýni (sjóndýpi) í Þingvallavatni stafar af vaxtaraukningu þörungasvifsins sem leiðir til þess að birta sólar nær skemur niður í vatnið. Minnkandi rýni veldur því að neðri mörk frumframleiðslu flytjast upp á grynna vatn og í kjölfarið má búast við samdrætti í frumframleiðslu. Þetta á bæði við um sviflæga þörunga í vatnsbolnum og botngróður á strandgrunninu. Eitt allra viðkvæmasta búsvæðið í Þingvallavatni gagnvart minnkandi rýni er að líkindum kransþörungabeltið, sem er á 8–22 m dýpi á strandgrunninu umhverfis nær allt vatnið. Þetta gróðurbelti skiptir miklu máli fyrir orkuflutninga milli fæðuþrepa í vatninu og jafnframt er það lykilbúsvæði fyrir hornsílastofninn sem telur flesta einstaklinga meðal fisktegunda í vatninu, eða um 50 milljónir einstaklinga. Hornsílin standa enn fremur undir stofni sílableikjunnar, eins af fjórum bleikjuafbrigðum vatnsins.

- Æskilegt er að ráðast í könnun á útbreiðslu tjarnarnálarinnar (*Nitella opaca*) m.t.t. dýpis og velja til þess einn stað eða fleiri með hliðsjón af stöðunum sem rannsakaðir voru á árunum 1978 og 1987. Upplýsingar frá fyrri tíð um efri og neðri útbreiðslumörk tjarnarnálarinnar ásamt niðurstöðum um gróðurþekju og hæð plantnanna veita afar mikilvægt viðmið til að meta umfang breytinga í kjölfar minnkandi rýnis.

6. Heimildir

Alonso, M. 1996. Crustacea, Branchiopoda. Fauna Ibérica 7. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid. 486 bls.

Árni Snorrason 2011. Hydrology of the Thingvallavatn catchment area. Bls. 114–123. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Árni B. Stefánsson 2012. Bréf til Náttúrufræðistofu Kópavogs dagsett 17.11.2012 með upplýsingum um ísalagnir og ísabrot á tímabilinu 1991–2012, skv. dag- og gestabók í sumarhúsi í Grjótnesi í landi Kárastaða, Bláskógabyggð. 3 bls.

Benzie, J.A.H. 2005. Cladocera: The genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*) (Anomopoda: Daphniidae). Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world 21. Backhuys Publishers, Leiden. 376 bls.

Bjarni K. Kristjánsson & Jörundur Svavarsson 2007. Grunnvatnsmarflær á Íslandi. Náttúrufræðingurinn 76: 22–28.

Blenckner, T., R. Adrian, D.M. Livingstone, E. Jennings, G.A. Weyhenmeyer, D.G. George, T. Jankowski, M. Järvinen, C.N. Aonghusa, T. Noges, D. Straile & K. Teubner 2007. Large-scale climatic signatures in lakes across Europe: A meta-analysis. Global Change Biology 13: 1314–1326.

Davíð Egilsson, Elísabet D. Ólafsdóttir, Eva Ingvadóttir, Helga Halldórsdóttir, Flosi Hrafn Sigurðsson, Gunnar Steinn Jónsson, Helgi Jensson, Karl Gunnarsson, Sigurður A. Þráinsson, Andri Stefánsson, Hallgrímur Daði Indriðason, Hreinn Hjartarson, Jóhanna Thorlacius, Kristín Ólafsdóttir, Sigurður R. Gíslason & Jörundur Svavarsson 1999. Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland. Niðurstöður vöktunarmælinga. Starfshópur um mengunarmælingar. Umhverfissráðuneytið, Reykjavík. 138 bls.

Einar Sveinbjörnsson 2009. Vetraris á Þingvallavatni. Gagnlegur veðurfarsmælir. Náttúrufræðingurinn 78: 66–76.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Árni Sigurðsson 2011. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008–2011. Jarðvísindastofnun Háskólans. RH-19-2011. 37 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2008. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-09-2008. 15 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2009. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2008. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-07-2009. 20 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2010. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2009. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-23-2010. 26 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2011. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2010. Jarðvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-07-2011. 28 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2012. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007–2011. Jarðvísindastofnun Háskólans, Reykjavík. RH-04-2012. 32 bls.

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

Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson 2011. Groundwater inflow. Bls. 124–139. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Gunnar Steinn Jónsson 1977. Plöntusvif í Þingvallavatni 1974–1975. 4. árs rannsóknarverkefni við Háskóla Íslands. 26 bls.

Gunnar Steinn Jónsson 2012. Þingvallavatn. Ákoma og afrennsli köfnunarefnis. Umhverfisstofnun, Reykjavík. 16 bls.

Gunnar Steinn Jónsson, Karl Gunnarsson & Pétur M. Jónasson 2002. Gróður og dýralíf á botni. Bls. 159–176. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík.

Gunnar Steinn Jónsson, Karl Gunnarsson & Pétur M. Jónasson 2011. Life on the lake bottom. Bls. 163–179. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Hafliði Hafliðason, Guðrún Larsen & Gunnar Ólafsson 1992. The recent sedimentation history of Thingvallavatn, Iceland. Oikos 64: 80–95.

Hall, R.I., P.R. Leavitt, J.P. Smol & N. Zirnhefts 1997. Comparison of diatoms, fossil pigments and historical records as measures of lake eutrophication. Freshwater Biology 38: 401–417.

Halldór Björnsson 2008. Gróðurhúsaáhrif og loftslagsbreytingar. Umhverfisrit Bókmenntafélagsins (ritstj. Trausti Jónsson). Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík. 155 bls.

Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson, Gísli Viggósson, Jóhann Sigurjónsson, Snorri Baldursson, Sólveig Þorvaldsdóttir & Trausti Jónsson 2008. Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi. Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. Umhverfisráðuneytið, Reykjavík. 118 bls.

Hákon Aðalsteinsson & Pétur M. Jónasson 2002. Svifið og forsendur lífs í vatnsbolnum. Bls. 146–158. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík.

Hákon Aðalsteinsson & Pétur M. Jónasson 2011. Plankton and conditions for life in the lake. Bls. 150–162. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson & Sigurjón Rist 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. Oikos 64: 121–135.

Heimsmínjanefnd Íslands 2003. Umsókn/tilnefning um skráningu þjóðgarðsins á Þingvöllum á heimsmínjaskrá Sameinuðu þjóðanna (e. Signature on behalf of the state party. Application for inclusion in the World Heritage List, Þingvellir National Park). Þjóðgarðurinn á Þingvöllum. 83 bls.

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason & Stefán Már Stefánsson 2008. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2007. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Fjölrit nr. 2-08. 38 bls. (English summary).

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason & Stefán Már Stefánsson 2009a. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2008. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Fjölrit nr. 2-09. 35 bls. (English summary).

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason & Stefán Már Stefánsson 2010b. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2009. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Fjölrit nr. 1-10. 39 bls. (English summary).

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason & Stefán M. Stefánsson 2010c. Climate change and its effects on lakes in SW-Iceland. Bls. 34–35. Í: Proceedings of the 14th international workshop on physical processes in natural waters (ritstj. Hrund Ólöf Andradóttir). Háskóli Ísland, Reykjavík.

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason & Stefán Már Stefánsson 2011a. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2010. Verkbáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Fjölrit nr. 1–11. 43 bls. (English summary).

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason & Stefán Már Stefánsson 2012. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2011. Verkbáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Fjölrit nr. 2-2012. 29 bls. (English summary).

Hilmar J. Malmquist, Haraldur R. Ingvason, Finnur Ingimarsson & Stefán M. Stefánsson 2011b. Vöktun stöðuvatna á höfuðborgarsvæðinu. Bls. 23. Í: Ráðstefnuritinu Umhverfismengun á Íslandi. Vöktun og rannsóknir. Matís, Umhverfisstofnun, Háskóli Íslands, Reykjavík.

Hilmar J. Malmquist, T.L. Karst-Riddoch & J.P. Smol 2010a. Kísilþörungaflóra íslenskra stöðuvatna. Náttúrufræðingurinn 80: 41–57.

Hilmar J. Malmquist, Þórólfur Antonsson, Haraldur R. Ingvason, Finnur Ingimarsson & Friðbjófur Árnason 2009b. Salmonid fish and warming of shallow Lake Elliðavatn in Southwest Iceland. Verh. Internat. Verein. Limnol. 30: 1127–1132.

Ingi Rúnar Jónsson & Guðni Guðbergsson 2009. Bergmálmælingar á murtu í Þingvallavatni haustið 2008. Áfangaskýrsla I. Veiðimálastofnun, Reykjavík. VMST/09046. 18 bls.

Ingi Rúnar Jónsson, Guðni Guðbergsson & Finnur Ingimarsson 2009. Aldursgreining og bakreikningar vaxtar murtu úr Þingvallavatni 2006, 2007 og 2008. Áfangaskýrsla I. Veiðimálastofnun, Reykjavík. VMST/09033. 13 bls.

Ingvi Þorsteinsson & Ólafur Arnalds 1992. The vegetation and soils of the Thingvallavatn area. Oikos 64: 105–116.

Jeppesen, E., M. Meerhoff, K. Holmgren, I. González-Bergonzoni, F. Teixeira-de Mello, S.A.J. Declerck, L. De Meester, M. Søndergaard, T.L. Lauridsen, R. Bjerring, J.M. Conde-Porcuna, N. Mazzeo, C. Iglesias, M. Reizenstein, H.J. Malmquist, Z. Liu, D. Balayla & X. Lazzaro 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. Hydrobiologia 646: 73–90.

Jeppesen, E., T. Mehner, I.J. Winfield, K. Kangur, J. Sarvala, D. Gerdeaux, M. Rask, H.J. Malmquist, K. Holmgren, P. Volta, S. Romo, R. Eckmann, A. Sandström, S. Blanco, A. Kangur, H.R. Stabo, M. Tarvainen, A.-M. Ventelä, M. Søndergaard, T.L. Lauridsen & M. Meerhoff 2012. Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. Hydrobiologia 694: 1–39.

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

Kairesalo, T., Gunnar St. Jónsson, Karl Gunnarsson, C. Lindegaard & Pétur M. Jónasson 1992. Metabolism and community dynamics within *Nitella opaca* (Charophyceae) beds in Thingvallavatn. Oikos 64: 241–256.

Karst-Riddoch, T.L., Hilmar J. Malmquist & J.P. Smol 2009. Relationships between freshwater sedimentary diatoms and environmental variables in Subarctic Icelandic lakes. Fundamental and Applied Limnology (Archiv für Hydrobiologie). 175: 1–28.

Kernan, M., R. Battarbee & B. Moss (ritstj.) 2010. Climate change impacts on freshwater ecosystems. Wiley-Blackwell, Oxford. 328 bls.

Kornobis, E., Snæbjörn Pálsson, Bjarni K. Kristjánsson & Jörundur Svavarsson 2010. Molecular evidence of the survival of subterranean amphipods (Arthropoda) during Ice Age underneath glaciers in Iceland. *Molecular Ecology* 19: 2516–2530.

Landsvirkjun 2012. Vatnamælingakerfi Landsvirkjunar (Laufey B. Hannesdóttir). Tvær gagnaskrár (*Steingrímsstöð v-inntak Tw.xlsx* (220 KB) og *Þingvallavatn Tw.xlsx* (63 KB)) afhentar Náttúrufræðistofu Kópavogs 5. júní 2012.

Lastein, E. 1983. Decomposition and sedimentation processes in oligotrophic, subarctic Lake Thingvalla, Iceland. *Oikos* 40: 103–112.

Moss, B. 1998. Ecology of fresh waters. Man and medium, past to future. 3. útgáfa. Blackwell Publishing, Oxford. 557 bls.

Ostenfeld, C.E.H. & C.J. Wesenberg-Lund 1906. A regular fortnightly exploration of the plankton of the two Icelandic lakes, Thingvallavatn and Myvatn. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 25: 1092–1167.

Pétur M. Jónasson (ritstj.) 1992. Thingvallavatn. Ecology of oligotrophic, subarctic Thingvallavatn. *Oikos* 64. 437 bls.

Pétur M. Jónasson 2011. Keeping Lake Thingvallavatn clear and blue. Bls. 284–291. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Pétur M. Jónasson, Hákon Aðalsteinsson & Gunnar St. Jónsson 1992. Production and nutrient supply of phytoplankton in subarctic, dimictic Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64: 162–187.

Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson (ritstj.) 2002. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík. 303 bls.

Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson (ritstj.) 2011. Thingvallavatn. A unique world evolving. Bókaútgáfan Opna, Reykjavík. 326 bls.

Samkomulag 2007. Samkomulag Umhverfisstofnunar, Þjóðgarðsins á Þingvöllum, Orkuveitu Reykjavíkur og Landsvirkjunar að samstarfi um vöktun á lífríki Þingvallavatns. Undirritað 2. apríl 2007. 4 bls.

Samstarfssamningur 2007. Samstarfssamningur milli Umhverfisstofnunar, Landsvirkjunar, Orkuveitu Reykjavíkur og Þjóðgarðsins á Þingvöllum um vöktun á lífríki Þingvallavatns árið 2007. Undirritaður 2. apríl 2007. 2 bls.

Sigurður R. Gíslason 1993. Efnifræði úrkomu, jökla, árvatns, stöðuvatna og grunnvatns á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn* 63: 219–236.

Sigurður R. Gíslason & H. Eugster 1987. Meteoric water-basalt interactions. I. A laboratory study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51: 2827–2840.

Sigurður R. Gíslason, E.H. Oelkers, Eydís S. Eiríksdóttir, M.I. Kardjilov, Guðrún Gísladóttir, Bergur Sigfússon, Árni Snorrason, Sverrir Elefsen, Jórunn Harðardóttir, P. Torssander & Niels Óskarsson 2009. Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth and Planetary Science Letters* 277: 213–222.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, Hrefna B. Ingólfssdóttir, Þórey Ingimundardóttir & Jón S. Ólafsson 2011b. Effects of geothermal effluents on macrobenthic communities in a pristine sub-arctic lake. *Inland Waters* 1: 146–157.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, B. Jonsson, Pétur M. Jónasson, O.T. Sandlund & Skúli Skúlason 1994. Modifications in life history characteristics of planktivorous arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Thingvallavatn, Iceland. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 2108–2112.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist & Skúli Skúlason 2002. Bleikjan. Bls. 179–196. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og Menning, Reykjavík.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist & Skúli Skúlason 2011a. The Arctic charr. Bls. 182–199. Í: Thingvallavatn. A unique world evolving (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Bókaútgáfan Opna, Reykjavík.

Sigurður S. Snorrason, Pétur M. Jónasson, B. Jonsson, T. Lindem, Hilmar J. Malmquist, O.T. Sandlund & Skúli Skúlason 1992. Population dynamics of the planktivorous arctic charr *Salvelinus alpinus* (“murta”) in Thingvallavatn. Oikos 64: 352–364.

Sigurjón Rist & Guðmann Ólafsson 1986. Ísar Þingvallavatns. Náttúrufræðingurinn 56: 239–258.

Søndergaard, M. & Riemann, B. 1979. Ferskvandsbiologiske analysemetoder. Akademisk Forlag, Kaupmannahöfn. 227 bls.

Umhverfissráðuneytið 2011. Tentative list submission. Thingvellir National Park. Dagsett 31. janúar 2011. Umhverfissráðuneytið, Reykjavík. 5 bls.

UNESCO 2004. Thingvellir (Iceland). No. 1152. Evaluations of cultural properties. Prepared by the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). WHC-04/28COM/INF.14A: 90–96.

UNESCO 2012. Vefsíða: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5588/>. Skoðuð 29. október 2012.

Úlfar Antonsson 1992. The structure and function of zooplankton in Thingvallavatn, Iceland. Oikos 64: 188–221.

Veðurstofa Íslands 2011. Vefsíða: <http://www.vedur.is/vedur/vedurfar/manadayfirlit/2010>. Skoðuð 15. ágúst 2011.

Wetang'ula G.N. 2004. Assessment of geothermal wastewater disposal effects. Case studies: Nesjavellir (Iceland) and Olkaria (Kenya). Meistararitgerð, líffræðiskor Háskóla Íslands, Reykjavík. 76 bls.



Náttúrufræðistofa Kópavogs

Natural History Museum of Kópavogur

Hamraborg 6a • 200 Kópavogur

Sími 570 0430

www.natkop.is