



Icelandic Museum
of Natural History
Brynjólfsgata 5
IS-107 Reykjavík
S./Tel. 577 1800
nmsi@nmsi.is
www.nmsi.is

ÞINGVALLAVATN

Einstakt vistkerfi undir álagi

Dr. Hilmar J. Malmquist forstöðumaður

Undraheimur Þingvalla
Námskeið – Endurmenntun H.Í. – 29.09.2014

Ágrip

Fjallað verður um einkenni og sérstöðu Þingvallavatns jarð-, vatna- og líffræðilegu tilliti og greint frá ástandi vatnsins m.t.t. vatnsgæða og álagsþátta, einkum er varðar efnamengun og loftslagshlúnun. Byggt er að mestu á niðurstöðum í vöktunarverkefni sem hófst 2007 og Náttúrufræðistofa Kópavogs hefur haft verkstjórn með. Einnig er stuðst við niðurstöður eldri rannsókna sem sumar hverjar ná allt aftur til 1902. Rannsóknaniðurstöður sýna að umtalsverðar breytingar hafa átt sér stað í efna- og eðlisþáttum og lífríki vatnsins á undanförunum áratugum. Þingvallavatn hefur hlýnað í kjölfar loftslagshlúnunar, styrkur næringarefna í írennsli vatnsins norður í þjóðgarðinum lítur út fyrir að hafa aukist og þörungamagn úti í vatnsbolnum hefur vaxið og rýni minnkað. Þá gætir staðbundinnar hitamengunar við sunnanverða strönd vatnsins af völdum Nesjavallavirkjunar. Þrátt fyrir framangreindar breytingar og áhrif af mannavöldum er ástand Þingvallavatns enn mjög gott samkvæmt viðmiðum fyrir umhverfisbreytur í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns. Ef heldur fram sem horfir er hins vegar hætt við að margrómaður blámi og tærleiki Þingvallavatns muni rýrna með tilheyrandi breytingum og skakkaföllum fyrir lífríkið.

Efnistöð

Einkenni og sérkenni vistkerfisins

Jarð- og vatnafræðilegir þættir

Líffræðilegir þættir

Löggjöf og regluverk til verndar vistkerfinu

Helstu álagsþættir og aðsteðjandi vandi

Staðbundnir

Mengun vegna búsetu og umferðar

Mengun vegna Nesjavallavirkjunar

Hnattrænir

Loftslagshlúnun og hlúnun vatns

Loftborin, langt að komin efnamengun

Gögn

- 1885-1930 Arthur Feddersen, Bjarni Sæmundsson, Árni Friðriksson, Ostenfeld & Wesenberg-Lund
Almennar rannsóknir einkum á fiski en einnig smádyralífi og gróðri
- 1974-1992 **Pétur M. Jónasson o.fl.**
Umfangsmiklar, alhliða rannsóknir á vistkerfi vatnsins og vatnasviðinu
- 1989- Orkuveita Reykjavíkur o.fl.
Rannsóknir á þungmálum í seti, gróðri og dýrum.
Mælingar á 5 ára fresti, síðast 2012
Líffræðist.H.Í, Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Matís ohf., Náttúrufræðistofa Kópavogs
- 1992- Líffræðistofnun HÍ, Hólaskóli, Náttúrufræðistofa Kópavogs
Rannsóknir á bleikju og hornsíli – þróunarfræði
- 1997- Líffræðistofnun HÍ, Náttúrufræðistofa Kópavogs
Rannsóknir á áhrifum affallsvatns frá Nesjavallavirkjun
- 2007- Náttúrufræðistofa Kópavogs og Jarðvísindastofnun HÍ
Árleg vöktun á vatnsgæðum Þingvallavatns:
efna- og eðlisþættir, þörungar, dýrasvíf og murta
- Vöktunarverkefni** kostað af Orkuveitu Reykjavíkur, Landsvirkjun, Þjóðgarðinum á Þingvöllum, Umhverfisstofnun og umhverfisráðuneytinu

Meginmarkmið vöktunar

samstarfssamningur 2.4.2007

„Meta og kortleggja ástand og breytingar sem kunna að verða á lífríki og efna- og eðlisþáttum vegna hugsanlegra álagsþátta, jafnt af mannlegum sem náttúrulegum toga.“

Álagsþættir: Ofauðgun næringarefna
Mengunaróhöpp
Nýting vatns (ekki vatnsmiðlun)
Loftslagshlúnun

Breytur sem eru vaktaðar:

Efna – og eðlisþ: T, pH, súrefni, rafleiðni, rýni
Aðal- og snefilefni í írennsli, frárennsli og vatnsbol
Svifþörungur: Tegundir og magn (talning + blaðgræna-a)
Svifdýr: Krabbadýr og Hjóldýr
Fiskur: Murta
+ Ný gögn: Vatnshiti við Steingrímsstöð 1962–2011
Ísalagnir og ísabrot 1974–2013

Lög og reglur

Lög nr. 47/2004 um þjóðgarðinn á Þingvöllum

„4. gr. Innan þjóðgarðsins er óheimilt að gera nokkuð það sem getur spilt 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.“

Lög nr. 85/2005 um verndun vatnasviðs Þingvallavatns

...**Þingvallavatn og vatn á verndarsvæði Þingvallavatns er viðkvæmur viðtaki (gagnvart nitri, 18. gr.) og skal vera í ástandsflokki A** (ósnortið, næringarefnasnautt vatn) (650/2006).

Reglug. nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Töluleg viðmið (blaðgræna-a, T-P, T-N) fyrir 5 vatnsgæðaflokka (A, B, C, D, E).

Ákvæði alþjóðasáttmála UNESCO um menningar- og náttúruarfleifð

Júlí 2004 - **Heimsmínjaskráning**: Þingvellir og nyrsti hluti Þingvallavatns innan þjóðgarðsins v. einstaks menningarlandslags.

Janúar 2011 – **Bráðabirgðatillaga**. Þingvallavatn og allt vatnasviðið v. einstakrar náttúruarfleifðar (jarðfræði og lífríki).

5

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.

Ástand vatnsins skal endurspeгла að þar séu engar eða litlar vísbendingar um áhrif frá mannlegri starfsemi á lífríki eða á efna- og eðlisfræðilegt umhverfi þess.

Samkvæmt reglugerð nr. 650/2006 um framkvæmd verndunar vatnasviðs og lífríkis Þingvallavatns er Þingvallavatn og vatn á verndarsvæði þess skilgreint sem viðkvæmur viðtaki og skal vatnið vera í hæsta vatnsgæðaflokki (ástandsflokki A, ósnortið vatn, sbr. reglugerð nr. 796/1999). Töluleg viðmið eru gefin upp í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns og lúta að köfnunarefni (Tot-N), fosfóri (Tot-P), lífrænu kolefni (TOC) og þörungamagni (blaðgrænu-a).

July 2004 . Þingvellir along with northern part of Lake Þingvallavatn inscribed on the UNESCO World Heritage List in 2004 as a cultural landscape. January 2011. Lake Þingvallavatn and catchment nominated on UNESCO World Heritage Tentative List because of geological and biological significance.

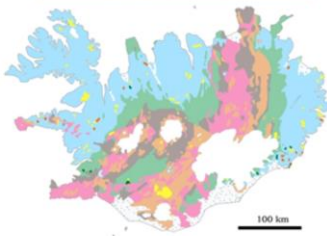
Jarðfræðileg sérstaða



Flekaskil - Mið-Atlantshafshryggurinn

Ísland er eini staðurinn á jörðinni þar sem ganga má þurrum fótum á flekaskilum.

Óvída jafn stórbrotið umhverfi og á Þingvöllum þar sem reginöfl náttúrunnar með flekaskilum, eldi og ís blasa við. Mikið vísindalegt gildi.



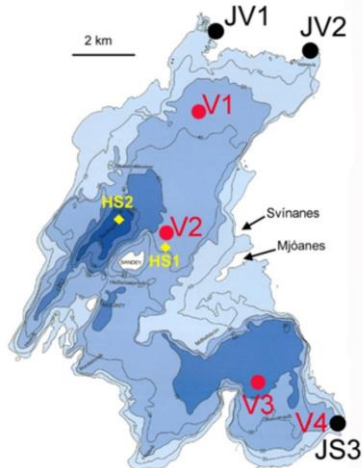
Flekaskilunum fylgir eldvirkni

Ungar basaltbergmyndanir frá Nútíma (<10.000 ára) algengar á Íslandi, en fágætar á hnattræna vísu.

Sigdældin með Þingvöllum og Þingvallavatni er að miklu leyti þakin hraunum frá Nútíma.

Vatnafræðileg sérstaða

Sýnatökustaðir í vöktun



Þingvallavatn: Stærsta vatn landsins og af gerð lindavatna.

Lindavatnskerfin á Íslandi teljast til vatnafræðilegra sérkenna á alþjóðavísu.

Fylgja virka gosbeltinu og hraunum frá Nútíma þar sem berggrunnur er gljúpur og lekur. Yfirborðsvatn hripar niður, vatnið síast og næringa- og snefilefni leysast úr berginu og ganga í samband við vatnið.

Lindavötn:

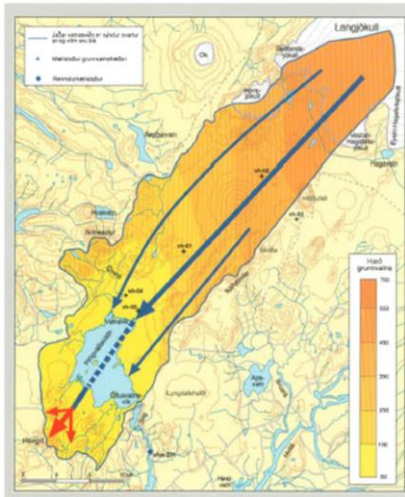
hrein – tær – köld – stöðug

7

Lindavatnskerfin á Íslandi teljast tvímælalaust til vatnafræðilegra sérkenna á alþjóðavísu. Lindavatnskerfin eru einkum að finna þar sem berggrunnur er gljúpur og lekur þannig að yfirborðsvatn hripar ofan í jörðina þar sem vatnið síast og næringa- og snefilefni leysast úr berginu og ganga í samband við vatnið. Hraun frá nútíma (sl. 10000 ár) er óvída að finna á jörðinni, en lindarvatn er nátengt þvítíkum berggrunni. Næstu nútímahraunmyndanir við Ísland eru austur á Kamtsjatkaskaga, vesturhluta Bandaríkjanna og sunnarlega á Ítalíu.

Landfræðilega lega Íslands, ungur aldur og vatnajarðfræðilegir þættir setja mark sitt á líffræði landsins. Helstu líffræðilegu einkenni landsins eru að hér eru fremur fáar tegundir, en stofnar þeirra sem hér eru eru stórir og jafnan sterkir. Á móti tegundafæð kemur oft á tíðum mikill sveigjanleiki og fjölbreytileiki í svipgerð, lífssögubáttum og lífsháttum dýra. Best er þetta þekkt með bleikju í stöðuvötnum þar sem finna má allt að fjögur ólík afbrigði. Á Íslandi eru til staðar þrjár meginþættir sem stuðla að þróun afbrigða innan tegunda: norðlæg lega (ungur aldur), landfræðileg einangrun (fáar tegundir) og fjölbreytt búsvæði vegna eldvirkni (hraun o.fl.). Lykilatriði er að fáar tegundir (t.d. 6 teg. vatnafiska) hafa aðgang að fjölbreyttu umhverfi.

Vatnafræðileg sérstaða



~ 90% (~90 m³/s) af írennsli Þingvallavatns sprettur fram í lindum við bakka og þó aðallega úti í vatninu.

Þrjár meginstraumar grunnvatns berast til Þingvallavatns:

Almannagjárstraumur: ~30 m³/s, 3,0–3,2°C
Hrafnagjárstraumur: ~20 m³/s, 2,7–2,9°C
Miðfellsstraumur: ~25 m³/s, ~4°C
+ sunnan og vestan: ~15 m³/s, 4–+10°C

Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson 2002, 2011.

Einhver áhöld um stærð vatnsstraumanna. Samkvæmt eldri athugunum (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1992) er Almannagjárstraumurinn talinn vera ca. 65% af írennslinu.

8

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.

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

Rannsókn á súrefnis- og vetnissamsætum hefur leitt í ljós að 9% af vatninu sem streymir fram í Vellankötlun er yfirborðsvatn og 25% vatnsins í Silfru (Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Sigfús J. Johnsen. 1992. Stable isotope study of the Thingvallavatn area. Groundwater origin, age and evaporation models. Oikos, 64, 136-150).

Vatnafræðileg sérstaða



© Kristján Jónasson

Þingvallavatn

Tært og blátt

Tærleiki \equiv lítið af þörungum
Sólarljós nær óvenju djúpt niður

Kjörskilyrði í Þingvallavatni:
lágmarksmagn sólarorku fyrir ljóstillífun
nær niður á ~40 m dýpi.

Í Lagarfljóti er þetta innan við 0,5 m!

Vötnum með tærleika Þingvallavatns fer
fækkandi á Jörðu – einkum vegna
ofauðgunar á næringarefnum (N og P,
landbúnaður, þéttbýli, umferð, iðnaður).

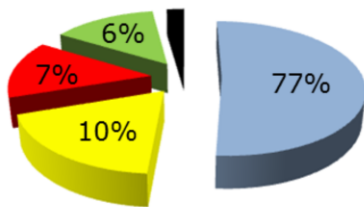
9

Lágmarksmagn sólarorku fyrir þörunga og plöntur til að ljóstillífa svarar til um 1% af sólarorkunni við vatnsyfirborðið. Dýpið sem þetta lágmarksmagn orku nær niður á er reiknað samkvæmt jöfnunni: $2,5 \times \text{Secchidýpi}$ (rýni, m). Secchidýpi (nefnt eftir ítölskum sjóliðsforingja) kallast á íslensku rýni eða gegnsæi vatns og er mælt með því að sökkva hvítri skífu (25-30 cm í þvermál) og mæla dýpið nokkrum sinnum sem hún hverfur sjónum. Í tærasta hluta Þingvallavatns, gjánum í norðanverðum Þjóðgarðinum, getur gegnsæi mælst 70–80 m!

Vatnafræðileg sérstaða

Heildarákoma niturs
á vatnasviðið ~ 710 tonn/ári

Um 170 tonn niturs berst til
vatnsins/ári



■ Náttúrulegt ■ Landb.
■ Loftmengun ■ Nesjavellir
■ Fráveita
Gunnar St. Jónsson 2012

Þingvallavatn er næringarefnasnautt

N (nitur) og P (fosfór) eru helstu næringarefnin í takmörkuðum mæli sem gróður þarf til vaxtar. Gróðurinn þarf N:P í hlutfallinu 7:1 (16:1 m.v. mólfrjölda).

Styrkur N og P í írennsli vatnsins er lítill.
T-N er að meðaltali 86-98 µg/l
T-P er að meðaltali 26-31 µg/l

Mikilvægustu næringarefnin berast því til Þingvallavatns í hlutfallinu 3:1 til 4:1 (6:1 til 9:1 m.v. mólfrjölda).

Það þýðir að **nitur er takmarkandi** fyrir frumframleiðslu Þingvallavatns og **ræður þ.a.l. miklu um hve tært það er og blátt.**

10

Ákoma næringarefna reiknuð skv. Hákonni Aðalsteinssyni og Péttri M. Jónassyni 2002 (bls. 149).

Um 77% (130 tonn) af nítrati (NO_3) berst með innrennsli, 10% með úrkomu, 7% með skólpi og 6% frá landbúnaði (ræktun og skepnuhald). Athuga ber að í tölu fyrir innrennsli er m.a. nítrat sem borist hefur á vatnasviðið með lofti frá mengunarvöldum (þ.m.t. umferð). Um 94% af fosfati (PO_4) berst með innrennsli, rúm 1% með skólpi og tæp 3% með landbúnaði.

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

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

Líffræðileg sérstaða

Fjögur afbrigði bleikju

Ólík í útliti, lífssögu og lífsháttum.

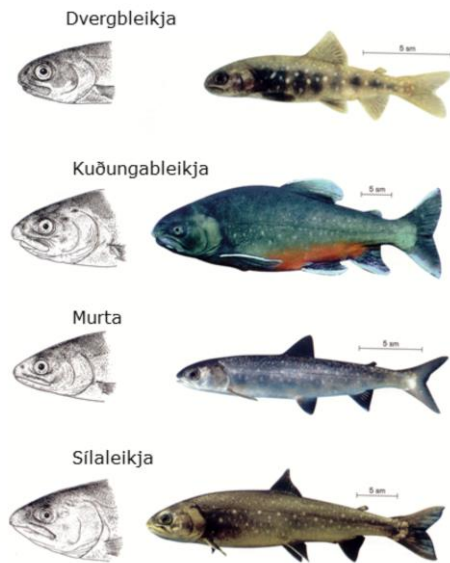
Hvergi vitað um jafn mörg bleikjuafbrigði og í Þingvallavatni og óvíða er útlitsmunur eins glöggur.

Einnig tvö ólík afbrigði hornsíla.

Afar áhugavert í vísindalegu tilliti, einkum í þróunarfræði.

Dæmi um samsvæða tegundamyndun - ein tegund að kvíslast í fleiri á tiltölulega skömmum tíma.

„Galapagos Norðursins“!



11

Bleikja í stöðuvötnum á Norðurhveli er þekkt fyrir afbrigðamyndun og eru þá oftast tvö afbrigði saman í vatni.

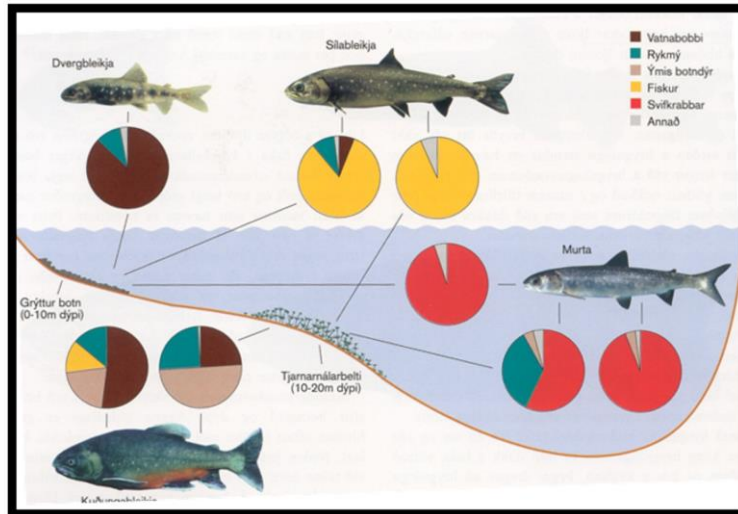
Hvergi er vitað um jafn mörg afbrigði og í Þingvallavatni og óvíða er útlitsmunur eins glöggur.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist og Skúli Skúlason. 2002. Bleikjan. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (Pétur M. Jónason & Páll Hersteinsson, ritstj.). Bls. 179-196. Mál & Menning, Reykjavík. 303 bls.

Skúli Skúlason, Hilmar J. Malmquist og Sigurður S. Snorrason. 2002. Þróun fiska í Þingvallavatni. Í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (Pétur M. Jónason & Páll Hersteinsson, ritstj.). Bls. 207-211. Mál & Menning, Reykjavík. 303 bls.

Líffræðileg sérstaða

Mikil sérhæfing bleikjugerða í fæðu- og búsvæðavali



12

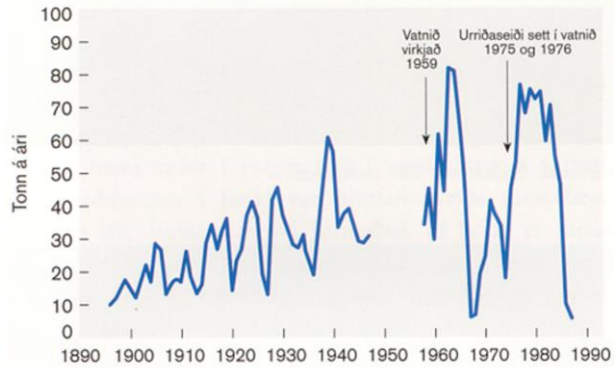
Fæðu- og búsvæðasérhæfing bleikjuafbrigðanna í Þingvallavatni. Hrygna einnig á mism. tíma og stöðum í vatninu.

Líffræðileg sérstaða

Magn bleikju (1983-84)

Murta	$23,3 \times 10^6$	600 tonn
Síableikja	$0,8 \times 10^6$	30 tonn
Kuðungableikja	$0,6 \times 10^6$	20 tonn
Dvergbleikja	$1,7 \times 10^6$	9 tonn

Gjöfult fiskivatn
Afrakstur um 10 kg/ha
Murtuveiði allt að 75 tonn!



Líffræðileg sérstaða



Hraunbotn flókið þrívítt rými með „kjalara“ - athafnasvæði fyrir lífverur.

Yfirborð hraungrýtis er óreglulegt, hrufótt, þakið smáholum með mikið yfirborð.

Fleiri tegundir og meira af þeim á hraungrýti en sléttu, þvegnu grjóti.



14

Eiginleikar hraungrýtis á ungum jarðmyndunum og lítt veðruðum: yfirborð óreglulegt, hrufótt, þakið smáholum með mikið yfirborð. Veitir smálífverum skjól gegn afráni.

Fyrir vikið eru fleiri tegundir lífvera og meira af hverri á hraungrýti en á „gömlu“, þvegnu og sléttu fjörugrjóti frá eldri jarðmyndunum.

Líffræðileg sérstaða

Tvær nýjar tegundir af grunnvatns-marflóm fyrir vísindin fundust 1998–2000 á bökkum Þingvallavatns

Crymostygius thingvallensis

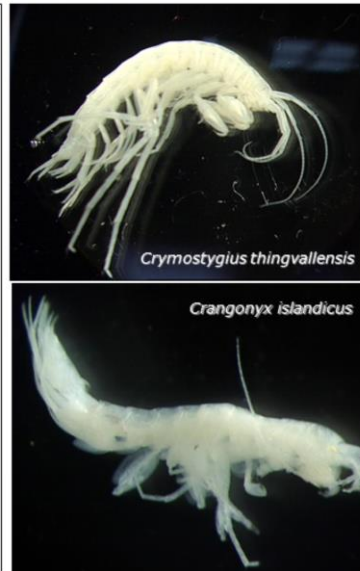
Stórvaxin (22 mm). Eingöngu fundist í uppsprettum í Þingvallavatni og Herðubreiðarlindum.

Crangonyx islandicus

Smávaxin (<7 mm). Algeng í uppsprettum, einkum á virka gosbeltinu.

Meðal örfárra einlendra tegunda á Íslandi. Margt bendir til að báðar tegundirnar hafi hafst við ofan í grunnvatnsgeymi landsins og þraukað af kuldaskið fyrri ísalda, jafnvel í 40 milljónir ára. Hér eru því á ferð afkomendur elstu lífvera landsins.

Bjarni K. Kristjánsson & Jörundur Svavarsson. 2007. Kornobis o.fl. 2010.



15

Um síðustu aldamót fundust tvær áður óþekktar tegundir af marflóm í uppsprettum við bakka Þingvallavatns. Þessi fundur telst til merkari uppgötvana í náttúrufræði hér á landi í seinni tíð. Allt bendir til að þær hafi þraukað af kuldaskið fyrri ísalda, jafnvel í 40 milljónir ára, væntanlega undir jökulísnum í vatnsmiklum grunnvatnskerfum í tengslum við jarðvarma á eldvirka beltinu þegar flestar ef ekki allar aðrar tegundir hér á landi dóu út. Hér eru því á ferð afkomendur elstu lífvera landsins.

Heimildir:

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

Jörundur Svavarsson & Bjarni K. Kristjánsson. 2006. *Crangonyx islandicus* sp. nov., a subterranean freshwater amphipod (Crustacea, Amphipoda, Crangonyctidae) from springs in lava fields in Iceland. Zootaxa 1365. 1-17.

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.

Líffræðileg sérstaða

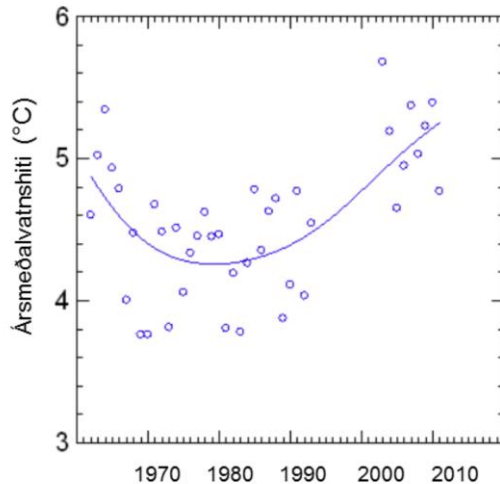
Urriði (*Salmo trutta*)

Mest í Öxará en einnig Ölfusvatnsá (hrygnir líklega víðar).
Verður afar stór, 20–30 punda ruddungsboltar vel þekktir.
Af fágætum, upprunarlegum „ísaldarstofni“.



Þingvallavatn hlýnar!

Steingrímsstöð í 41 ár (1962–93 og 2003–11, ~15.000 mæligildi)
 $R = 0,424$, $ft. = 39$, $P < 0,01$



Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012 17

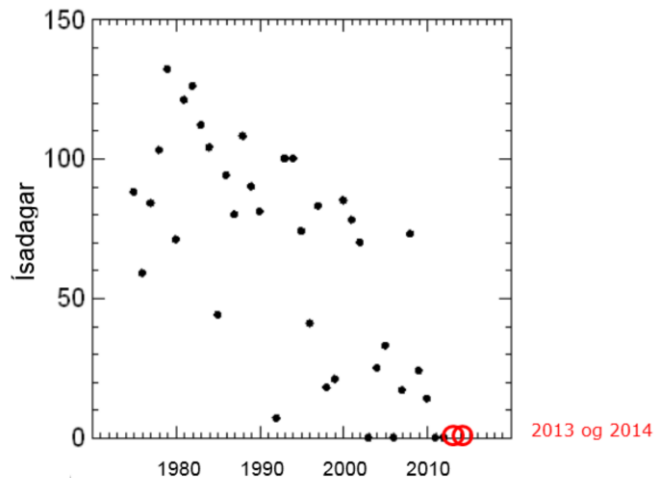
Mælti í Steingrímsstöð á árunum 1962–1993 og 2003–2011, alls 14.966 færslur í 41 ár. Marktæk fylgni (Pearsons R) er milli ársméðalhita og tíma (ára), $R = 0,424$, $ft. = 39$, $P < 0,01$. Frá og með 2000 hefur ársméðalhitinn verið $5,14 \pm 0,108$ °C ($4,64$ – $5,68$ °C) en fyrir aldamótin 2000 var ársméðalhitinn $4,39 \pm 0,072$ °C ($3,78$ – $5,34$ °C).

Hlýnun Þingvallavatns á tímabilinu 1962–2011 er umtalsverð og athyglisvert er hve hlýnunarferillinn á ársgrundvelli fellur vel að þróun ársméðallofthita á Íslandi á umræddu tímabili, sem hefur stigið vegna hlýnandi loftslags. Hlýnar alla mánuði nema mars og apríl, mest í júní–ágúst.

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason, Stefán Már Stefánsson og Þóra Hrafnadóttir. 2012. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Yfirlit yfir fimm fyrstu vöktunarárin 2007–2011 og samanburður við eldri gögn. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 3–2012. 67 bls. (English summary).

Þingvallavatn hlýnar!

Ísadögum fækkar 1974-2012 ($R = -0,712$, $ft. = 35$, $P < 0,01$).



Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012 18

Fjöldi ísadaga fyrir síðustu aldamót (< árið 2000) var að meðaltali 92 dagar (± 12 dagar, 95% ö.m.) en eftir aldamótin (\geq árið 2000) hafa dagarnir verið 29 (± 23 dagar, 95% ö.m.). Munurinn þarna á milli er mjög marktækur ($t = 5,817$, $ft. = 25$, $P < 0,001$). Nýjar upplýsingar frá Árna B. Stefánssyni augnlækni m.m., sem skráð hefur ísadaga á vatninu um áratugaskeið í sumarbústað sínum við vatnið vestanvert, eru á sömu lund. Árið 2013 var glæraís í um 3 daga í vatninu vestanvert og hið sama var upp á teningnum fyrrihluta ársins í ár (2014).

Þingvallavatn hlýnar!

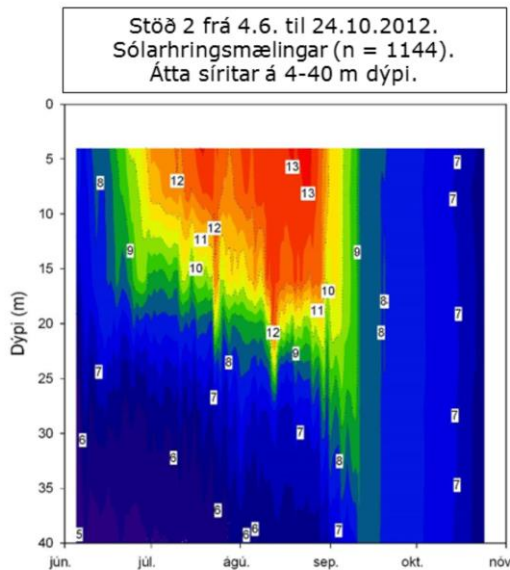
Hitaskil

Skörp hitaskil geta myndast síðsumars í Þingvallavatni á 15–25 m dýpi.

Við hitaskilin fellur vatnshiti um 2–4 °C á örfáum metrum í millilaginu á 20–24 m dýpi.

Áhrif á flutning efna og orku.

Vísbendingar eru um að hitaskil og lagskipting séu að eflast í kjölfar hlýnunar vatnsins.



Finnur Ingimarsson o.fl. 2013 19

Vatnshiti á dýptarsniðinu á stöð 2 var mældur með átta síritum á tímabilinu 4.6.–24.10.2012 og reyndist hitinn vera á bilinu 4,9–13,6°C (2. tafla, 2. mynd). Um miðjan júní fór að bera á hitalagskiptingu á 15–25 m dýpi, sem stóð óslitið fram í byrjun september. Sólarhringsmeðaltal vatnshita á þessum tíma í hlýja yfirborðslaginu á 0–20 m dýpi var að meðaltali 10,7°C ($\pm 0,13$, n = 312) og á bilinu 8,0–12,8°C. Í laginu neðan 20 m dýpis var vatnshitinn að meðaltali 6,0°C ($\pm 0,07$, n = 312) og á bilinu 5,8–8,4°C.

Aðstæður til lagskiptingar voru með besta móti árið 2012 þar sem saman fóru langvarandi hlýviðriskaflar og hægur vindur. Þetta gerði það að verkum að yfirborðslag Þingvallavatns varð með allra hlýjasta móti. Þannig lá vatnshitinn vikum saman milli 12–13°C á 4–8 metra dýpi og í undantekningar tilfellum mældist 13 gráðu hiti allt niður á 16 m dýpi.

Þegar meðalvindhraði nær um og yfir 10 m/s þá byrjar vatnið að blandast og blöndun nær frá yfirborði og niður á botn ef vindur stendur nógu lengi.

Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason, Þóra Hrafnadóttir og Stefán Már Stefánsson og Hilmar J. Malmquist. 2013. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2012. Verkpáttur nr. 2: Lífríki og efna- og eðlisþættir í vatnsbol. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 4–2013. 26 bls. (English summary).

Pingvallavatn hlýnar!

Nesjavallavirkjun
Heitt affallsvatn og áhrif í Pingvallavatni



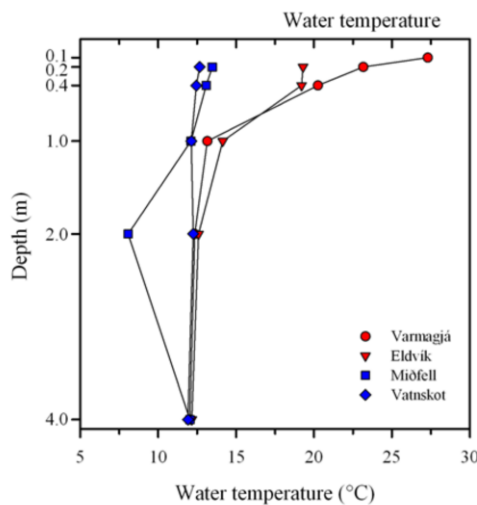
20

Operation of the Nesjavellir geothermal power plant, 5–6 km south of Pingvallavatn (Fig 1), started in 1990, but test drilling and local use of hot water on the site began in 1946 (Zarandi and Ivarsson 2010). Three types of wastewaters are produced at the Nesjavellir power plant: condensate water and separator water derived from high enthalpy wells, and heated fresh groundwater derived from shallow cold water wells. The Nesjavellir power plant produces electricity in steam turbines and hot water for space heating by heating cold groundwater in heat exchangers (Zarandi and Ivarsson 2010). The cold water (5–7 °C, ~2000 L s⁻¹) to be heated is pumped from a shallow freshwater aquifer in the lava field close to the southwest shore of Pingvallavatn (Fig. 1).

Yfirlitsheimild:

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, Hrefna B. Ingólfssdóttir, Þórey Ingimundardóttir & Jón S. Ólafsson. 2011. Effects of geothermal effluents on macrobenthic communities in a pristine sub-arctic lake. *Inland Waters* 1: 146–157 (DOI: 10.5268/IW-1.3.363).

Staðbundin hitamengun



Árið 2003 gætti hitaáhrifa niður á ~1,0 m dýpi, mest á 0,2 og 0,4 m.

Varmagjá fyrir virkjun var 7,5–10,7°C.

1999–2002 hækkaði meðalhiti í 19,2°C í kjölfar virkjunar.

2003–2006 hækkaði meðalhiti í 28,6 °C.

Staðbundin hitaáhrif á smádyr merkjanleg.

Lítill áhrif vegna snefilefna.

Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011 21

Water temperature at the heat-affected and reference sites differed down to ~1.0 m, with the most profound differences at 0.2 m and 0.4 m, respectively (Fig. 2). At the Varmagjá heat-affected site, the water temperature was 27.3 °C within the rift pool and 23.2–12.0 °C outside the rift pool, cooling rapidly below 0.4 m. At the Eldvík heat-affected site, the water temperature was 19.3–12.2 °C along the transect, with a sharp decrease below 0.4 m. The temperature ranged between 13.5–8.5 °C at the Miðfell reference site and between 12.7–12.1 °C at the Vatnskot reference site.

In late August 2003, water temperature at and above 0.4 m depth at the 2 heat-affected sites was 7–12 °C higher than at comparable depths at the 2 reference sites, where temperature was in line with the natural lake temperature regime (Aðalsteinsson et al. 1992, Wetang'ula 2004, Malmquist et al. 2010a, 2010b). Other studies have shown that from the late 1980s until 2003, temperatures at several outlet sites on the southwest lakeshore of Þingvallavatn increased on average by 10–18 °C above ambient water temperature (Wetang'ula 2004, Wetang'ula and Snorrason 2005, Zarandi and Ivarsson 2010). Before exploitation of the Nesjavellir geothermal field in the late 1980s, a relatively weak, natural geothermal influence was known in Þingvallavatn at only one site, the rift pool at Varmagjá, with warm groundwater (7.5–10.7 °C) entering the rift pool at one distinct outlet (Aðalsteinsson et al. 1992, Ólafsson 1992).

Prior to exploitation of the Nesjavellir field, a natural geothermal signature with temperatures of 7.5–10.7 °C had been observed for some time within the Varmagjá rift pool in Þorsteinsvík (Ólafsson 1992, Aðalsteinsson et al. 1992, Snorrason and Jónsson 2000). As the power plant was transformed into a cogeneration facility, the discharge of excess cooling water led to rapid increase in water temperature at Varmagjá. For the period 1999–2002, the average temperature within the rift pool had risen to 19.2 °C, and a further rise to an average of 28.6 °C was seen for the period 2003–2006 (Zarandi and Ivarsson 2010).

Temperatures outside the rift pool followed a different and more dynamic pattern. Measurements in calm weather along vertical and horizontal transects in the summer 2003 and winter 2004 showed that the summer temperature may reach ~26 °C close to the surface just outside the mouth of the rift pool but cools down rapidly outside the mouth. At 10 m distance from the mouth, temperatures within the topmost 0.3 m surface water had decreased to 14–25 °C, at 25 m to 14–16.5 °C, and at 50 m to 13–14 °C (Wetang'ula 2004). At 75 m distance from the mouth of the rift pool the temperature above 1.5 m was close to 13 °C (Wetang'ula 2004), similar to the natural maximum summer temperature in the lake (Aðalsteinsson et al. 1992, Malmquist et al. 2010a, 2010b). Thus, thermal pollution during summer outside the rift pool at Varmagjá seems to be confined more or less to a 30–50 m long, ~30 m wide, and 20–30 cm thin layer of warm water floating on top of the cooler, denser lake water. Water within the rift pool never freezes.

Before operation of the Nesjavellir power plant there were no records of geothermal influences at the Eldvík site. As the operation of the power plant has been extended, water temperatures have risen markedly at 2–3 distinct outflow springs on the lake shoreline (Wetang'ula 2004, Zarandi and Ivarsson 2010). During 1999–2002 average temperatures at the outflow sites almost doubled as compared to the period before 1990 (17.2 vs. 9.8 °C). For the period 2003–2006, temperatures rose to 19.7 °C on average (Zarandi and Ivarsson 2010). Temperature profiles in summer 2003 at Eldvík along vertical and horizontal transects resemble those at Varmagjá, although the size of the area affected by thermal pollution at Eldvík appears somewhat smaller (Wetang'ula 2004). Only sporadic temperature measurements are available in winter at Eldvík. In winter 2004, temperature at one outflow site at the lake shoreline measured 27.3 °C (Wetang'ula 2004), and in February 2009 temperature at another outflow site measured 15.8 °C (Zarandi and Ivarsson 2010). As at Varmagjá, an ice-free area of 500–1000 m² extending from the outflow sites has been present at Eldvík for the past 10–15 years.

Staðbundin hitamengun



Sigguvík

Eldvík

Varmagjá Markagjá

Myndataka 26.10.2010 norður af Sandey staðfestir að hitamengunar gætti þá frá Nesjavallavirkjun.

© Náttúrufræðistofa Kópavogs
26.10.2010

22

Vatnsgæði í írennsli mjög góð

Silfra og Vellankatla 2007-2011 (n = 12)

Stöð	Dags.	Kopar	Sink	Kadmín	Bly	Króm	Nikkel	Arsenik
		Cu µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Pb µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	As µg/l
M eðaltal		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
St eingrimsstöð 2007_11 (n = 19)								
M eðaltal		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	<0,03
Hámörk		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

Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012. Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012

23

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

Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason, Stefán Már Stefánsson og Þóra Hrafnisdóttir. 2012. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Yfirlit yfir fimm fyrstu vöktunarárin 2007–2011 og samanburður við eldri gögn. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 3–2012. 67 bls. (English summary).

Vatnsgæði í írennsli mjög góð

en T-P samt í ástandsflokki B og C

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
Vellankatla-Vatnsvík og Flosagjá 1975 (n = 8)									
	Meðaltal	3,2	9,00	31	25	86	33		6,6
	Staðalskekking	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 Sífra 2007–2011 (n = 12)									
	Meðaltal	3,1	9,30	26	19	98	53	11	7,2
	Staðalskekking	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
	Staðalskekking	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	Næringarefnafríkt			
Ástandsflokkur D				51–100	1.500–2.500	Næringarefnaauðugt			
Ástandsflokkur E				>100	>2.500	Ofauðugt			

Eydis S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012. Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012

24

Ein helsta niðurstaðan hvað varðar styrk uppleystra aðal- og snefilefna í írennsli Þingvallavatns á tímabilinu 2007–11 er að ástand vatnsins var almennt gott með hliðsjón af viðmiðunarmörkum samkvæmt reglugerð nr. 796/1999. Það eru einungis heildarfosfór (Tot-P) og króm (Cr) sem ekki uppfylla skilyrði reglugerðar nr. 650/2006 um ástandsflokk A.

Athygli vekur að styrkur Tot-P (og fosfats) minnkar í írennslinu frá 1975.

Lægri styrksgildi næringarefnanna í Steingrímsstöð endurspeglar upptöku frumframleiðenda í Þingvallavatni á efnunum og útfellingu/botnfall þrönganna áður en Efra-Sog hrifsar þá til sín og skolar þeim á haf út.

...en marktækar breytingar!

Efnastyrkur í írennsli milli 1975 og 2007–2011 hefur breyst

NO₃ aukist ~60%***

SiO₂ aukist ~10%*

T-P og PO₄ minnkað ~15% og ~25%*****

Loftborin niturákoma allt að tvöfalt meiri á svæðinu nú en reiknað var með fyrir 2-3 áratugum
Gunnar St. Jónsson 2012.

Niturákoma í Evrópu og N-Ameríku óx með veldisvexti á seinnihluta 20. aldar. Dró úr henni 1990-2010 en er aftur spáð vexti fram til 2100.

Eydis S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2012.
Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012

Stað	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
Vámsvök I	19.3.1975	3,0	8,7	27	23	70	29		6,2
Vámsvök II	19.3.1975	2,8	8,8	34	28	71	32		6,5
Vámsvök III	19.3.1975	3,0	9,0	35	29	85	32		7,1
Vámsvök I	20.10.1975	3,4	8,9	24	23	83	29		6,6
Vámsvök II	20.10.1975	2,9	9,0	32	26	85	31		6,7
Vámsvök III	20.10.1975	3,0	9,2	39	30	94	31		7,7
Flosagá	19.3.1975	3,5	9,1	29	21	87	42		5,8
Flosagá	20.10.1975	3,6	9,3	28	20	109	41		6,6
Méðal		3,2	9,0	31	25	86	33		6,6
Staðalskeldja		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
Vatnaskarfa	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
Sifna	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
Méðal		3,1	9,30	26	19	98	53	11	7,2
Staðalskeldja		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

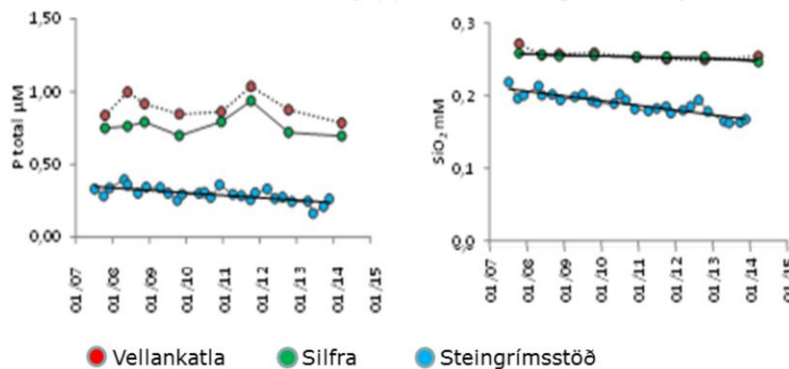
25

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

...og marktækar breytingar í útfalli vatnsins við Steingrímsstöð!

Mælingar 2007–2013.

Lækkun í styrk kísils (~16%) og fosfórs (~11%) í útfallinu við Steingrímsstöð. Endurspeglar mjög líklega aukna frumframleiðslu í vatninu (upptöku efna og botnfall).



Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2014. 26

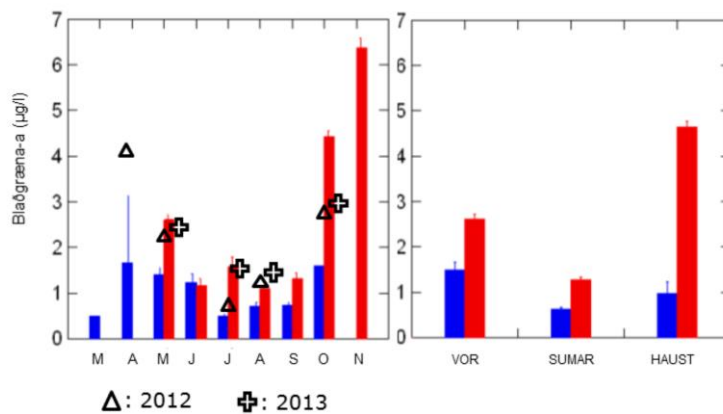
Styrkur flestra uppleystra aðalefna í útfallinu við Steingrímsstöð hefur lítið breyst nema hvað næringarefni SiO₂ og PO₄ hafa verið að lækka frá 2007 til 2013. Styrkur SiO₂ í útfallinu hefur lækkað um 16% á tímabilinu og styrkur T-P hefur lækkað um 11%. Þessi efni eru nauðsynleg fyrir frumframleiðendur í vatninu og styrkur þeirra lækkar eftir því sem lífvirkni eykst. Styrkur SiO₂ var 20 – 30% lægri við Steingrímsstöð en í írennslinu í Silfru og Vellankötlu.

Styrkur NO₃ í lindunum var frá 2,2 til 4,86 µmol/l en árlegur meðalstyrkur þess í úrkomu sem fellur á Mjóanesi er 8,64 µmol/l (Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014). Meðalstyrkur NO₃ í útfallinu við Steingrímsstöð var 94% lægri en í lindunum og oftast undir greiningarmörkum.

Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason. 2014. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007 – 2013. RH-04-2014. Jarðvísindastofnun Háskólans. 36 bls.

Aukning í þörungum

Magn þörungasvífs (blaðgræna-a) marktækt meira nú (2007-11, rauðar súlur) en fyrir 3-4 áratugum (1979 og 1981-82, bláar súlur), 2-4 föld aukning, mest um haust



Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012

27

Aukning í þörungum

Vatnsgæðaflokkar m.t.t. blaðgrænu-a samkvæmt 796/1999

Ekkert sýni í C-flokki árin 1979, 1981-82

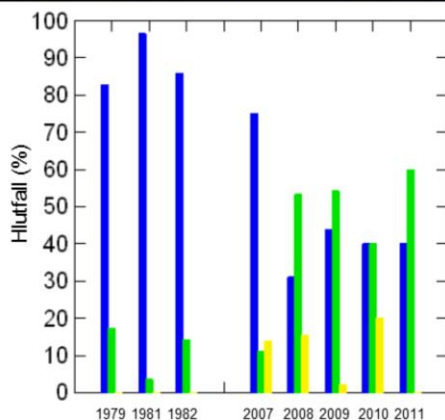
Allt að 60% tilfella í B-flokki árin 2007-11, 60% 2012 og 50% 2013

Allt að 20% tilfella í C-flokki árin 2007-11

A: <2 µg/l

B: 2–5 µg/l

C: 5–10 µg/l



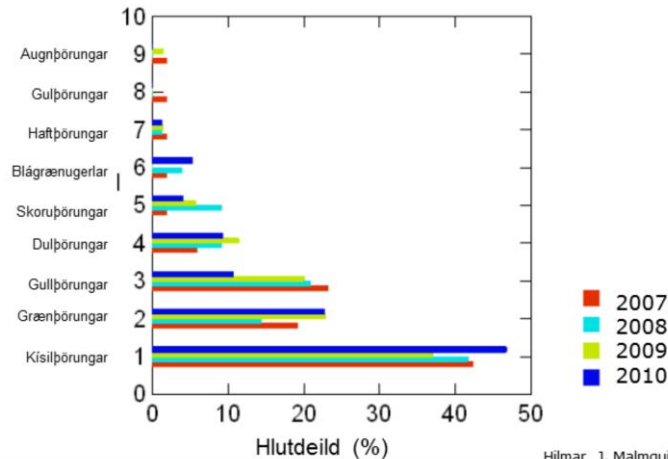
Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012 28

Hlutfall (%) mæligilda á magni blaðgrænu-a í Þingvallavatni eftir umhverfismarkaflokkum í djúpum vötnum samkvæmt reglugerð nr. 796/1999. Blátt: umhverfismarkaflokkur I (< 2 µg/l), grænt: umhverfismarkaflokkur II (2–5 µg/l), gult: umhverfismarkaflokkur III (5–10 µg/l).

...en sömu tegundir og fyrir 120 árum!

122 tegundir og hópar í vatnsbol 2007–2010. Kísilþörungar eru ráðandi.
Einnkennistegundir eru sáldeskin *Aulacoseira islandica* f. *curvata*, *A. islandica* og *A. subarctica* (\equiv *A. italica*) ásamt stjarneskinu *Asterionella formosa*.

Sömu tegundir og á áttunda áratugnum og einnig í sýnum sem Ostenfeld og Wesenberg-Lund greindu frá árunum 1902 og 1903!

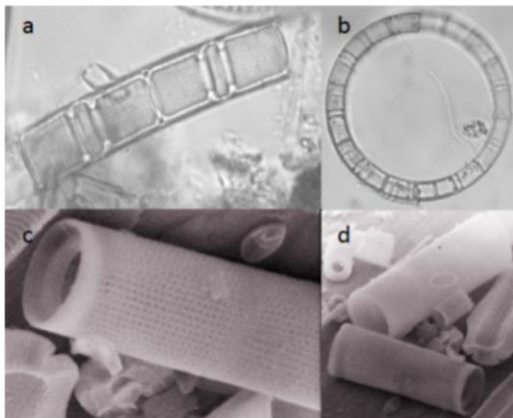


Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012 29

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

...einkennistegundir eru sáldeski

Sáldeskin *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen og *A. subarctica* (O. Müller) E.Y.Haworth 1990 hafa verið **skilgreindar sem nýjar tegundir fyrir vísindin**. Þingvallavatn er því tilvísunarstaður fyrir frumlýsingu beggja tegundanna.



Sáldeski, *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen í Þingvallavatni. Hæð fruma: 4 – 21 µm, þvermál: 7-27 µm. Frumurnar í mislögum keðjum, flestar bognar, sumar beinar (Müller, 1906).

Gunnar Steinn Jónsson 2014 (handrit)

30

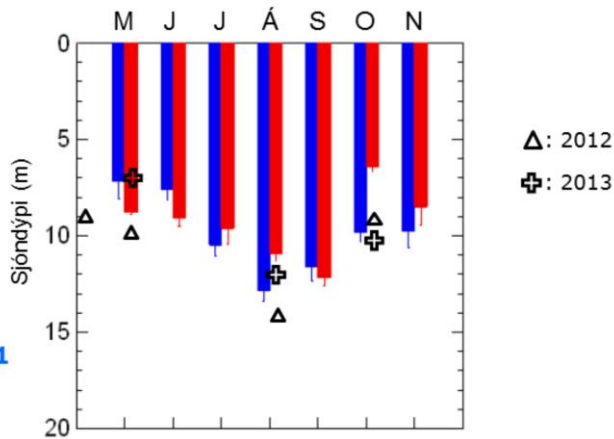
Gunnar Steinn Jónsson. 2014 (óbirt handrit). Mikilvægi kísilþörunganna *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen og *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) E.Y.Haworth í vistkerfi Þingvallavatns.

„*Aulacoseira subarctica* er talin einkenna „mesotrophic“ stöðuvötn og sé minna þolin fyrir mengun en *A. islandica* og viðvarandi næringarefnaauðgun felur í sér að hún hverfur og tegundir eins og *Cyclotella* spp, *Stephanodiscus parvus*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* taka við (Chris E. Gibson, N. John Anderson & Elizabeth Y. Haworth, 2003). Tegundir sem gætu tekið við *Aulacoseira* tegundunum við aukna mengun eru því þegar til staðar í Þingvallavatni.“ „*Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen og *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) E.Y.Haworth í Þingvallavatni eru merkilegar fyrir ýmsar sakir. Þingvallavatn er fyrsti fundarstaður tegundanna, þaðan sem þeim er lýst í byrjun síðustu aldar, annars vegar sem tegund og hins vegar sem undirtegund; vatnið er því viðmiðunar fundarstaður þeirra. Fyrir það eitt ættu Íslendingar að vakta sérstaklega lífsferla og þróun þeirra í vatninu. Tegundirnar halda uppi stærstum hluta lífmassa þörungasvifsins árið um kring og líklega einnig þörungaframleiðslunnar þar. Þær þurfa lítið ljós til vaxtar og geta ef aðstæður leyfa (sbr. nóvember 1974 og janúar 1975) haldið uppi hárrí frumframleiðslu við yfirborðið yfir veturinn. Um hásumarið falla þær eins og snjódrífa úr svifinu til botns, en framleiðsla þeirra og annarra smásærra tegunda, sem leggjast sem sliksja yfir kransþörungabeltið, er talin svara til um þriðjungu frumframleiðslunnar á svæðinu.“

Minna rýni

Rýni (sjóndýpi) hefur minnkað í ágúst og október en aukist í maí og júní

Í október 2007–2011 var rýnið að meðaltali 6,4 m en á fyrra tímabilinu 9,8 m ($t = 5,215$, $ft. = 30$, $P << 0,001$)



1974-79 + 1980-81
2007-2011

Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012

31

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 2007–2011 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 2007–2011 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 meðaltalsrýni milli tímabilanna tveggja í júlí og september. Í nóvember voru mælingar of fáar til að hægt væri að framkvæma tölfræðiþróf (aðeins tvö gildi frá 2007–11).

SAMANTEKT

- ✓ Náttúra Þingvallavatns og vatnasviðsins er sérstök og einstæð – jafnt jarðfræði, vatnafræði og líffræði. Nýtur verndar sk.v. landslögum og ákvæðum UNESCO um heimsminjar.
- ✓ Vatnsgæði m.t.t. 796/1999 og 650/2006 eru almennt mjög góð nema fyrir blaðgrænu-a, Tot-P og króm.
- ✓ Þingvallavatn hefur hlýnað, nitur og kísill líklega aukist í írennsli, en fosfór (og kísill) minnkað úti í vatninu. Í kjölfarið hefur blaðgræna-a aukist og rýni minnkað.
- ✓ Breytingarnar v. hnattrænna og staðbundinna þátta.
- ✓ Tegundasamsetning þörungna- og dýrasvifs ekki breyst og murtan söm við sig að því er virðist.
- ✓ Ef hlýnar áfram og niturákoma vex er hætt við að allt vistkerfið breytist – bláminn hverfur, tærleikinn minnkar, lífríkið rýrnar
- ✓ Viðbrögð
 - Stíga léttar til jarðar,
 - Draga úr CO₂- og NO_x-losun,
 - Taka á fráveitumálum,

