



Icelandic Museum
of Natural History

Brynjólfsgata 5
IS-107 Reykjavík

S./Tel. 577 1800

nmsi@nmsi.is
www.nmsi.is

HLÝNUN ÞINGVALLAVATNS og hitaferlar í vatninu

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



Náttúrufræðistofa Kópavogs
Hamraborg 6a – 200 Kópavogur
www.natkop.is

Fræðsluerindi Hins íslenska náttúrufræðifélags – Öskju, stofu 132 – 29. janúar 2018

Gögn, efnistöð og markmið

Efnistöð og markmið

Greina frá langtímapróun í vatnshita Þingvallavatns, þ.m.t. á þróun ísafars, og varpa ljósi á lóðréttu hitaferla í tengslum við lofthita og vinda á vatnasviðinu.

Vatnið er einstök náttúruþerla – stöndum vörð um gæðin.

Undirstaðan

Fjölbættar náttúrufræðirannsóknir sem spanna rúma öld

1885–1930: A. Feddersen, Ostenfeld & Wesenberg-Lund, Bjarni Sæmundsson, Árni Friðriksson.

1974–1992: Pétur M. Jónasson o.fl. Alhliða vistfræðirannsóknir.

1992–2018: Líffræðistofnun H.Í. ,Háskólinn á Hólum, Náttúrufræðistofa Kópavogs

2007–????: **Vöktunarverkefni hefst.** Náttúrufræðist. Kópav., Líffræði- og Jarðvísindastofnun H.Í. o.fl.

Eitt best rannsakaða vatnavistkerfi á norðurhveli

Gögn notuð hér:

Landsvirkjun: „Ný“ óbirt gögn – vatnshitamælingar við Steingrímsstöð („uppgötvaðust“ 2010).

Afar ítarlegar, daglegar mælingar (≥ 4 /dag), 1962–2016 (2017).

Náttúrufræðistofa Kópavogs: Vatnshitagögn í vatnsbolnum, lóðréttir hitaferlar, lagskipting o.fl. (2007–2016).

Árleg fjölrít Náttúrufræðistofunnar 2008–2017.

Veðurstofa Íslands: Lofthiti og vindur 1962–2016. Heimasíða og sérpantað.

Ábúendur o.fl.: Skráning ísalagna og -brota 1974–2017.

Staðhættir

○ Leira
1995–2016

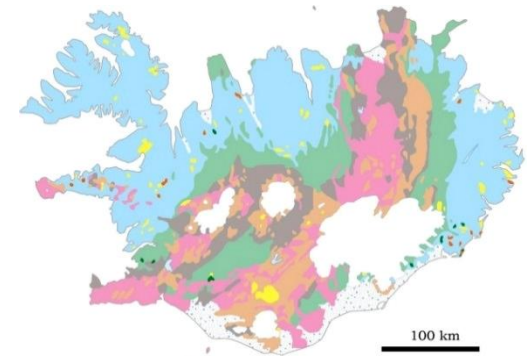
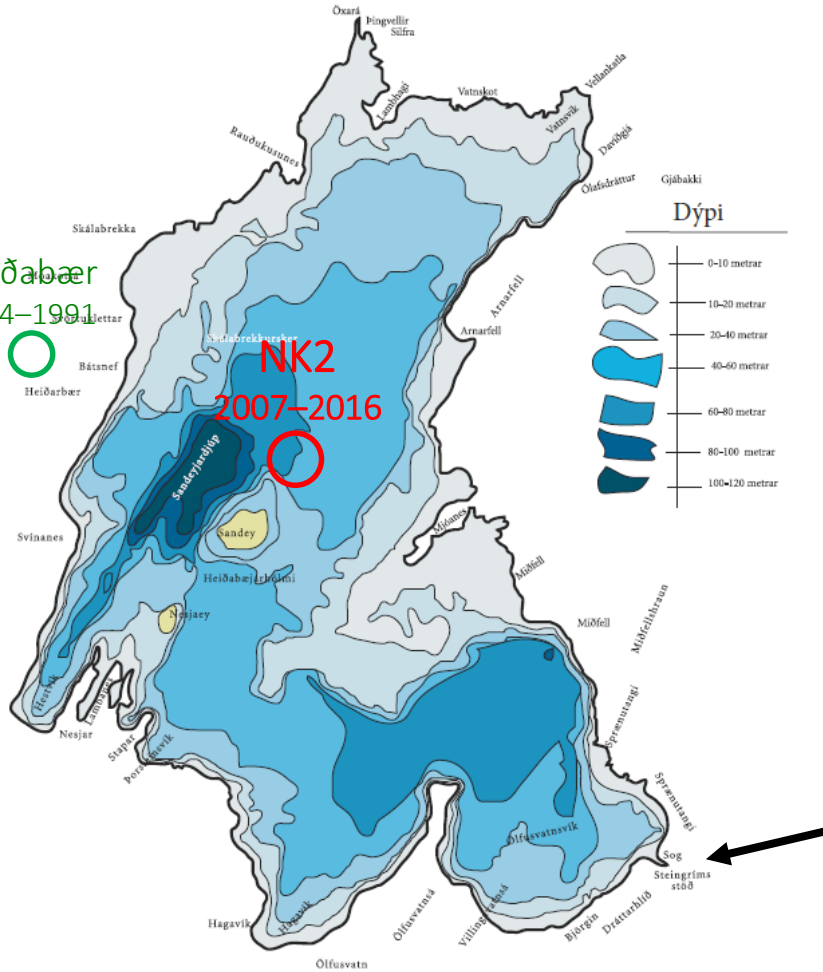
Þingvallavatn

○ Þingvellir
1962–1982

Heiðarbær
1984–1991

○

NK2
2007–2016



Næststærsta vatn landsins – **lindarvatn**

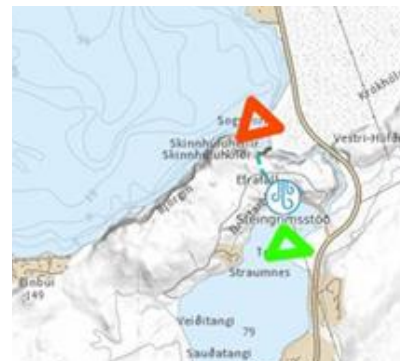
Flatarmál: 83,7 km². Rúmmál: 2800 Gl.

Meðaldýpi: 35 m. Mesta dýpi: 114 m.

Viðstöðutími: ~330 dagar.

Lindarvötn, á ungum jarðmyndunum –
fágæt – hrein – tær – köld – stöðug

Vatnasviðið er 1.300 km², nær upp í Langjökul.
90% innstreymis kaldar lindir, 2,7–4,0°C allt árið.



Aðvatn LV2. 2000–2017
N = 286.627

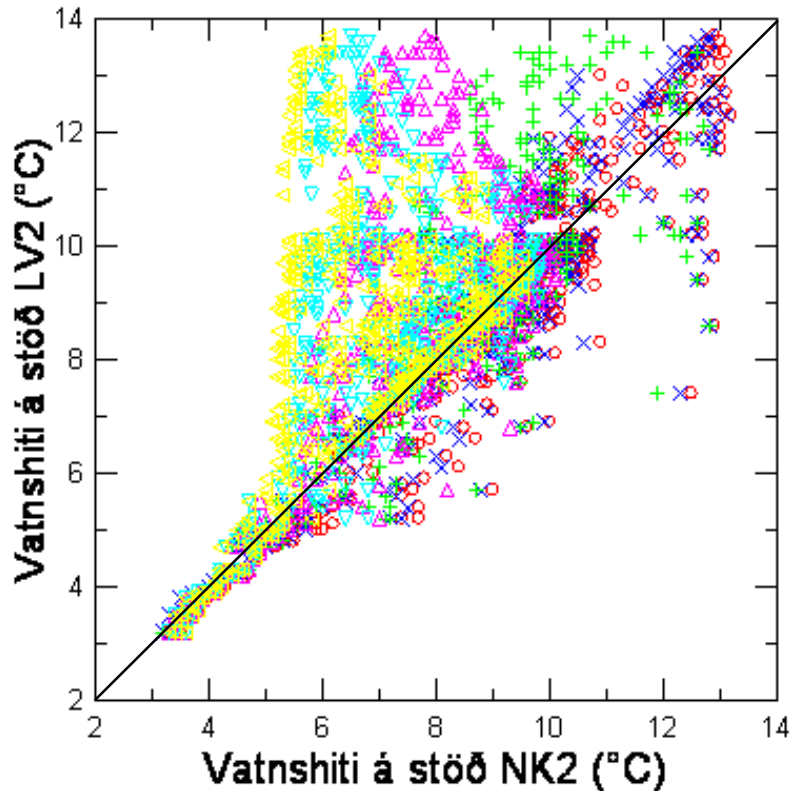
Frávatn LV1. 1962–1994
N = 30.326

Gæði metils

Tengsl samtímamælinga í vatnshita í aðvatni (LV2) og vatnsbol Þingvallavatns (NK2, 6 mism. dýpi).

Sólarhringsmeðaltöl (N=596) fyrir hvert dýpi.

Tímabilin 5.6.–24.10.2012, 6.6.–14.10.2013, 9.5.–24.10.2014 og 23.5.–25.10.2015.

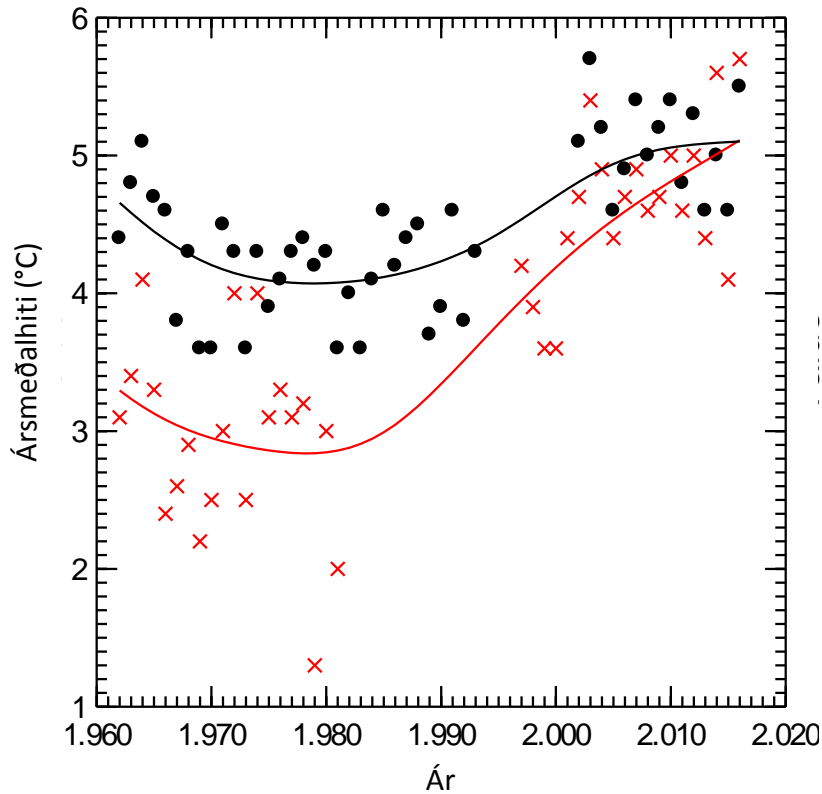


	Aðvatn Stöð LV2	Sírtar					
		○ 4 m	× 8 m	✚ 16 m	△ 24 m	▽ 32 m	◀ 40 m
Meðaltal	8,6	8,8	8,6	8,3	7,7	7,2	6,8
Staðalsk.	0,09	0,09	0,09	0,08	0,06	0,06	0,06
Lágmark	3,2	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3
Hámarg	13,7	13,2	13,1	12,8	10,1	9,8	9,6
t-próf		<0,001	0,107	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
R		0,938	0,935	0,864	0,626	0,449	0,356
p		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

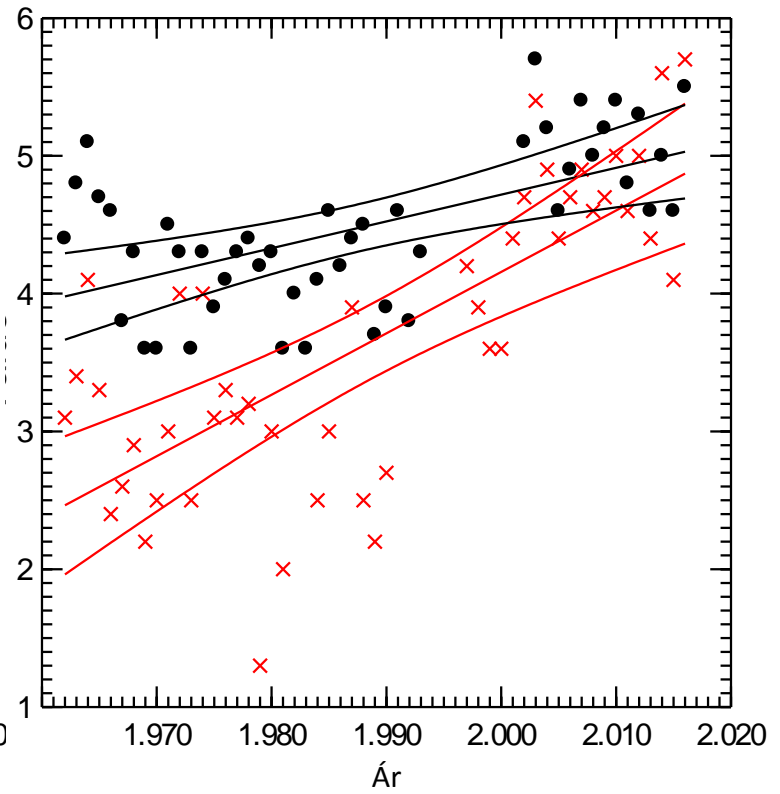
LV2 (og LV1) er góður metill á vatnshita í yfirlagi Þingvallavatns

Þingvallavatn hlýnar

...í takt við hækkandi lofthita



Vatnshiti: ●
Lofthiti: ×



Tvatn: $Y=0,015 \cdot X-24,330$. $R=0,999$, $ft.=35$, $P<0,001$.

Tloft: $Y=0,045 \cdot X-84,995$. $R=0,735$, $ft.=45$, $P<0,001$.

Hlýnun vatnsins misjöfn yfir árið

Línulegar aðhvarfsgreiningar ($y = bx + a$) á mánaðarmeðaltölum vatnshita í Þingvallavatni 1962–1994 og 2000–2017. Vatnshiti ekki skráður 1995–1999. Aðeins notaðir mánuðir með mælingum alla daga mánaðar.

a er skurðpunktur við y -ás, b er hallatala, R er Pearsons fylgnistuðull, n er fjöldi mælinga (mánaða).

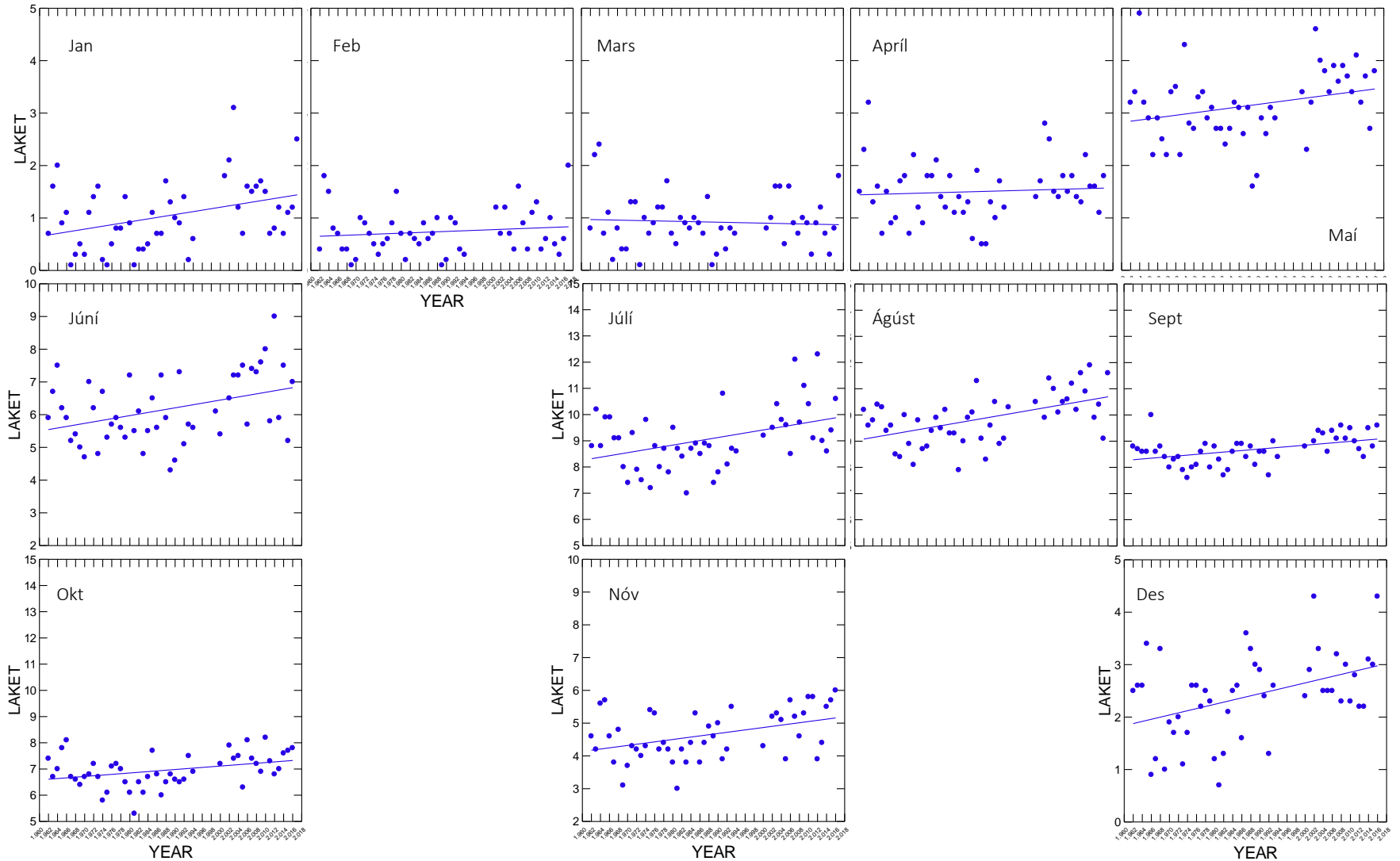
Meðal (°C): mánaðarmeðaltal vatnshita allt tímabilið;

Lág- og Hámark: meðaltöl lágmarks- og hámarkshita viðkomandi mánaðar.

Breyting: mismunur mánaðarmeðalhita milli 1962 og 2016 (eða 2017) samkvæmt $y = bx + a$ ($x = \text{ár}$).

Mánuður	a	b	R	F	P	n	Meðal °C	Lágmark °C	Hámark °C	Breyting °C
Janúar	-26,612	0,014	0,370	7,603	0,008	50	1,0	0,1	3,1	0,77
Febrúar	-5,806	0,003	0,129	0,806	0,374	50	0,7	0,1	2,0	0,17
Mars	4,445	-0,002	0,061	0,178	0,675	50	0,9	0,1	2,4	-0,11
Apríl	-3,217	0,002	0,071	0,241	0,626	49	1,5	0,5	3,2	0,11
Maí	-19,509	0,011	0,281	4,128	0,048	50	3,1	1,6	4,9	0,59
Júní	-41,464	0,024	0,387	8,261	0,006	49	6,2	4,3	9,0	1,30
Júlí	-48,331	0,029	0,418	9,943	0,003	49	9,1	7,0	12,3	1,57
Ágúst	-49,506	0,030	0,522	17,615	<0,001	49	9,9	7,9	11,9	1,62
September	-20,396	0,015	0,448	11,817	0,001	49	8,7	7,6	10,0	0,81
Október	-19,361	0,013	0,349	6,532	0,014	49	7,0	5,3	8,2	0,70
Nóvember	-31,603	0,018	0,410	9,310	0,004	48	4,6	3,0	6,0	0,97
Desember	-38,135	0,020	0,421	10,115	0,003	49	2,4	0,7	4,3	1,08

Hlýnun vatnsins misjöfn yfir árið

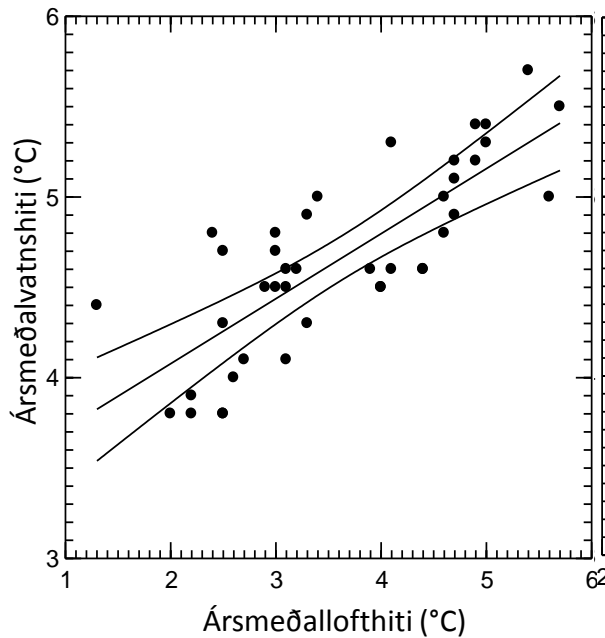


Hlýnun vatns náteigd lofthita og vindstyrk

Ársmeðallofthiti á vatnasviði Þingvallavatns og ársmeðalvatnshiti Þingvallavatns 1962–1994 og 2002–2016.

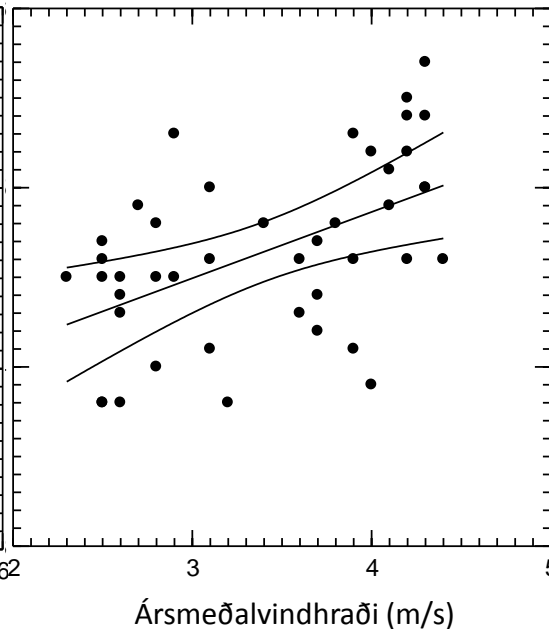
Ársmeðalvindhraði á vatnasviði Þingvallavatns og ársmeðalvatnshiti Þingvallavatns 1962–1994 og 2002–2016.

Ársmeðalvindhraði á vatnasviði Þingvallavatns 1962–2016.



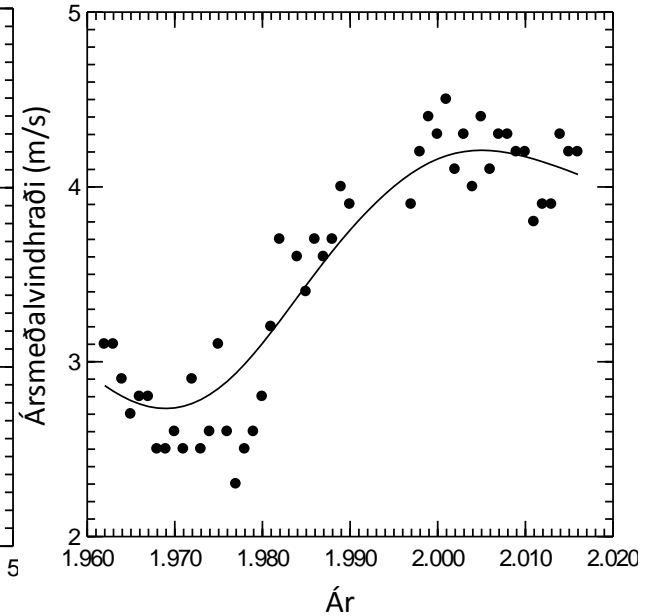
$$Y=0,360*X + 3,358. R=0,796 (P<0,001).$$

Sterkt jákvætt samband milli loft- og vatnshita



$$Y=0,370*X+3,385. R=0,514 (P<0,001).$$

Meiri vindur – hlýrra vatn

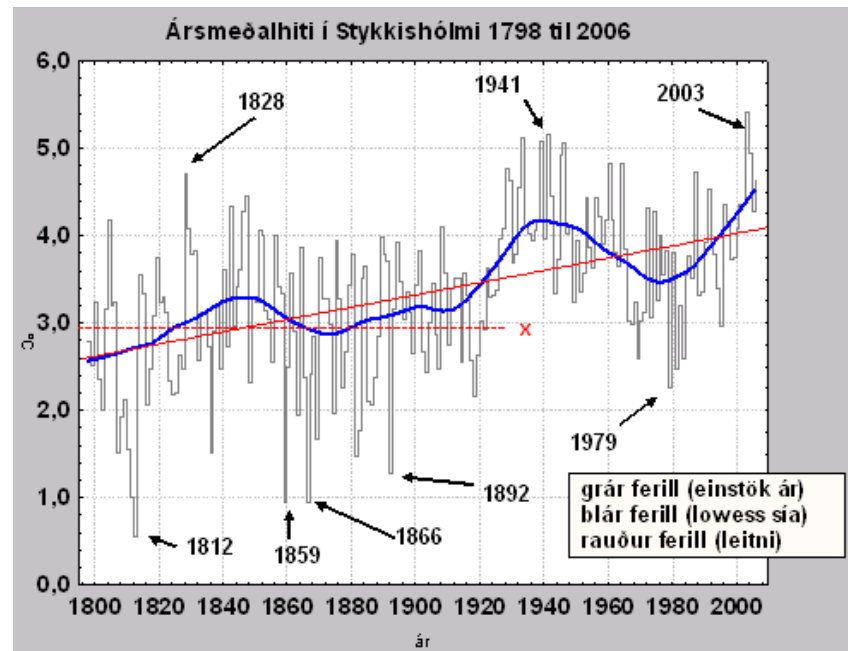
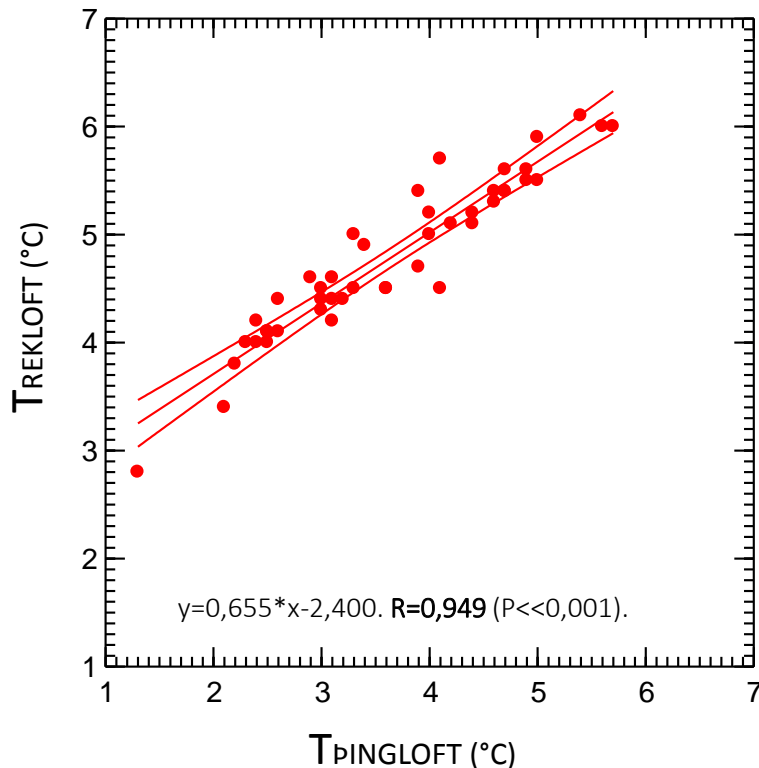


$$Y = 0,036*X - 68,057. R=0,869 (P<0,001).$$

Vind hefur hert á vatnasviðinu

Hlýnun lofta í takt við þróun á landsvísu

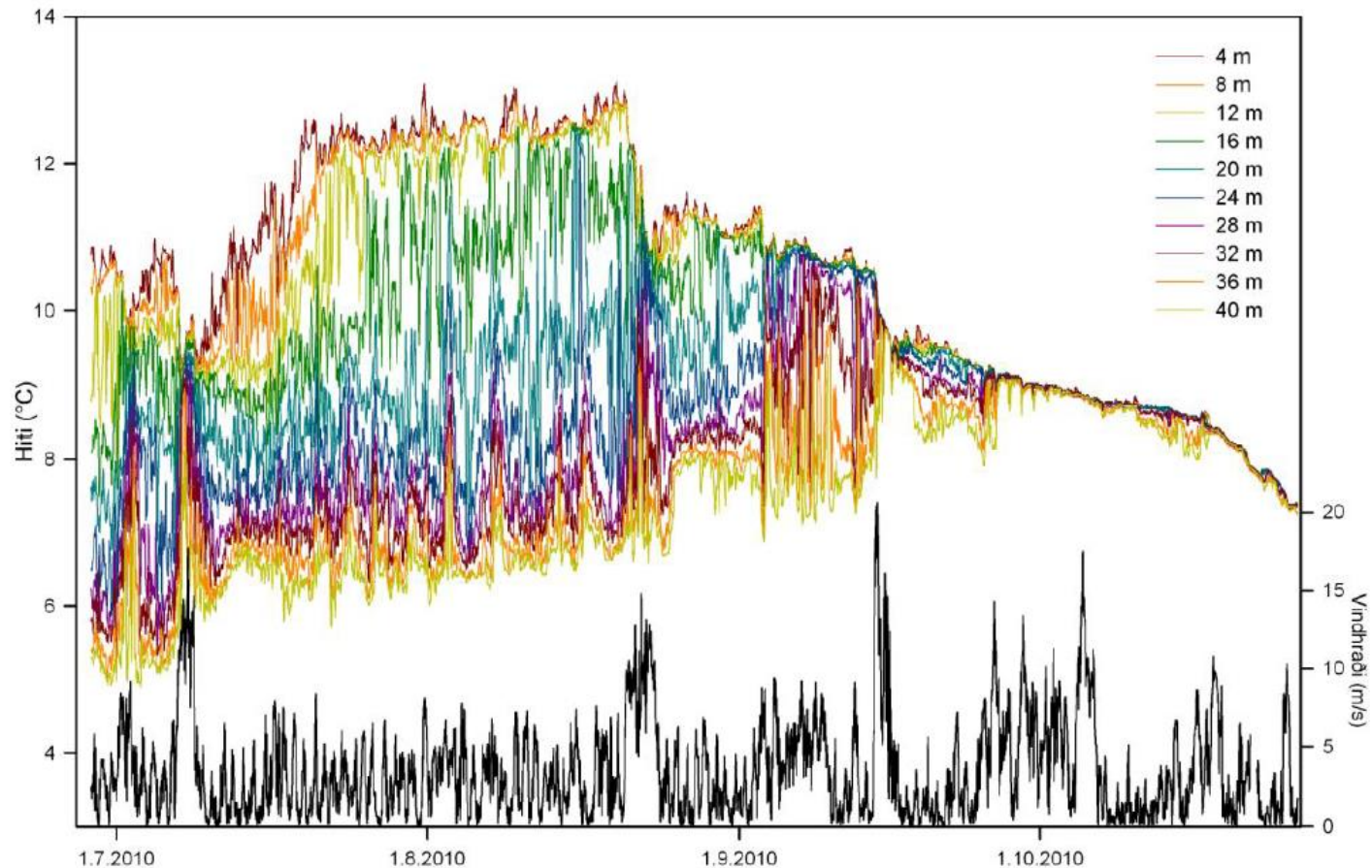
Þróun ársmeðallofthita (°C) á vatnasviði Þingvallavatns ($T_{\text{ÞINGLOFT}}$) og stöð 1 í Reykjavík (T_{REKLOFT}) á tímabilinu 1962–2016 (-10 ár). $N=45$.



Trausti Jónsson 2018. Hitafar á Íslandi eftir 1800.
<http://www.vedur.is/loftslag/loftslag/fra1800/hitafar/>

Hitaskil og hlýnun

Vatnshiti á stöð NK2 í vatnsbol Þingvallavatns. Tíu hitasírar á 4–40 m dýpi. Sólarhringsmeðaltöl (1 mæling pr. klst.) á tímabilinu 26. júní til 26. október 2010. Einnig sýndur vindstyrkur (m/s, sólarhringsmeðaltöl) á Leirum.

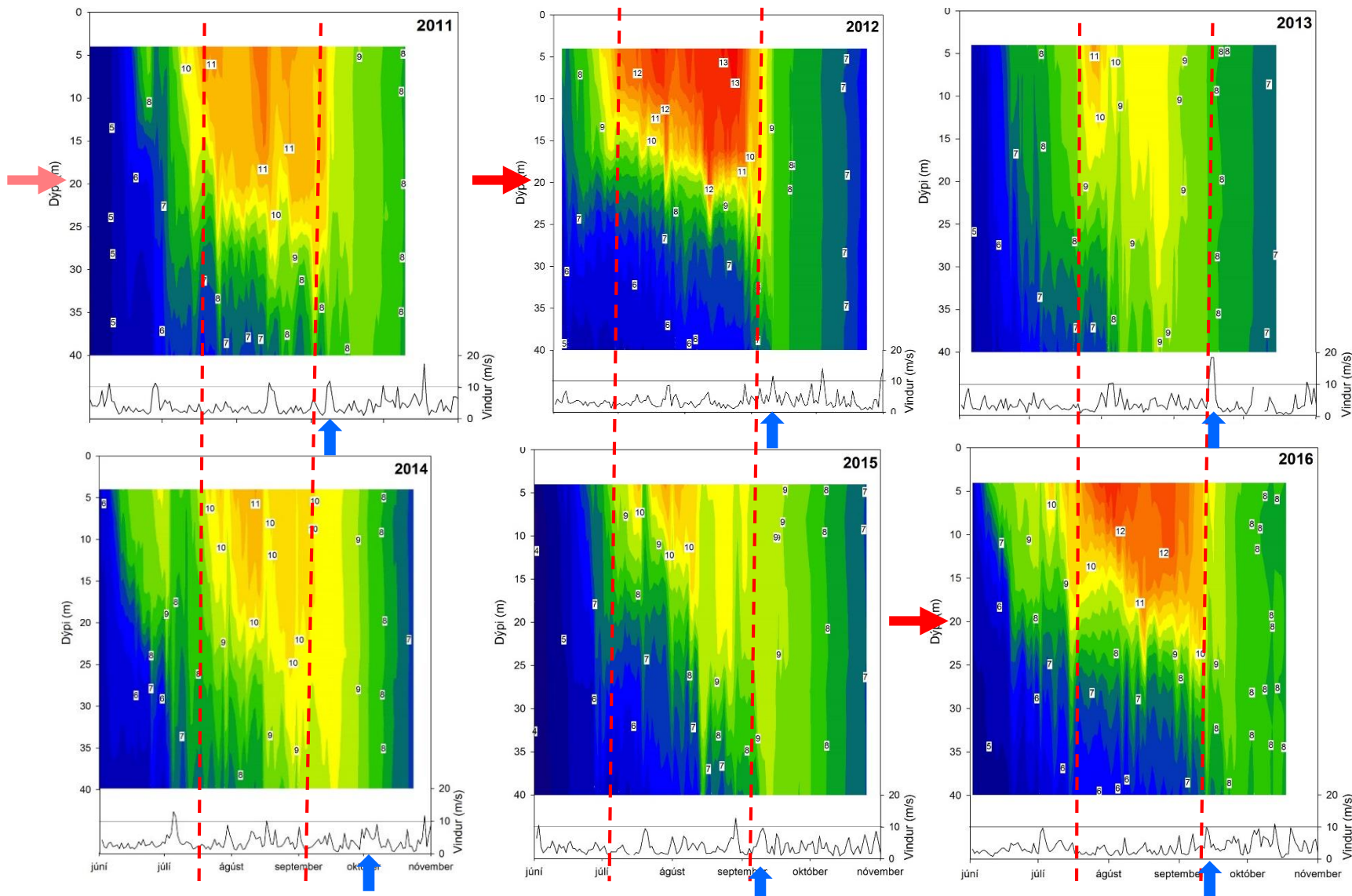


Heimild: Hilmar J. Malmquist o.fl. 2011.

Hitaskil og hlýnun

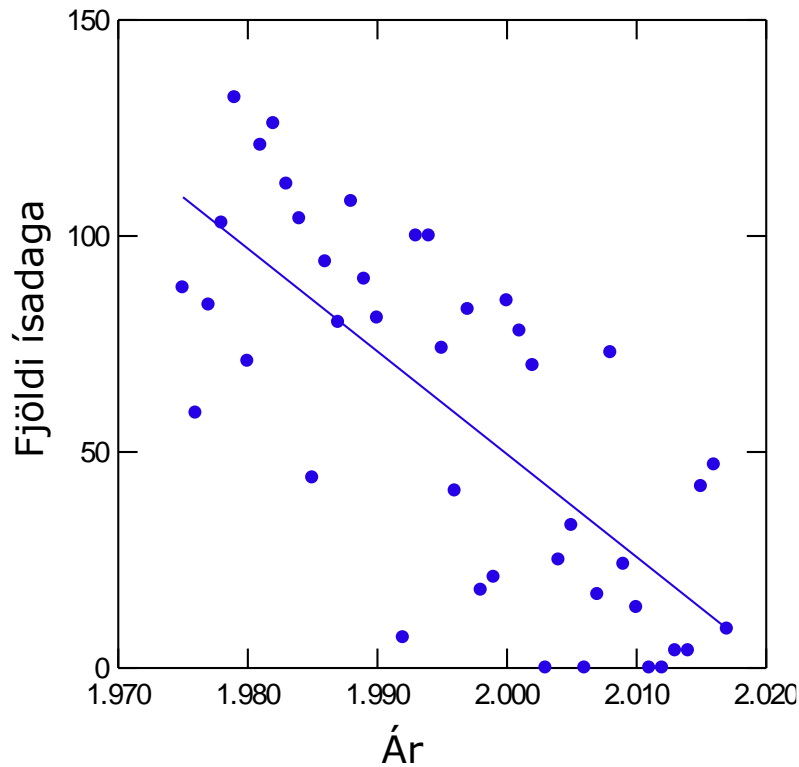
Hitaskil á 15-25 m dýpi
Miður júlí – byrjun sept.

Blöndun í kjölfar haustlægða.
> 8–10 m/s sólarhr.meðaltal



Ísadögum fækkar

Heimildir: Sigurjón Rist & Guðmann Ólafsson 1986; Einar Sveinbjörnsson 2009; Árni B. Stefánsson 2012, 2017.



Fjöldi daga með fastan ís á öllu vatninu veturna 1974–2017. $R = -0,735$, ft. = 40, $p < < 0,001$

Heimildir: Sigurjón Rist & Guðmann Ólafsson 1986; Einar Sveinbjörnsson 2009; Árni B. Stefánsson 2012, 2017.

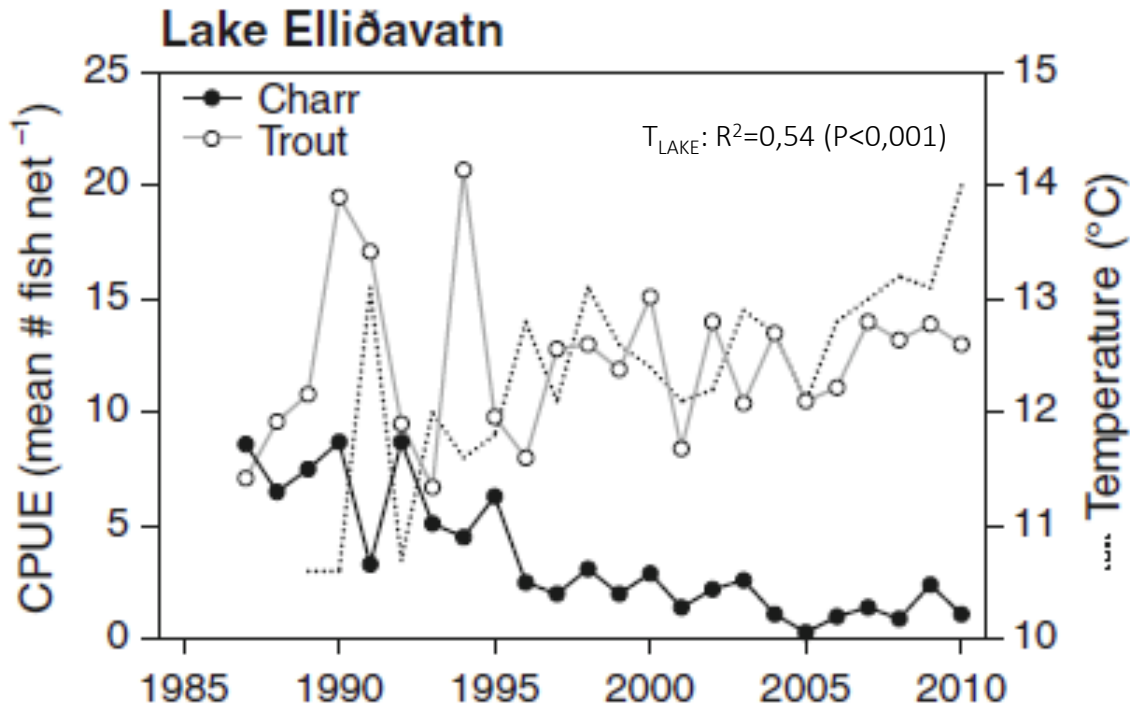
Fingraflekar (*finger rafting*) á ísilögðu Þingvallavatni í mars 2017. Hafa ekki verið skráðir fyrr.

Fyrirbærið er þekkt í vatnafræði og myndast að því er virðist nær alfarið þegar ís er þunnur.



Þingvallavatn 18. janúar 2016. Ljósmynd/©: Haraldur Unason Diego.

Samanburður við Elliðavatn



Hlýnun Elliðavatns 1989–2010
að jafnaði um 1,4°C/áratug,
en ~0,15°C á áratug í Þingvallavatni.

T oft $\geq 12^\circ\text{C}$ í 1–2 mánuði.

T oft 14–20°C í 1–3 vikur.

T 18–21°C í nokkra daga (2003).

Max T = 21,1°C (2003),
en 13,6°C í Þingvallavatni.

Afli bleikju og urriða á sóknareiningu (CPUE) og meðalhiti
júní–september í Elliðavatni 1988–2010.

Vatnshiti mældur á 1–4 klst. fresti.

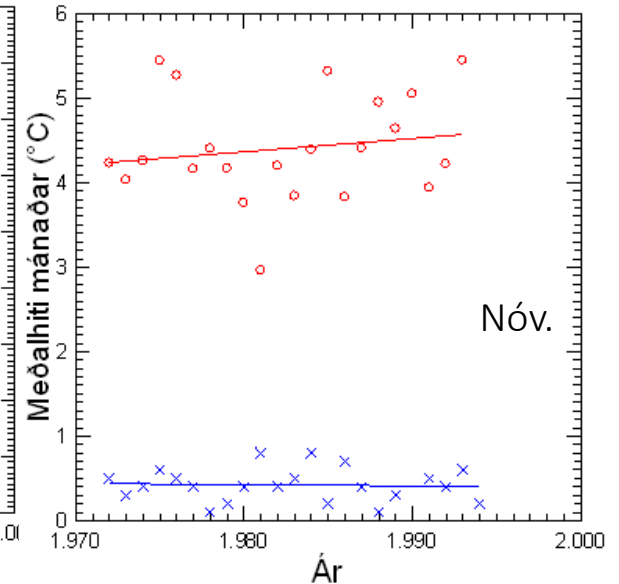
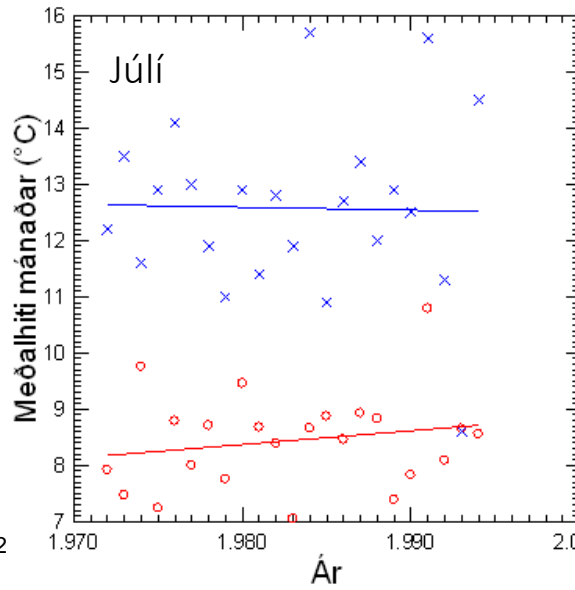
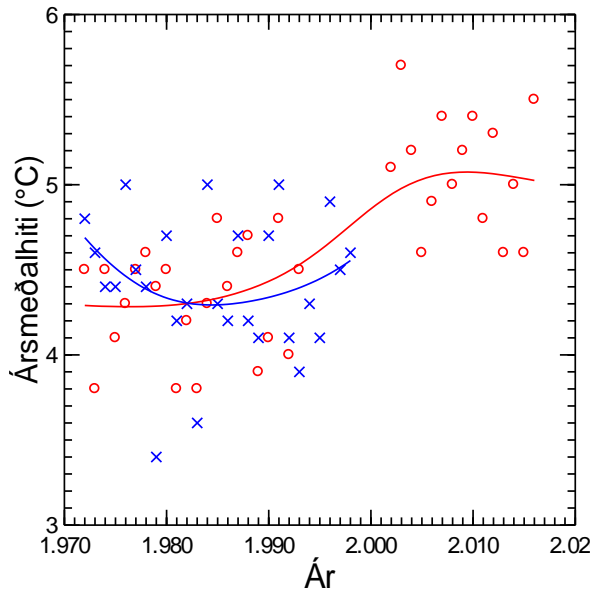
Heimildir: Malmquist et al. 2009; Jeppesen et al. 2010, 2012.

Samanburður við Mývatn

○ Þingvallavatn
× Mývatn

Mælingar í Geirastaðaskurði 1972–1998.

Jón Ólafsson 1999. Rit Fiskideildar 16: 41–57.



Ekki marktækur munur í ársmeðalhita vatnanna 1972–1994 ($t = -0,654$, $ft. = 21$, $P = 0,520$).

Og engin marktækni leitni í ársmeðalhita á tímabilinu (1972–1998), hvorki fyrir Mývatn né Þingvallavatn (neikvæð markt. leitni í Mývatni fyrir jan.-mars).

En Mývatn er mun hlýrra á vorin og sumrin (apríl–ágúst)...

Júlí hlýjasti mánuður Mývatns

	Mýv.	Þingv.
Meðal meðalhiti:	12,6°C	8,4°C
Min meðalhiti:	8,6°C	7,0°C
Max meðalhiti:	15,7°C	10,8°C

...og mun kaldara en Þingvallavatn á haustin (september–desember).

Samanburður við „útlönd“

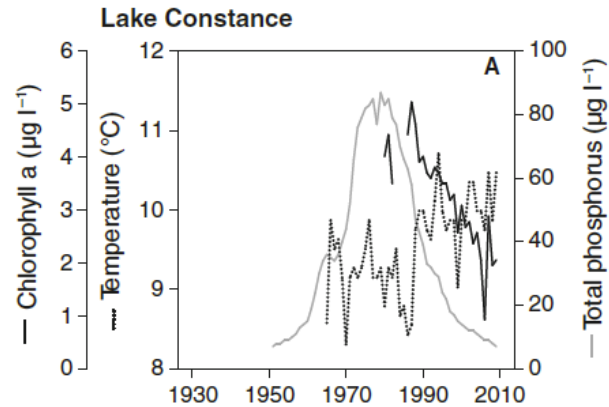
Lake Constance (Bodensee) – Ölpunum

Hlýnun 1965–2009 (0–20 m dýpi): **0,22°C/áratug.**

Hæð y.s.: 400 m.

Flatarmál: 473 km².

Meðaldýpi: 101 m.



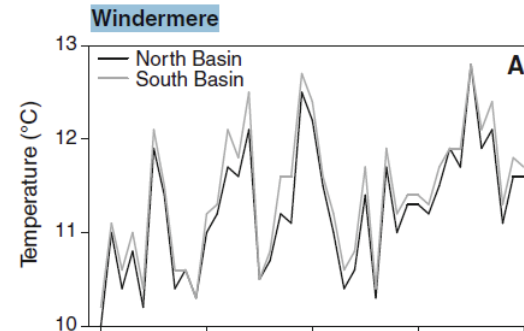
Lake Windermere – Englandi

Hlýnun 1970–2010 (1 m dýpi): **0,26°C/áratug.**

Hæð y.s.: 39 m.

Flatarmál: 15 km².

Meðaldýpi: 25 m.



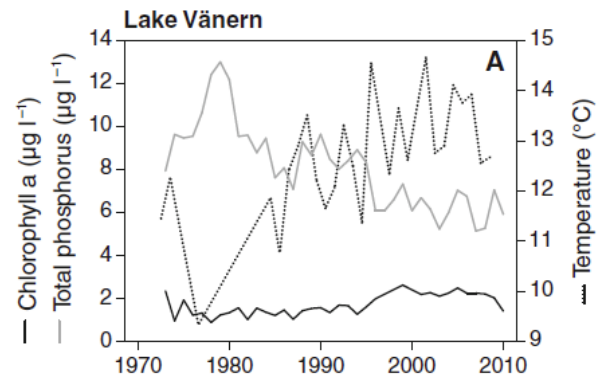
Vänern – Svíþjóð

Hlýnun 1970–2010 (5 m dýpi): **0,6°C/áratug.**

Hæð y.s.: 44 m.

Flatarmál: 5648 km².

Meðaldýpi: 27 m.



Heimild: Jeppesen et al. 2012

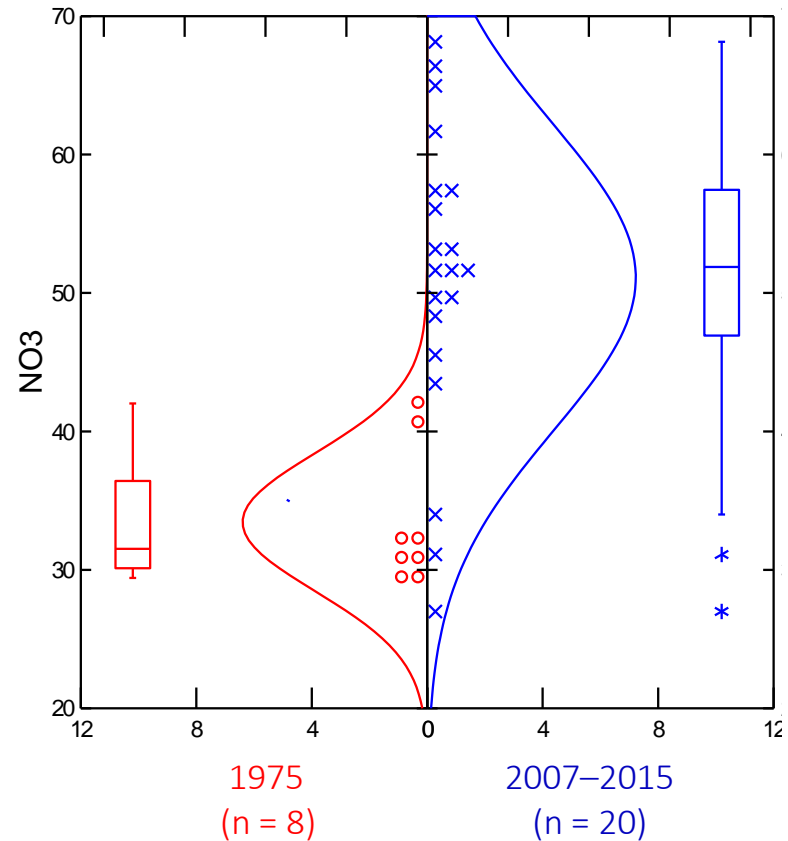
Afleidd áhrif – næringarefni

Aukin ákoma næringarefna

Styrkur nitrats (NO_3) er marktækt meiri nú en fyrir um 40 árum – hefur aukist um ~55%, úr 33 $\mu\text{g/l}$ í 52 $\mu\text{g/l}$ að meðaltali (t-próf, $p < 0,001$).

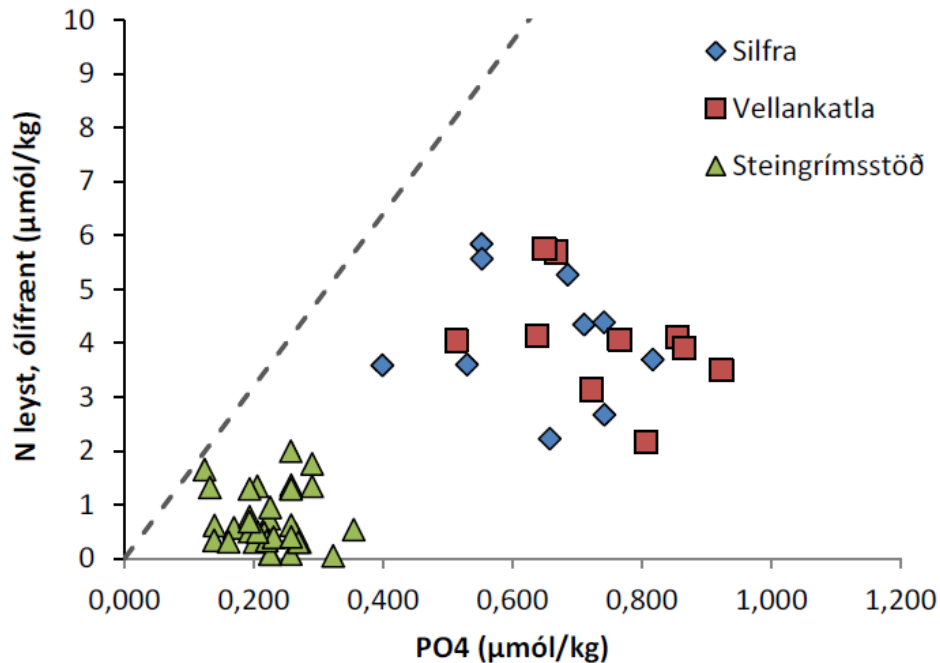
Samskonar aukning mælst í Mývatni (Gunnar St. Jónsson 2016) og er í takt við þróun niturákomu í vötnum á norðurslóð (t.d. Bergstrom & Jansson 2006; de Wit & Lindholm 2010, Baron o.fl. 2011)

Nítratstyrkur ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\mu\text{g/l}$) í írennsli Þingvallavatns, Silfru (og Flosagjá) og Vellankötlu.



Gögn fyrir 1975: Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012; Jón Ólafsson 1992.
Gögn fyrir 2007–2015: Eydis S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2016.

Nitur – lykilbreyta



Eydís S. Eiríksdóttir og Sigurður R. Gíslason 2016.

N og P

aðalnæringarefni frumframleiðenda

Þurfa N og P í hlutfallinu **16:1** (7:1) (brotalínan).

Gróðurinn gerir kröfur um meira af N en P sem nemur þessu hlutfalli.

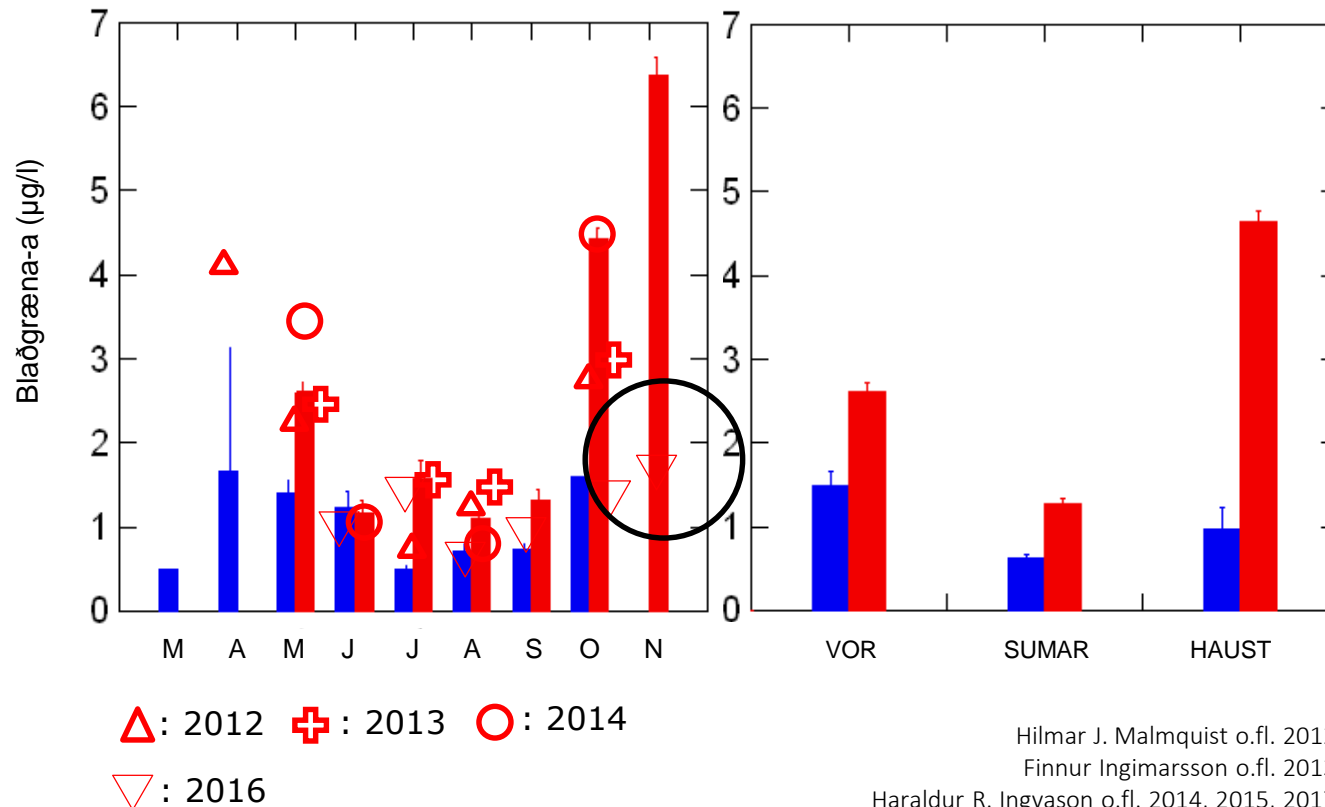
Í Þingvallavatni er þetta hlutfall ekki nema **6:1** (3:1) til **9:1** (4:1). Styrkshlutfall N og P er 4–5 falt undir tilskildu hlutfalli.

Nitur takmarkar frumframleiðslu Þingvallavatns.

Áhrif á lífríkið – aukning í frumframleiðslu

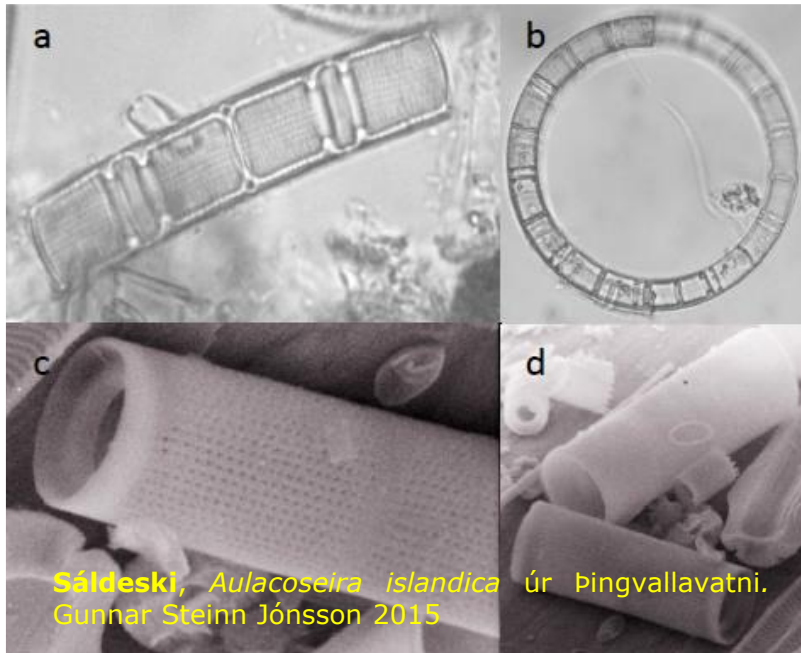
Magn þörungasvifs (blaðgræna-a) marktækt meira nú (2007–11, rauðar súlur, stöð NK2) en fyrir 3–4 áratugum (1979 og 1981–82, Miðfellsdýpi, bláar súlur), 2–4 föld aukning, mest um haust.

.... en ekkert hausthámark 2016 eins og s.l. 10 ár!



Hilmar J. Malmquist o.fl. 2012.
Finnur Ingimarsson o.fl. 2013.
Haraldur R. Ingvason o.fl. 2014, 2015, 2017.

Áhrif á lífríkið – breytingar í tegundasamsetningu?



Sáldeskin *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen og *A. subarctica* (O. Müller) E.Y.Haworth 1990, hafa verið skilgreindar sem ný tegund og undirtegund fyrir vísindin.

Þingvallavatn er því tilvísunarstaður fyrir frumlýsingu beggja tegundanna.

Báðar tegundirnar eru vísbendlar á mikil vatnsgæði.

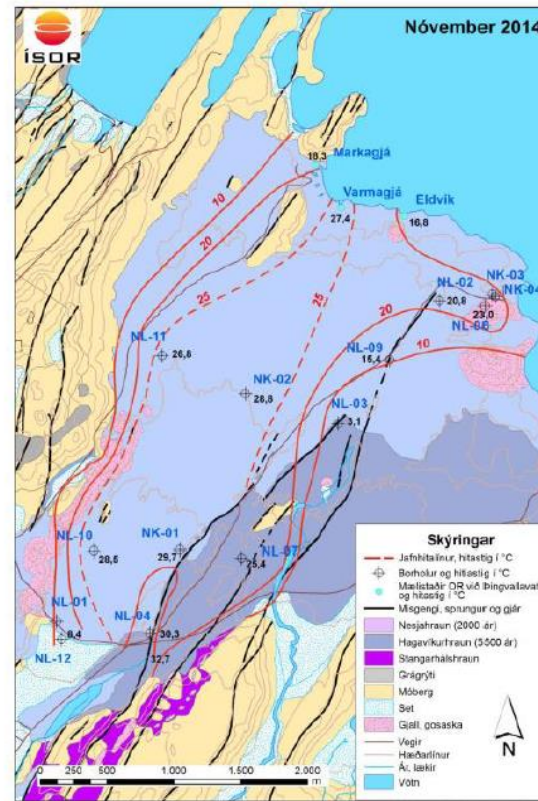
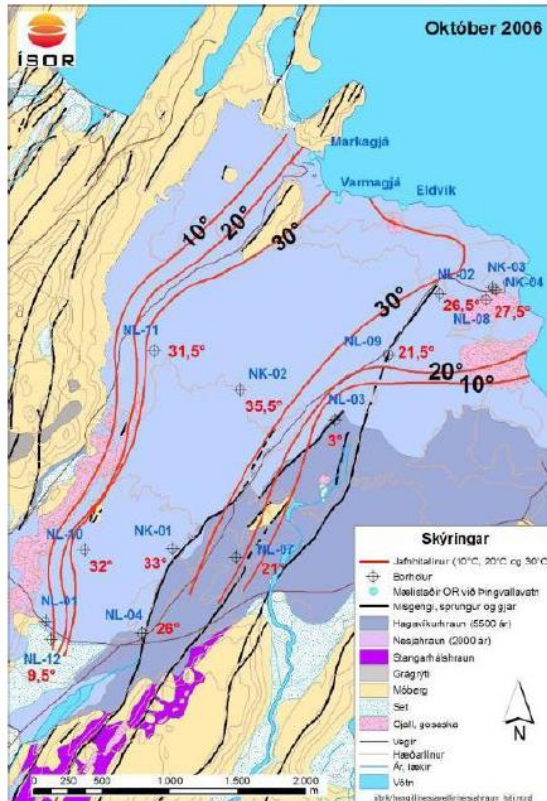
Árið 2016 sker sig úr með fordæmalausum breytingum í tegundasamsetningu svifþörunga.

Þær kísilþörungategundir, einkum sáldeskin *Aulacoseira islandica* og *A. subarctica* (\equiv *A. italica*), sem um áratugaskeið hafa borið uppi frumframleiðslu í svifvist Þingvallavatns (ásamt stjarneskinu *Asterionella formosa*), hurfu nær alfarið úr vatninu árið 2016 (Gunnar Steinn Jónsson, óbirt gögn).

Þessar breytingar, sem líklega er einsdæmi í Þingvallavatni, eru í takt við nýlega þróun í vötnum annars staðar á norðurslóð og raktar hafa verið til samverkandi áhrifa hlýnunar og aukinnar ákomu næringarefna (t.d. Rühland o.fl. 2008, Weckström o.fl. 2016).

Hitamengun frá Nesjavallavirkjun

Heitt affallsvatn (100–150 l/s, 25–32°C) fossar ofan í misgengissprungu við Lækjarhvarf og berst með grunnvatni 5–6 km norður til Þingvallavatns. Veldur staðbundinni hitamengun á ~2 km kafla í fjöruborðinu.



Jafnhitalínur grunnvatnshita á 1 m dýpi í október 2013 og nóvember 2014.

Þórólfur h. Hafstað 2014.

Heimildir:

Þórólfur H. Hafstað 2014. Sigurður S. Snorrason o.fl. 2011. Inland Waters 1: 146–157.

Árni Hjartarson & Sigurður G. Kristinsson. 2011. ÍSOR - 2011/074. 39 bls.

Hilmar J. Malmquist o.fl. 2013. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 2–2013. 24 bls.

Samantekt

- Þingvallavatn hefur hlýnað umtalsvert síðastliðin ~30 ár, um 0,15°C á áratug, sem er álíka hlýnun og í öðrum stórum og djúpum vötnum á norðurhveli.
- Hlýnun vatnsins stafar af hækkandi lofthita á vatnasviðinu, sem er í takt við hlýnandi loftslag á landsvísu og hnattrænt. Hlýnunin hefst upp úr 1985 í lok kuldaskiðs sem varði milli 1965–85.
- Hlýnunin er mest í júní–ágúst, 1,3–1,6°C hækkun á meðalhita mánaðar milli 1962 og 2016, en einnig töluverð um haust og framan af vetri (sept.–janúar), 0,7–1,1°C.
- Vegna hlýnunar leggur Þingvallavatn bæði sjaldnar og seinna og ís brotnar fyrr upp.
- Hlýnunin virðist hafa eflt hitaskil og lagskiptingu í vatninu á sumrin.
- Hreyfi vind meira en 8–10 m/s (sólarhringsmeðaltal) blandast vatnið frá yfirborði og niður úr.
- Afleiðingar hlýnunar á lífríki Þingvallavatns virðast þegar vera staðfestar:
 - Frumframleiðsla í svifvist virðist hafa aukist og er meiri nú en fyrir um 40 árum.
 - Vísbendingar eru um breytingar í tegundasamsetningu svifþörunga – sáldeskin *Aulacoseira islandica* og *A. subarctica*, einkennisþörungur hins hreina og lítt snortna Þingvallavatns, hurfu nær alfarið úr vatninu árið 2016 (en náðu sér aftur á strik 2017).
 - Breytingar meðal frumframleiðendanna má tengja við breytingar í ákomu næringarefna, nitrats (og kísils), sem mælist meiri nú en fyrir um 40 árum.
- Stöndum vörð um Þingvallavatn og aðrar gjafir náttúrunnar – svo okkur og komandi kynslóðum auðnist hamingja og innihaldsríkt líf í sátt við Jörðina.

ÞAKKIR !



Árni B. Stefánsson og Gunnhildur Stefánsdóttir.
Heimildamenn um ísalagnir og -brot.
Þingvallavatn, í janúar 2018.