



Icelandic Museum
of Natural History

Brynjólfsgata 5
IS-107 Reykjavík

S./Tel. 577 1800

nmsi@nmsi.is
www.nmsi.is

Jarðvarmavirkjanir og áhrif á lífríki og vatnsgæði: Affallsvatn frá Nesjavallavirkjun og Þingvallavatn

Dr. Hilmar J. Malmquist

Áhrif jarðvarmavirkjana á nærumhverfið

Málþing á vegum Fjöreggs

Skjólbrekka, Mývatnssveit, 07.11.2015

2000–2015 Hitamengun frá affallsvatni Nesjavallavirkjunar

Aðalheimildir:

Wetang'ula G. & Snorrason S.S. 2005. Geothermal wastewater disposal: chemical stress assessment – Lake Thingvallavatn, Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2005. 249 April 2005. Antalya (Turkey)*. p 1-15.

Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist, Hrefna B. Ingólfssdóttir, Þórey Ingimundardóttir and Jón S. Ólafsson. 2011. Effects of geothermal effluents on macrobenthic communities in a pristine subarctic lake.

Inland Waters 1: 146–157.

Árni Hjartarson & Sigurður G. Kristinsson. 2011. Grunnvatn við Nesjavallavirkjun. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/074. 39 bls.

Þórólfur H. Hafstað. 2014.

1989–2012 Efnamengun frá affallsvatni Nesjavallavirkjunar

Aðalheimildir:

Wetang'ula G. & Snorrason S.S. 2005. Geothermal wastewater disposal: chemical stress assessment – Lake Thingvallavatn, Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2005. 249 April 2005. Antalya (Turkey)*. p 1-15.

Zarandi, S.S.M.M. & Ívarsson G. 2010. A review on waste water disposal at the Nesjavellir geothermal power plant. *Proceedings World Geothermal Congress 2010. 25–29 Apr 2010. Bali (Indonesia)*. p. 1-11.

Hilmar J. Malmquist, Hrönn Ólína Jörundsdóttir, Natasa Desnica, Finnur Ingimarsson, Haraldur Rafn Ingvason, Stefán Már Stefánsson og Helga Gunnlaugsdóttir. 2013. Vöktun á snefilefnum í Þingvallavatni vegna Nesjavallavirkjunar. Náttúrufræðistofa Kópavogs. *Fjölrit nr. 2–2013. 24 bls.* (English summary).

Önnur gögn

Hilmar J. Malmquist o.fl. 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).

Nesjavallavirkjun, nýting jarðhita á háhitasvæði Hengilsins. Nesjavellir, Nesjakraun, Þingvallavatn, Langjökull.



Hengill, eitt öflugusta háhitasvæði landsins.

1946: Tilraunaborholur, staðb. nýting.

1990: Nesjavallavirkjun gangsett.

100 MWth varmaafll.

1998: 60 MWe rafafll og 200 MWth.

2001: 90 MWe og 200 MWth.

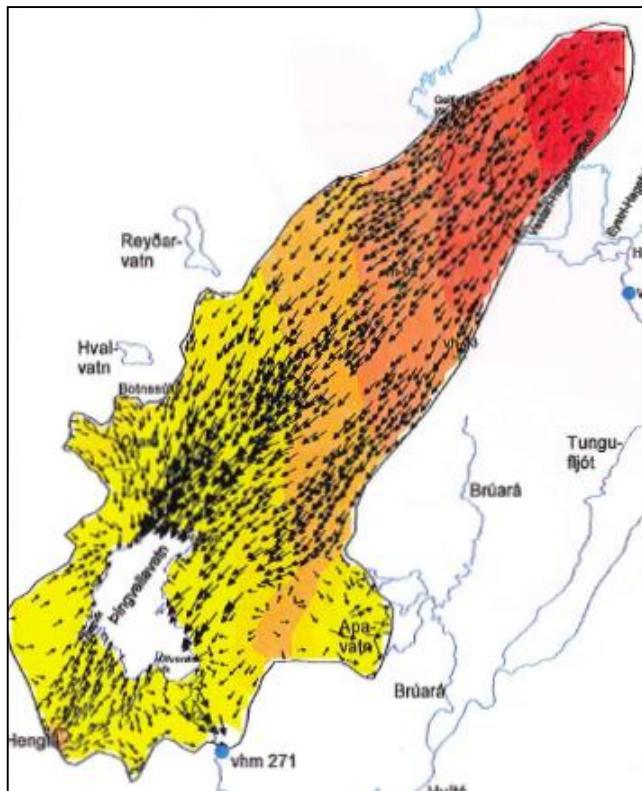
2005: 120 MWe og 300 MWth.

Heitt affallsvatn, 45–80 ° C, leitt í nálægan læk, síðar (frá og með 1999) einnig í grunna brunna (~25 m) og dýpri borholur (400–800 m) nærri virkjun.

Heitt affallsvatn (þétti-, skilju- og kælivatn) allt að 2000 l/s.

Við Grámel er dælt köldu grunnvatni úr borholum (5–7 ° C, ~2000 L s⁻¹), leitt til stöðvar, hitað upp í 87° C og áfram til höfuðborgarsvæðisins.

Grunnvatnsstraumar



Heild: ~ 100 m³/s

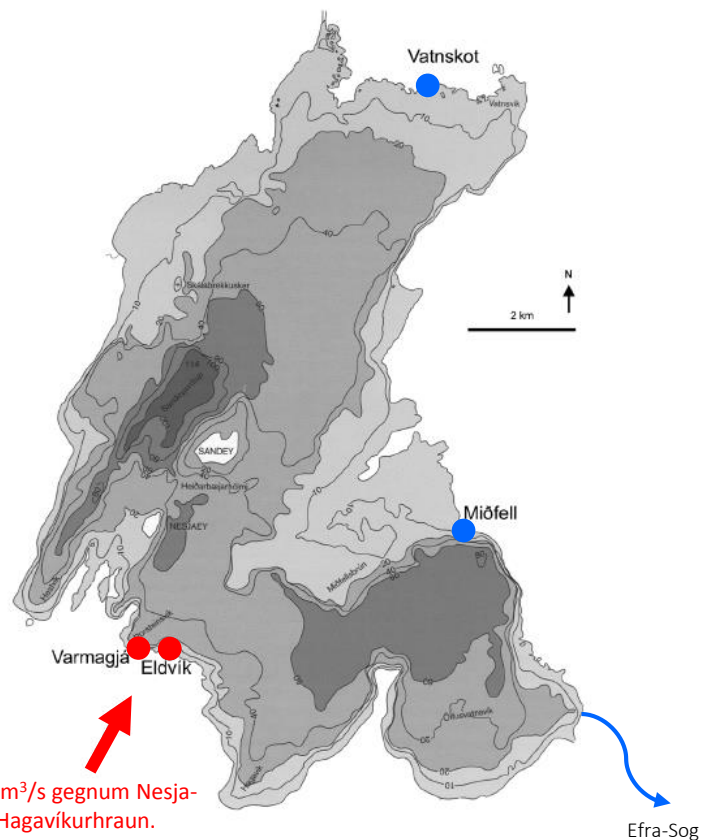
Almannagjárstrumur: ~ 30 m³/s, 3,0–3,2° C

Hrafnagjárstrumur: ~ 20 m³/s, 2,7–2,9° C

Miðfellsstrumur: ~ 25 m³/s, ~4° C

Að vestan og sunnan: ~ 15 m³/s, 4–10° C

Mælistöðvar v. snefilefna og vatnshita



~ 2 m³/s gegnum Nesja- og Hagavíkurhraun.

■ Nesjavallavirkjun
~6 km frá Þingvallavatni

Við Lækjarhvarf. Heitt affallsvatn frá Nesjavallavirkjun rennur að hluta til í Nesjavallalæk sem myndar grunnt lón áður en vatnið fossar ofan í misgengissprungu í Nesjahrauni.



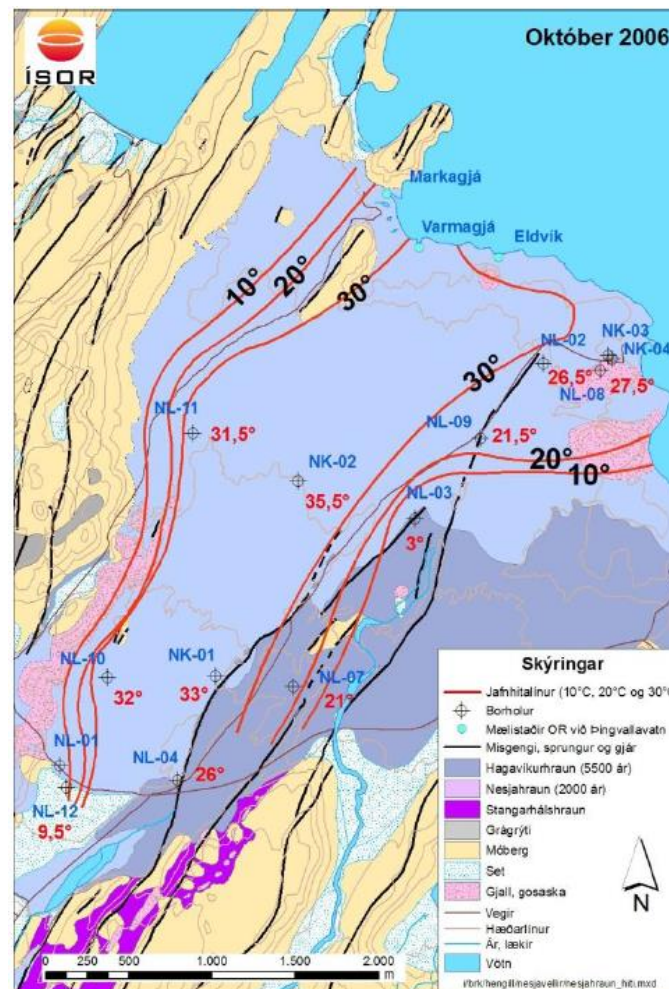
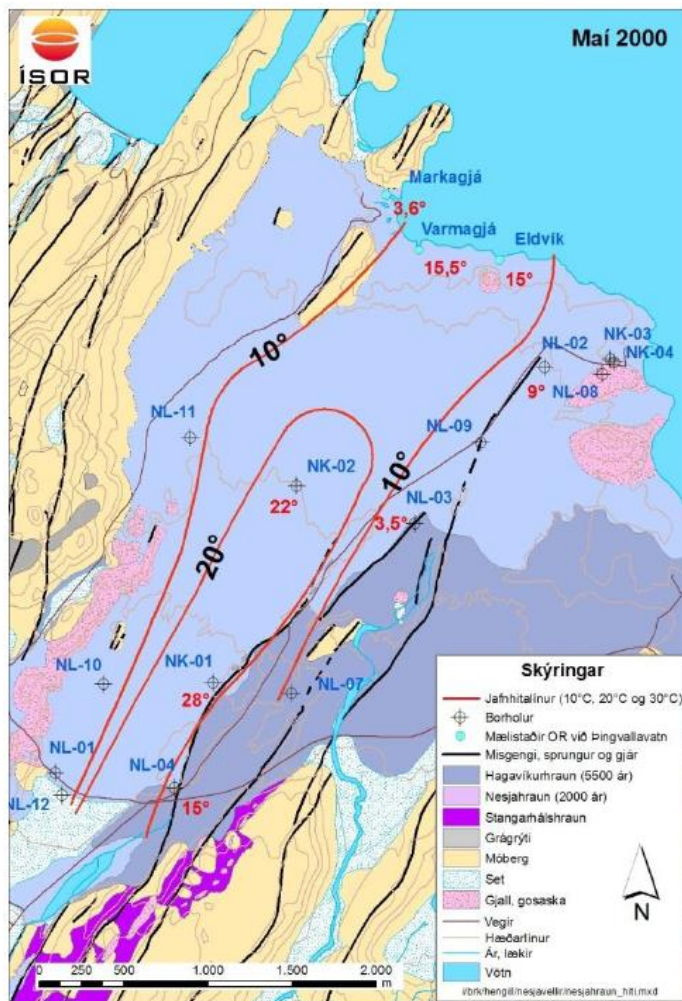
NESJAVALLAVIRKJUN

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



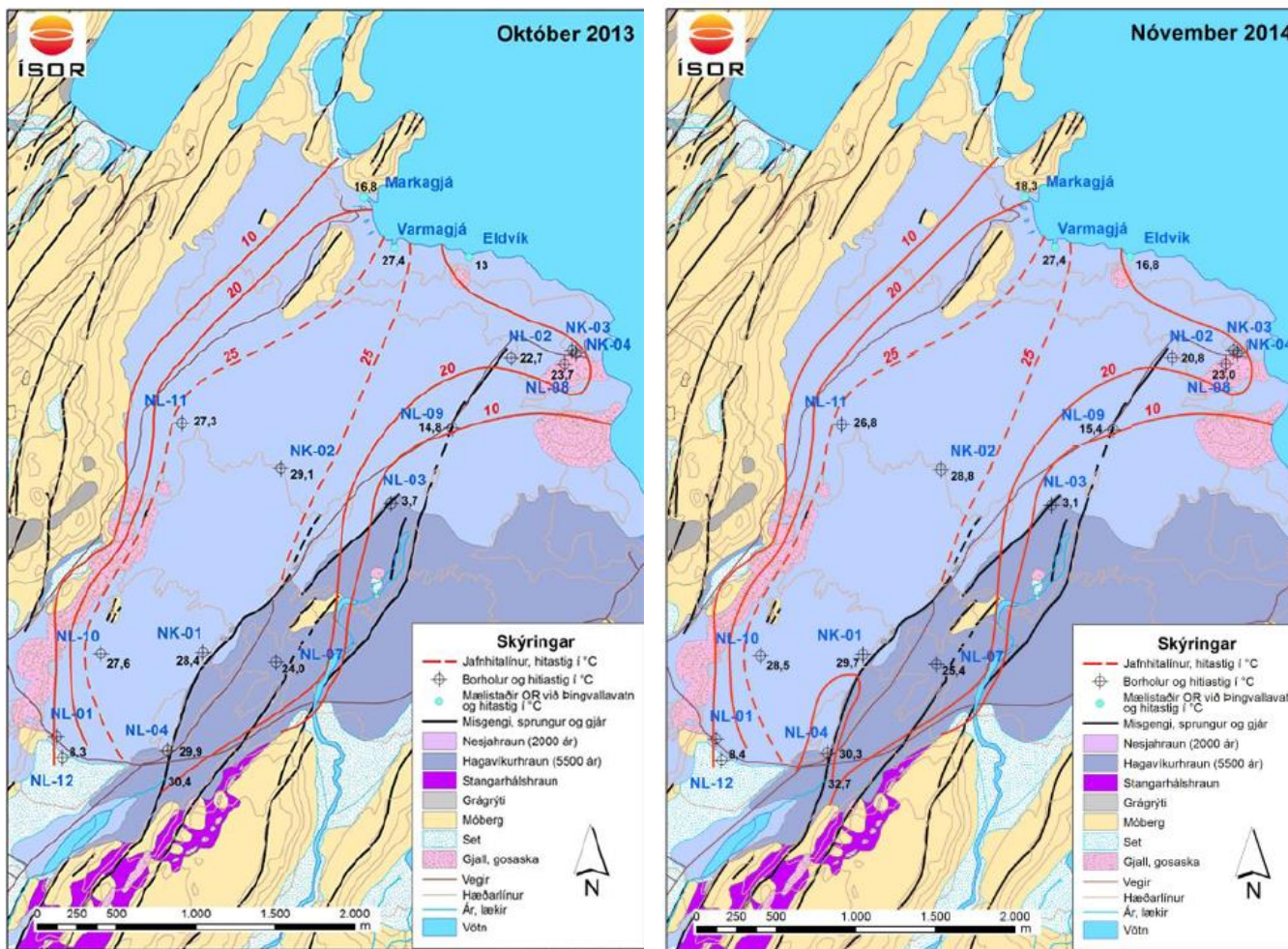
Árni Hjartarson & Sigurður G. Kristinsson, 2011.

Jafnhitalínur grunnvatnshita á 1 m dýpi í maí 2000 og október 2006.



Árni Hjartarson & Sigurður G. Kristinnsson. 2011.

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

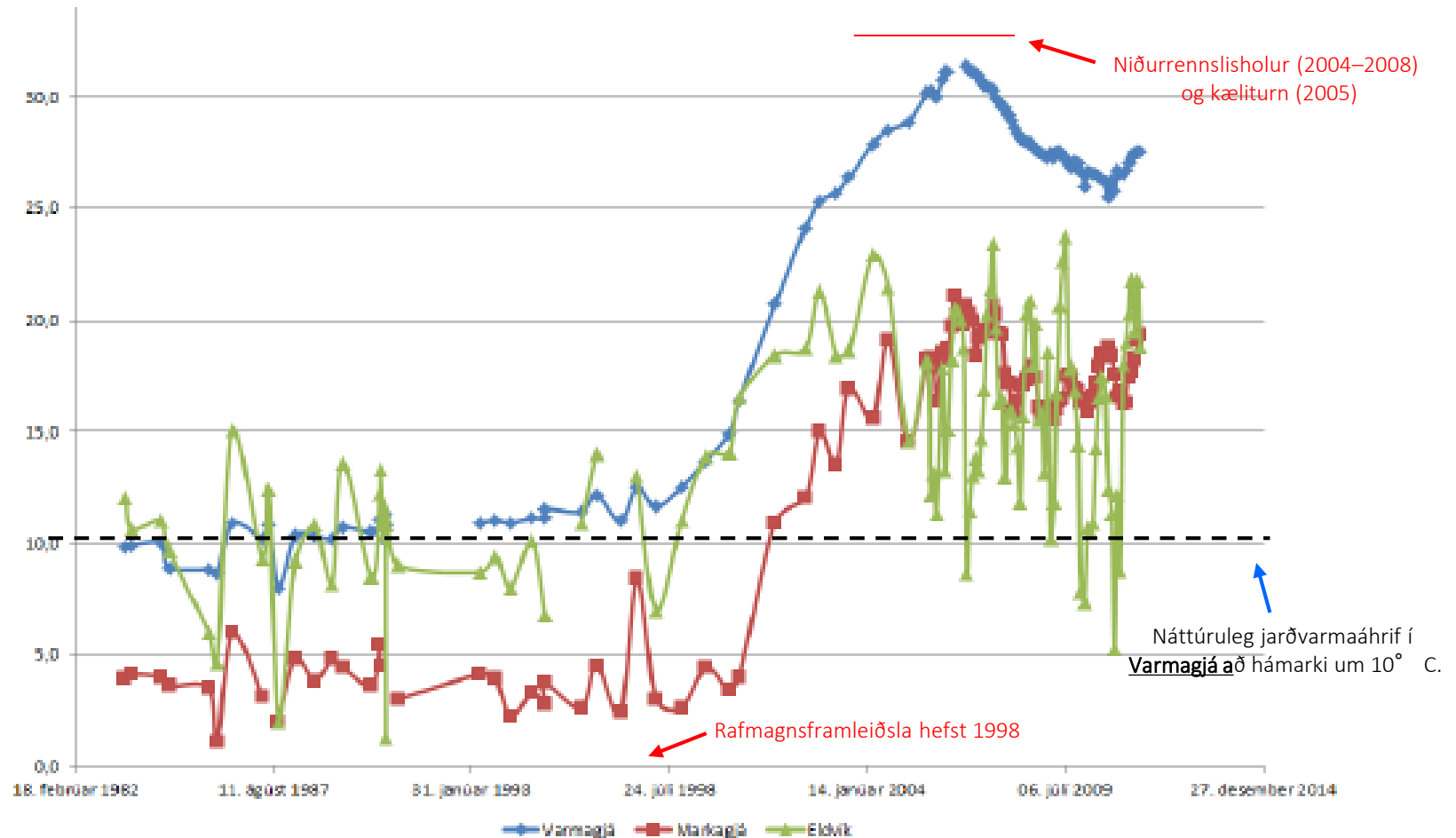


iss/ann/hvinnun/01/mv0214/2014/204-cesahraun/01/hsh/01/mv

Þórólfur H. Hafstað. 2014.

HITAMENGUN

Vatnshiti í þremur lindum við Þingvallavatn á árabílinu 1983-2014. Þegar upp úr 1995 varð vart við jarðhitaáhrif frá vinnslunni. Árið 1998 hófst rafmagnsframleiðsla við virkjunina og við það jókst frárennsli heits affallsvatns verulega.



HITAMENGUN

Hitamengun frá Nesjavallavirkjun haustið 2010 við sunnanverða strönd Þingvallavatns. Mynd tekin 26.10.2010 NA af Sandey.



↑
Sigguvík

↑
Eldvík

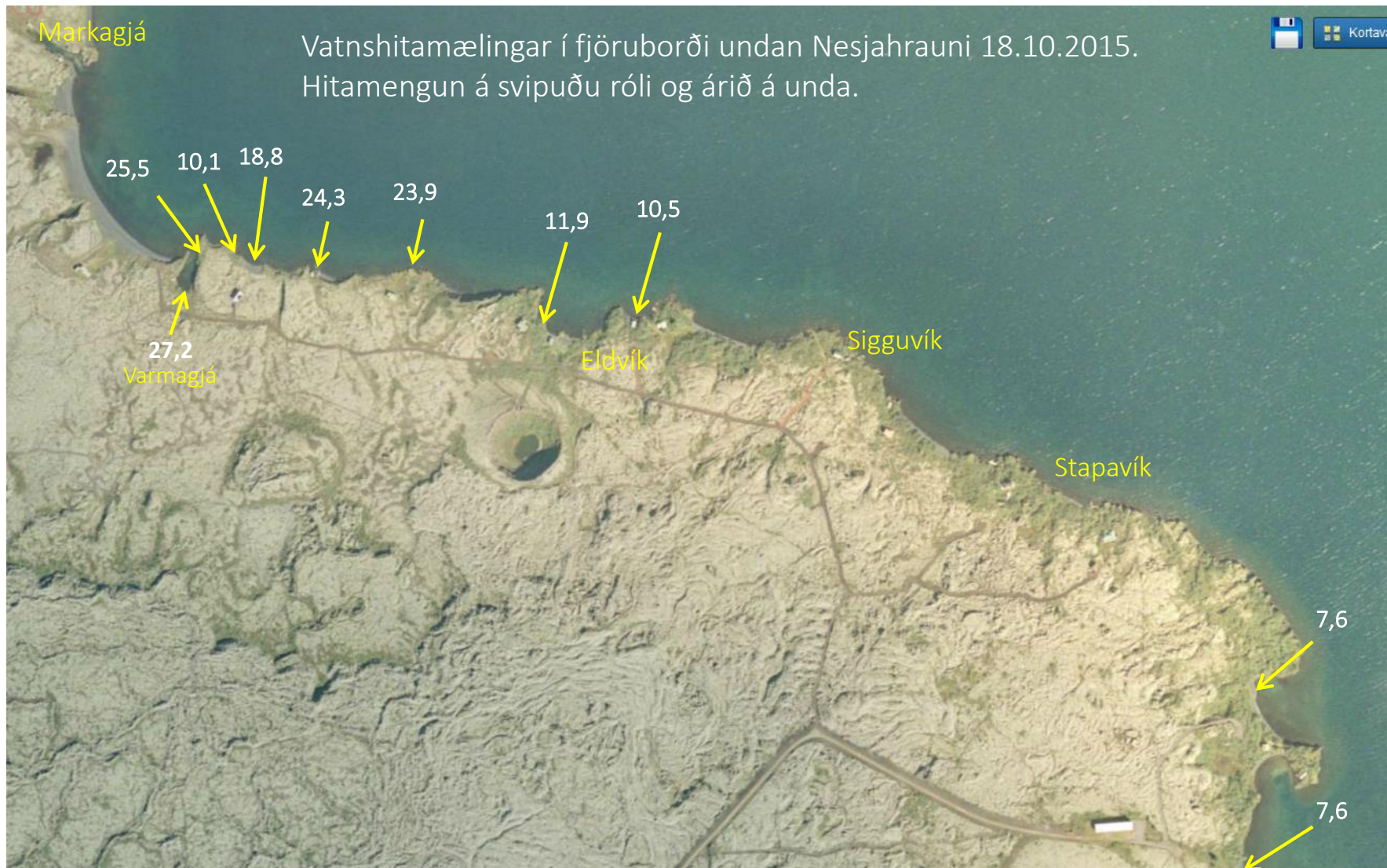
↑ ↑
Varmagjá Markagjá

© Náttúrufræðistofa Kópavogs
26.10.2010

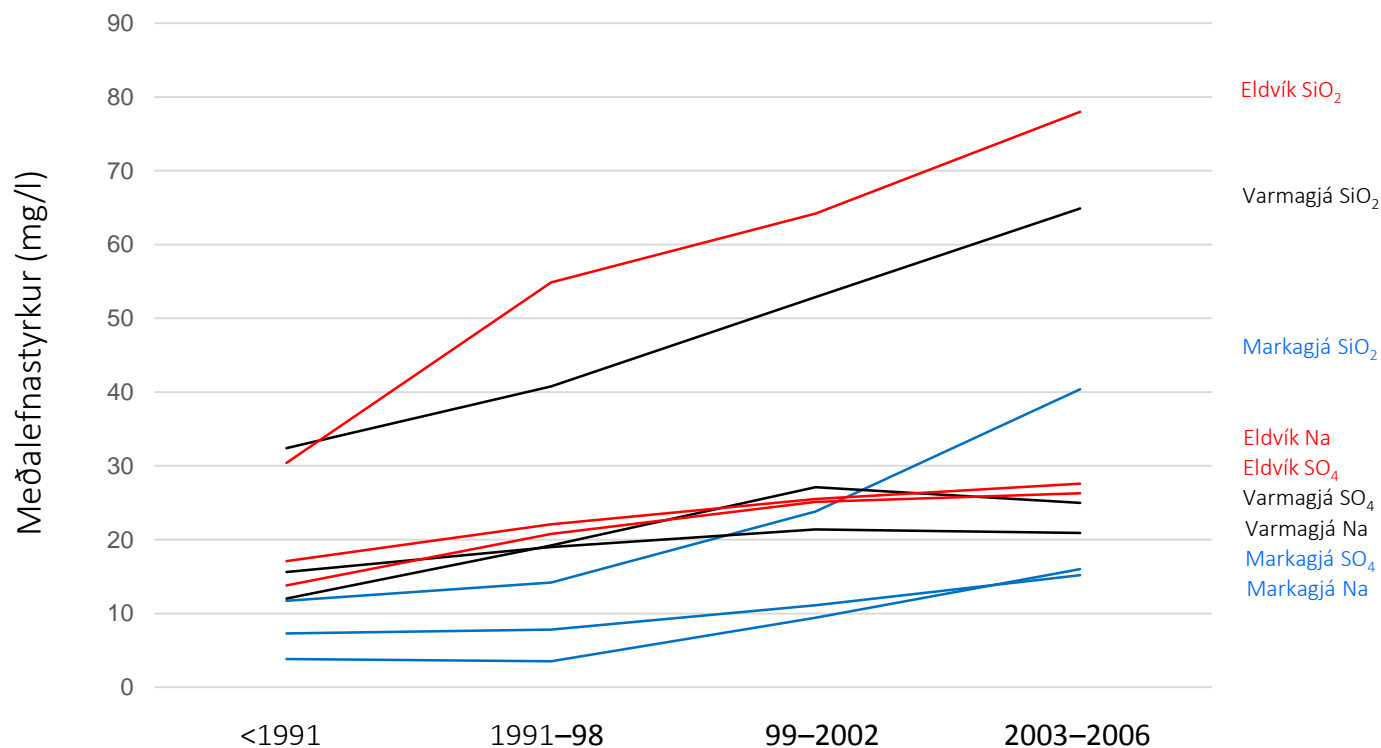
HITAMENGUN

Markagjá

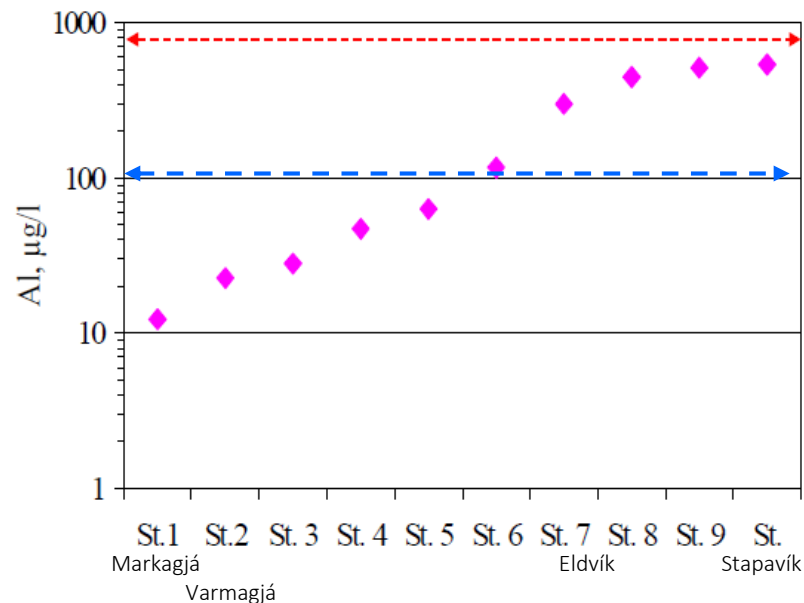
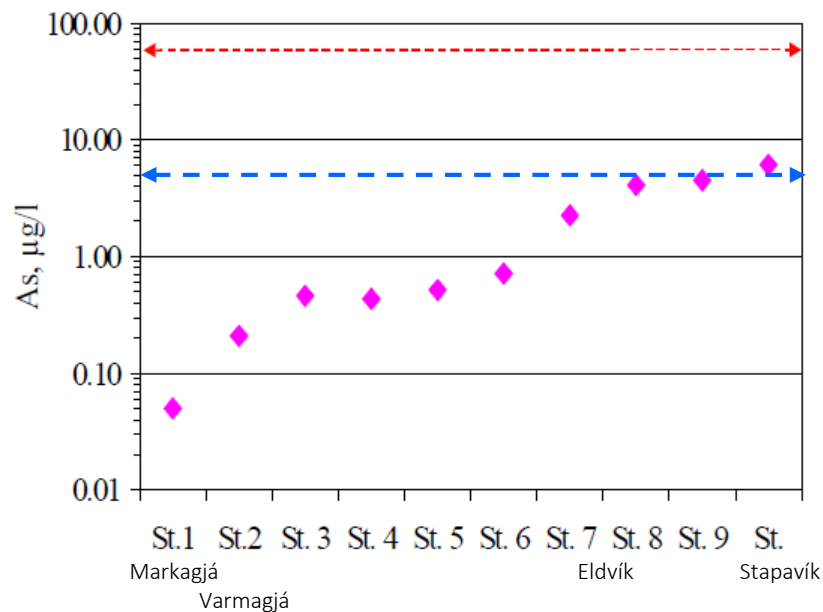
Vatnshitamælingar í fjöruborði undan Nesjahrauni 18.10.2015.
Hitamengun á svipuðu róli og árið á unda.



Helstu breytingar í efnastyrk í lindum við Þingvallavatn vegna áhrifa frá affallsvatni Nesjavallavirkjunar fram til 2006. Samskonar aukning sést í K, Ca og F. Markagjá fyrir 1991 er náttúrulegt grunnviðmið. Áhrifin magnast upp úr 1998, aukast frá vestri til austurs og ná austur fyrir Eldvík (koma fram í Siggu- og Stapavík) en eru horfin við Markartanga (ekki sýnt hér).



Styrkur snefilefna í lindarvatni og vatni í fjöruborði við Þingvallavatn. Mælingar frá júní 2003.



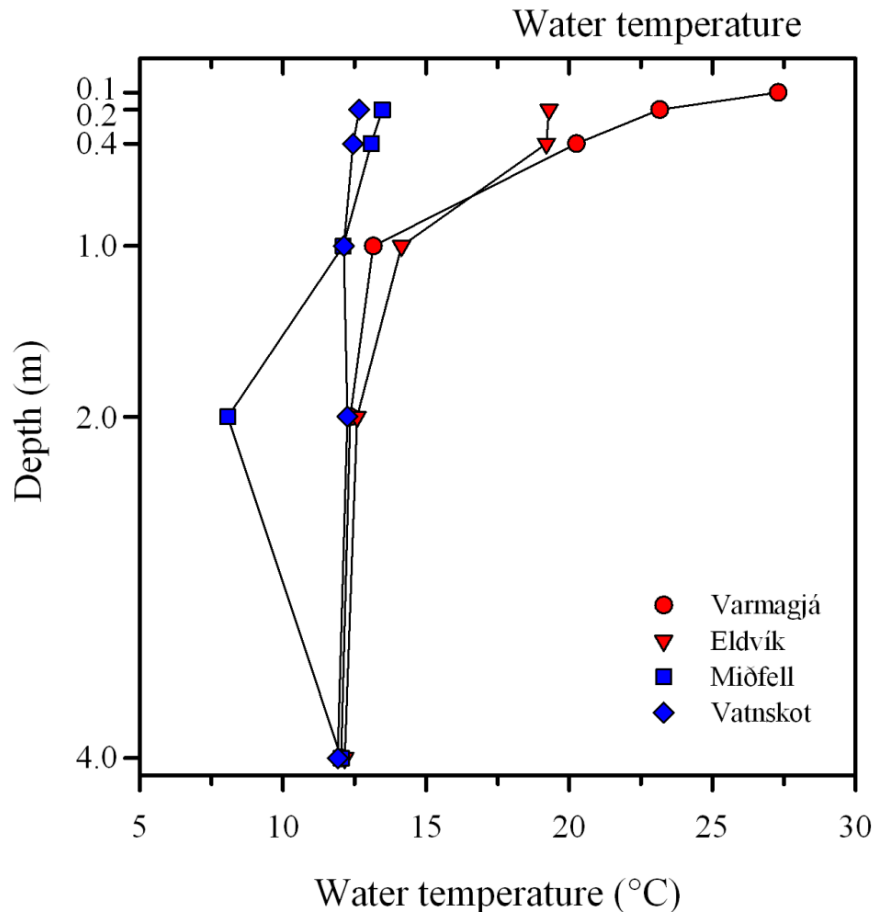
Styrkur arsens og áls (einnig borons og kísils) var minnstur í Markagjá vestast á svæðinu og jókst eftir því sem austar dró.

Rauðu brotalínurnar sýna reiknuð styrkgildi ef engin væri þynningin við rennsli gegnum Nesjahraun.

Bláu brotalínurnar sýna umhverfismörk í yfirborðsvatni til verndar lífríki (As=5 µg/l og Al= 100 µg/l).

Við hærri styrk er að vænta áhrifa á viðkvæmt lífríki (sbr. reglugerð 796/1999, CCME 1999 og SEPA 1991).

Vatnshitamælingar 22.–29. ágúst 2003



Árið 2003 gætti hitaáhrifa niður á ~1,0 m dýpi við Eldvík og Varmagjá, mest á 0,2 og 0,4 m dýpis hverfa hitaáhrifin hratt.

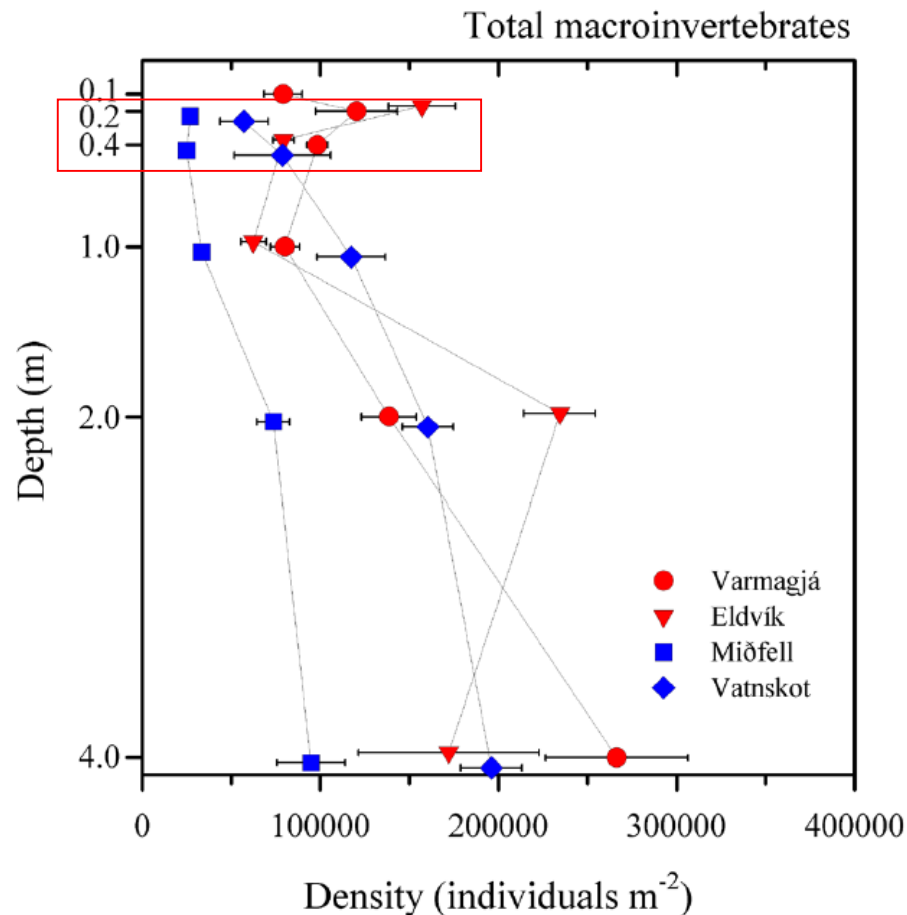
Í Varmagjá var T fyrir virkjun 7,5–10,7° C, en núna allt að 33° C. Utan við Varmagjá mældist T 12,0–23,2° C.

Í Eldvík var T 12,2–19,3° C.

T á ≤ 0,4 m dýpi á áhrifastöðunum var 7–12° C hærra en á viðmiðunarstöðunum (8,5–13,5C).

Hámarkshiti Þingvallavatns að sumri til er 12–13° C.

Þéttleiki hryggleysingja á hraungrýti.

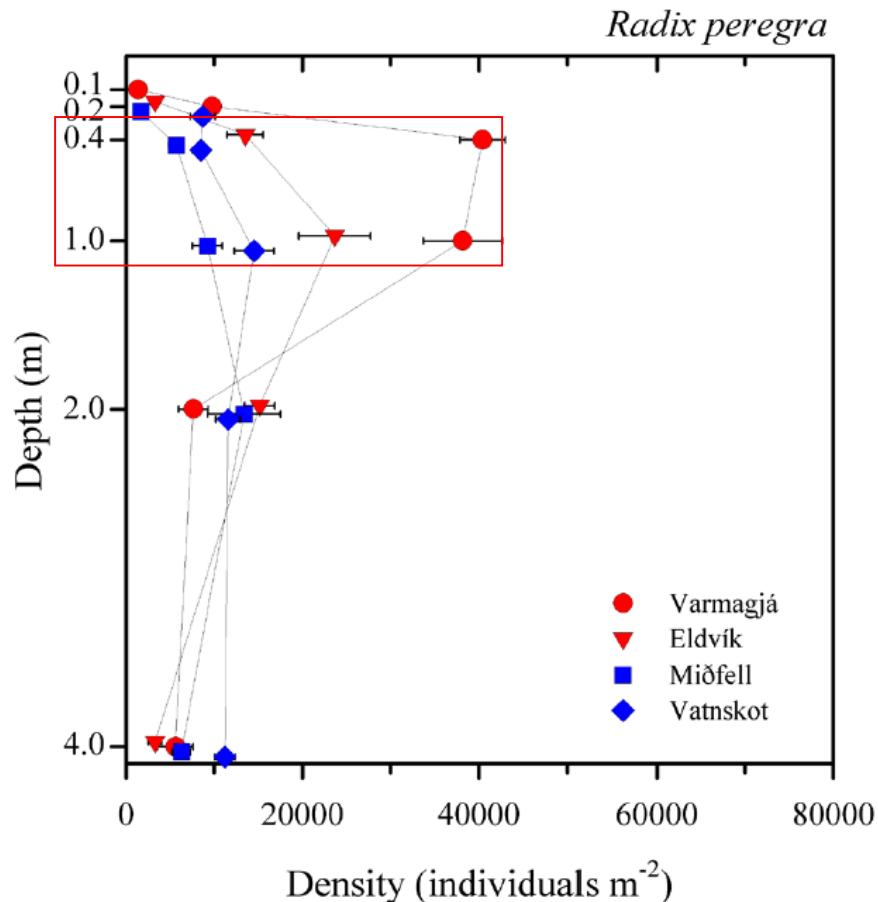


Almennt þá jókst þéttleiki dýra með auknu dýpi.

Þéttleiki dýra var í öllum tilvikum minnstur við Miðfell.

Á 0,2 m og 0,4 m dýpi var þéttleiki dýra meiri á áhrifastöðunum en viðmiðunarstöðum (SNK post hoc test: $p < 0.05$).

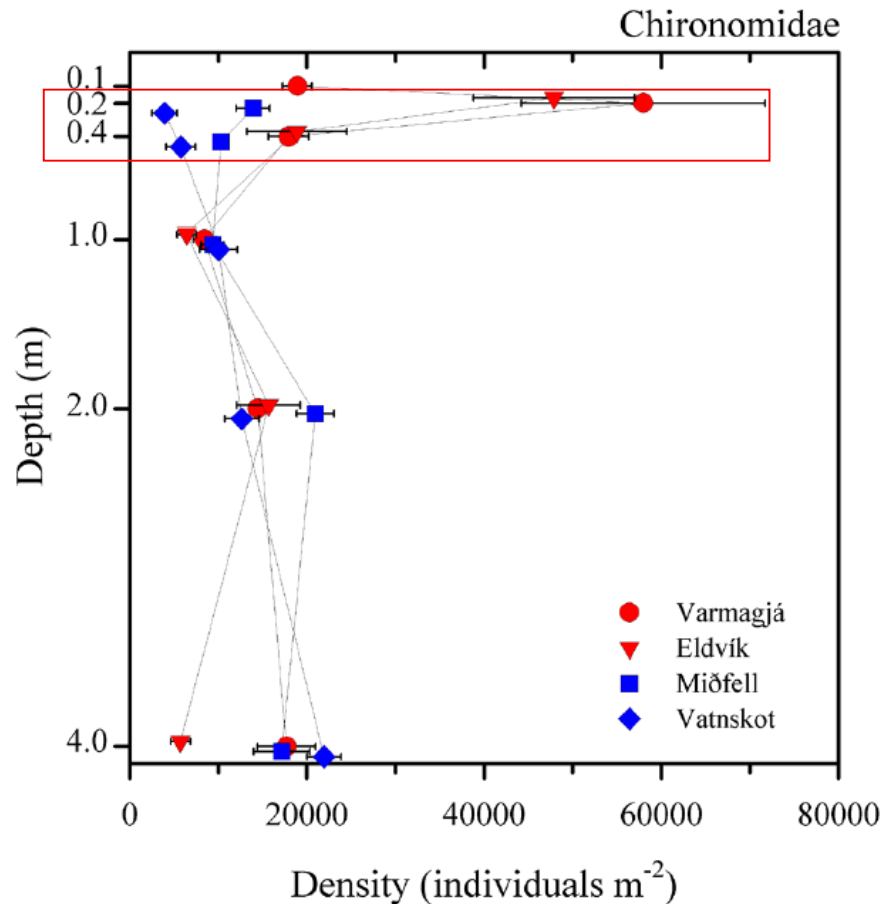
Þéttleiki vatnabobba á hraungrýti.



Þéttleiki vatnabobba á 0,4 m og 1,0 m dýpi var meiri á áhrifastöðunum Eldvík og Varmagjá en viðmiðunarstöðunum tveimur (Mann-Whitney; $p < 0.001$).

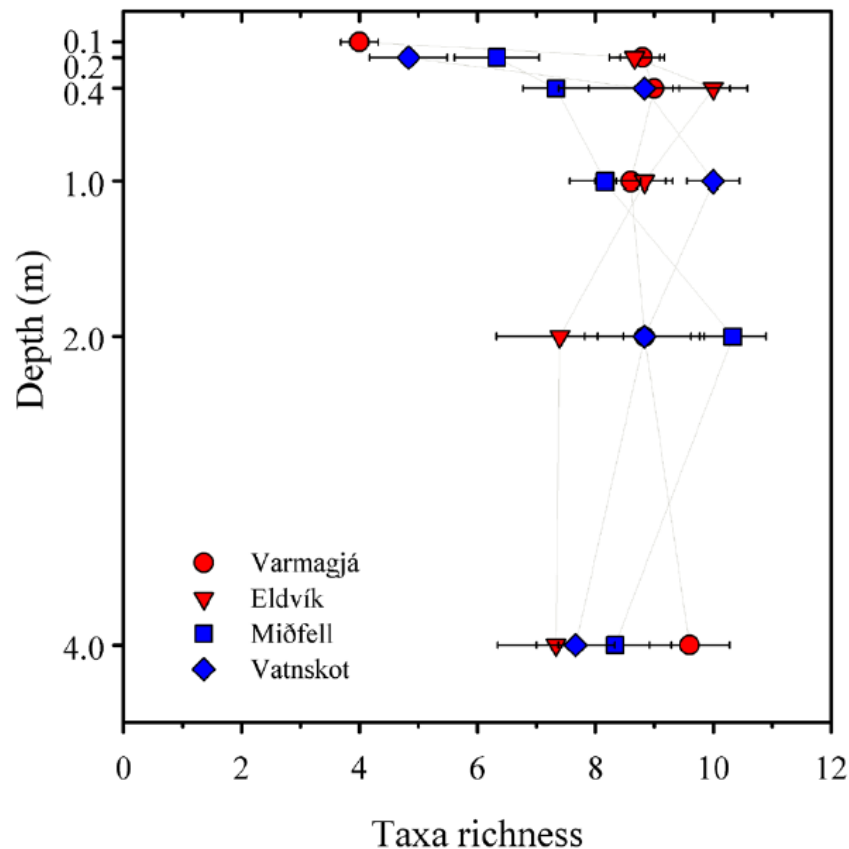
Þéttleiki vatnabobba innst í Varmagjá, þar sem heitt vatn streymir inn ($\sim 25\text{--}32^\circ\text{C}$), var minnstur í samanburði við allar aðrar stöðvar (SNK post hoc test; $p < 0.05$).

Þéttleiki rykmýslirfa á hraungrýti.



Þéttleiki rykmýslirfa á 0,2 m og 0,4 m dýpi var meiri á áhrifastöðunum Eldvík og Varmagjá en viðmiðunarstöðunum tveimur (Mann-Whitney; $T= 196$, $p =0.009$).

Tegundafjölbreytileiki rykmýs á hraungrýti.



Fæstar rykmýstegundir, aðeins 4 hið mesta, voru innst í Varmagjá, þar sem heitt vatn streymir inn ($\sim 25\text{--}32^\circ\text{C}$).

Á grunnslóð á báðum áhrifastöðum, einkum þó í Varmagjá, var ættkvíslin *Paratanytarsus* mjög áberandi. Innst í Varmagjá var *Paratanytarsus* ásamt *Cricotopus sylvestris*, sem er kunn fyrir hitaþol, allsráðandi tegundir.

Paratanytarsus fannst í afar litlum mæli á viðmiðunarstöðunum tveimur. Þessi ættkvísl hefur ekki áður verið greind í Þingvallavatni.

Snefilefnamælingar 1989–2012 á vegum Orkuveitu Reykjavíkur (AMSUM).
Sjö rannsóknir: 1989, 1994, 1995, 1996, 2000, 2006 og 2012.

Mældar efnabreytur (vistkerfisnálgun):

Botnset: Hg, As, Se, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn. Kolefni (C) og glæðirest.

Síkjamari: Hg, As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn. Þurrefni og glæðirest.

Vatnabobbi: Hg, As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn. Þurrefni og glæðirest.

Dvergbleikja: Hg (vöðvi), As, Se, Cu, Cd, Pb, Mn. Þurrefni og glæðirest.

Mælt á áhrifastað (í Varmagjá) og viðmiðunarstað (Miðfell, Mjóanes og eða Vatnskot).

Ekki til íslensk viðmiðunarmörk fyrir þungmálma í seti, jurtum eða hryggleysingjum í ferskvatni!

Auk þess mælingar á kvikasilfri í urriða í sérstökum rannsóknum.

Guðjón Atli Auðunsson, Jón Ólafsson, Guðni Guðbergsson & Hilmar J. Malmquist 2011. Kvikasilfur í urriða (*Salmo trutta*) á Íslandi. Útdráttur í ráðstefnuriti, *Umhverfismengun á Íslandi. Vöktun og rannsóknir*. Bls. 22.

Snefilefnamælingar í lífríki 1989–2012.

NIÐURSTÖÐUR (mg/kg):

		BOTNSET									
		As	Hg	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Se	Fe	Mn
Viðmiðunarstaður	Meðaltal	1,17	0,014	10,6	56	55	0,18	152	2,5	39.394	548
	St.sk.	0,1	0,003	7,85	8	7	0,03	24	0,4	7.238	173
Áhrifastaður	Meðaltal	1,27	0,039	9,34	47	58	0,16	73	4,1	23.435	387
	St.sk.	0,28	0,021	6,68	6	5	0,02	14	0,6	4.144	118
p-gildi		0,757	0,014	0,909	0,376	0,687	0,354	0,009	0,04	0,072	0,465

Meira af Se (og Hg) á áhrifastað. Óvenjuhátt Hg mældist 2006 en lítið 2012.

Meira af Zn á viðmiðunarstað.

		SÍKJAMARI									
		As	Hg	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Se	Fe	Mn
Viðmiðunarstaður	Meðaltal	2,13	0,04	37,45		20	0,144	53	2,15		688
	St.sk.	0,44	0,01	34,45		6	0,068	18	0,36		187
Áhrifastaður	Meðaltal	1,58	0,03	0,8		73	0,305	40	1,44		41
	St.sk.	0,69	0,01	0,22		23	0,046	11	0,39		17
p-gildi		0,341	0,476	0,269		0,088	0,073	0,574	0,222		0,006

Meira af Mn á viðmiðunarstað. Koparstyrkur mikill á áhrifastað skv. sænskum viðmiðum fyrir mosa. (Líklega staðbundin blýmengun á viðmiðunarstað).

Snefilefnamælingar í lífríki 1989–2012.

NIÐURSTÖÐUR (mg/kg):

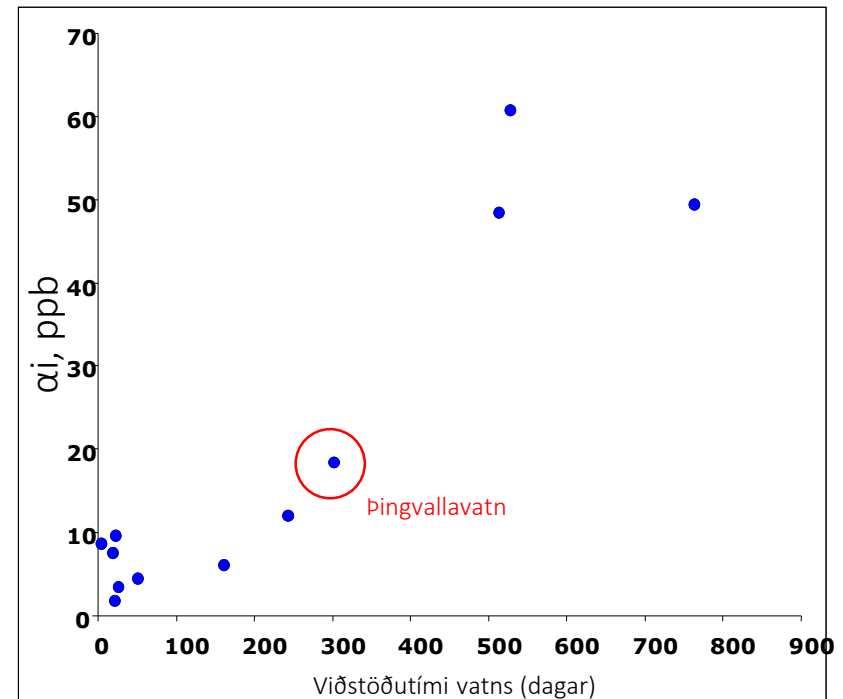
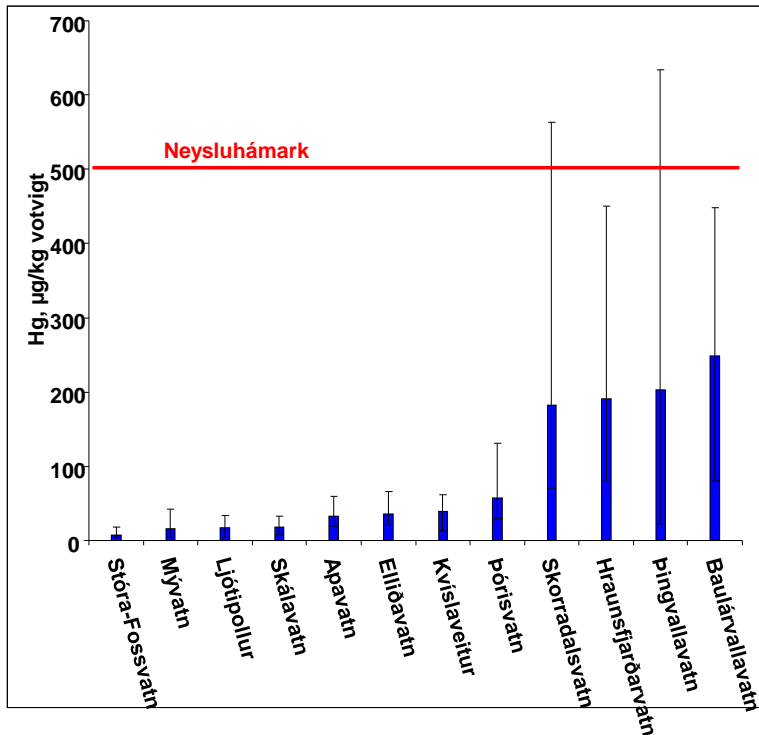
		VATNABOBBI									
		As	Hg	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Se	Fe	Mn
Viðmiðunarstaður	Meðaltal	2,06	0,036	0,8		34	0,18	67	2,8		126
	St.sk.	0,36	0,012	0,33		8	0,03	15	0,4		18
Áhrifastaður	Meðaltal	3,27	0,087	0,35		63	0,96	46	2,3		45
	St.sk.	0,46	0,053	0,11		12	0,55	7	0,6		9
p-gildi		0,084	0,920	0,143		0,113	0,265	0,202	0,54		0,002

Meira af Mn á viðmiðunarstað.

		DVERGBLEIKJA									
		As	Hg	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Se	Fe	Mn
Viðmiðunarstaður	Meðaltal	0,170	0,029	0,077	0,12	60	0,08	34,6	3,46		2,38
	St.sk.	0,016	0,008	0,026		10	0,01	1,7	0,38		0,43
Áhrifastaður	Meðaltal	0,364	0,023	0,041	0,06	223	0,07	38,8	4,04		1,66
	St.sk.	0,081	0,008	0,012		36	0,01	2,2	0,41		0,12
p-gildi		0,186	0,613	0,730		0,001	0,397	0,178	0,310		0,129
Reglugerð 265/2010:			0,500	0,300			0,05				

Meira af Cu í lifur dvergbleikju á áhrifastað (ath! fáir fiskar).
(Magn kadmíum yfir hámarksörkum í fiskholdi).

Rannsókn árið 2008 á kvikasilfri í urriða í 12 vötnum.



Magn kvikasilfurs í urriða eykst með aldri (stærð) þeirra og viðstöðutíma vatnsins sem þeir lifa í:

- 1) vegna lífmögnunar (uppsöfnun metýlkvikasilfurs í fituríka vefi milli fæðuþrepa) og líklega,
- 2) að magn metýlkvikasilfurs í vötnum eykst með vaxandi viðstöðutíma.

Lög nr. 47/2004 um þjóðgarðinn á Þingvöllum

„4. gr. 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.“

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) (reglugerð nr. 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 - **Heimsminjaskráning**: Þingvellir og nyrsti hluti Þingvallavatns innan þjóðgarðsins v. einstaks menningarlandslags.

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

- ✓ Heitt affallsvatn frá Nesjavallavirkjun hefur áhrif á efna- og eðlisþætti og lífríki í Þingvallavatni:
 - hitamengun í yfirborðsvatni meðfram strönd Nesjahrauns á um 2 km kafla,
 - efnamengun í yfirborðsvatni meðfram strönd Nesjahrauns, einkum As, Al og B, en einnig mikil hækkun í SiO_2 , SO_4 , Na, K, Ca. og F,
 - efnamengun í lífríki, sem líklega stafar frá heitu affallsvatni, mælist í botnseti (selen) og dvergbleikju (kopar og e.t.v. kvikasilfur),
 - þar sem staðbundinnar hitamengunar gætir mest (innst í Varmagjá, +15-20° C) fækkar tegundum hryggleysingja og magn þeirra minnkar jafnframt
 - þar sem hitamengun er væg (+10° C) fjölgar tegundum og magnið vex
- ✓ Mótvægisáðgerðir (niðurrennslisholur og „úðunarkæling“) hafa ekki skilað viðunandi árangri. Verið er að spá í dýpri niðurdælingu og fráveitu út fyrir svæðið (Kýrdalur og Mosfellsheiði).
- ✓ Þingvallavatn skal njóta verndar skv. landslögum og alþjóðasáttmála SP um menningar- og náttúruarfleifð mannkyns á grundvelli sérstakrar náttúru á heimsvísu.