

Þingvallavatn - ákoma og afrennsli

Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið



Gunnar Steinn Jónsson



UMHVERFIS- OG
AUÐLINDARÁÐUNEYTIÐ

Þingvallavatn - ákoma og afrennsli

Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið

Höfundur: Gunnar Steinn Jónsson líffræðingur

gunnar.steinn@internet.is

gsj@rorum.is

Forsíðumynd frá Þingvöllum: Hugi Ólafsson

Umbrot: Umhverfis- og auðlindaráðuneytið 2016

© 2016 Umhverfis- og auðlindaráðuneytið

ISBN 978-9935-9143-2-3

Efnisyfirlit

1. Inngangur	4
1.1. Uppruni gagna og efnistöð	5
2. Samantekt.....	7
3. Líkön til þess að reikna út efnabúskap Þingvallavatns.....	8
3.1. Líkan fyrir aðrennsli í Þingvallavatn	8
3.2. Líkan fyrir efnaflutningum úr Þingvallavatni	10
4. Mælingar á fosfór og nitri í Þingvallavatni.....	11
5. Styrkur efna í Þingvallavatni	12
5.1. Kísill (Si) í Þingvallavatni	12
5.2. Fosfór (P) í Þingvallavatni.....	13
5.3. Nitur (N) í Þingvallavatni	15
6. Nýting þörunga á fosfór og nitri	17
7. Niturbúskapur Þingvallavatns	18
7.1. Magn niturs sem berst úr Þingvallavatni í Sogið	18
7.2. Magn niturs sem berst með ám og lindum í Þingvallavatn	19
7.3. Ákoma frá byggð (íbúar, starfsmenn og sumarhús).....	19
7.4. Ákoma vegna landbúnaðar og tilbúins áburðar.....	19
7.5. Ákoma frá ferðaþjónustu.....	20
7.6. Önnur starfsemi.....	21
7.7. Loftborin ákoma.....	21
7.8. Aðrar uppsprettur niturs.....	23
8. Niðurstöður.....	25
8.1. Heimildir	29

1. Inngangur

Þessi skýrsla er önnur af tveimur, þar sem er sett eru fram yfirlit og líkön yfir nitur- og fosfórbúskap Mývatns og niturbúskap Þingvallavatns.

Yfirlitið byggir á fyrirliggjandi gögnum og er mat höfundar á náttúrulegu innstreymi, útstreymi og hlut fráveitna og annarra uppsprettna í magni niturs og fosfórs sem berst í þessi vötn.

Mývatn: Mat er lagt á innstreymi niturs og fosfórs af náttúrulegum uppruna og af mannavöldum, m.a. með lindarvatni, loftborinni ákomu, næringarefnanámi þörunga, skólpi, landbúnaði og áburðargjöf. Samanburður á innstreymi og tapi næringarefna vegna útstreymis og setmyndunar.

Þingvallavatn: Mat á innstreymi niturs af náttúrulegum uppruna og af mannavöldum, m.a. með lindarvatni, loftborinni ákomu, skólpi, landbúnaði og áburðargjöf. Samanburður á innstreymi og tapi næringarefna vegna útstreymis og setmyndunar.

Skýrslurnar eru verkfæri fyrir stjórnarsýsluna til þess að draga ályktanir um mikilvægi einstakra uppsprettna mengunar sem síðar má nota til þess að forgangsraða hugsanlegum aðgerðum.

Markmið þessarar skýrslu er að taka saman helstu atriði sem kunna að varða ákomu niturs á Þingvallavatn. Það hefur áður verið gert (Hákon Aðalsteinsson og Pétur M. Jónasson, 2002), en hér eru teknar með nýlegar vöktunarrannsóknir og líkanareikningar.

Rannsóknir sem hófust á áttunda áratugi síðustu aldar leiddu í ljós mikið verndargildi lífríkis Þingvallavatns. Vatnið er miðlungi næringarríkt, auðugt af fosfór en takmarkað af nitri. Að sumri gengur nitur til þurrðar í svifvistinni og vatnið verður tært og blátt. Á þeim tíma nýtur botnvistin birtunnar og blómstrar á strandsvæðum vatnsins allt niður á 30 m dýpi. Þegar sérfræðingar gerðu sér grein fyrir hlutverki niturs fyrir lífríki vatnsins var þegar farið að vara við hættunni af aukinni niturákomu á lífríki vatnsins.

Árið 2005 samþykkti Alþingi lög um verndun Þingvallavatns og vatnasviðs þess og í framhaldinu, árið 2006, setti umhverfisráðherra reglugerð um framkvæmd verndunar vatnasviðs og lífríkis Þingvallavatns. Í lögnum er kveðið á um að innan verndarsvæðisins sé óheimilt að gera nokkuð það sem getur spillt vatni eða mengað það.

Áburðarefni eru nauðsynleg fyrir framleiðslu gróðurs í vötnum og hafa áhrif á lífmagn og líffræðilega fjölbreytni. Aukin áburðarefni stuðla að auknum vexti gróðurs. Þegar aukin framleiðsla af þeirra völdum veldur röskun á búsvæðum og jafnvægi í vistkerfinu er um ofauðgun að ræða.

Gróður nýtir fosfór og nitur í þyngdarhlutföllum 1:7, þannig að sjö sinnum meira þarf af nitri er fosfór. Fosfór verður til við veðrun á bergi þegar súrt regnvatnið leikur um það í jarðvegi. Náttúruleg frumuppspretta niturs er lofttegundin N_2 , en hún er 78% af andrúmsloftinu. Niturbindandi bakteríur geta umbreytt lofttegundinni í nitursölt í jarðvegi og vatni. Til náttúrulegrar uppsprettu niturs til vatna má telja útskolun úr jarðvegi og hluta aðborinna nitursalta í úrkomu. Umbreyting lofttegundarinnar N_2 í nitursölt gerist einnig við bruna við háan hita, t.d. í brennsluhólfum bíla og í iðnaði. Til auðgunar má telja sívaxandi styrk nitursalta í úrkomu vegna starfsemi mannsins, útskolun áburðar frá landbúnaði og úrgang frá dýrahaldi og mannabyggð.

Viðkvæmasta búsvæðið fyrir slíkri röskun er samkvæmt rannsóknum sennilega hið svokallaða kransþörungabelti á 10 til 20 m dýpi í vatninu en það er talið aðal búsvæði þess bleikjuafbrigðis sem lifir á hornsíslum. Aukið áburðarmagn getur vegið að þessu gróðurbelti með tvennum hætti. Annarsvegar getur aukið magn svifþörunganna dregið úr því ljósmagni sem berst til gróðursvæðisins og þar með fært neðri mörk þess ofar í vatninu. Hins vegar getur aukið áburðarmagn aukið magn smásærra ásætupörunga í sjálfu beltinu með þeim afleiðingum að sýrustig hækkar staðbundið sem aftur veldur CO_2 skorti til frumframleiðslu hjá kransþörunginum.

1.1. Uppruni gagna og efnistöð

Niðurstöður úr vöktunarmælingum á vegum umhverfis- og auðlindaráðuneytisins og Landsvirkjunar fyrir tímabilið 1996 til 2014 voru notaðar við útreikninga á meðalstyrk og framburði niturs í Sogi og nokkrum öðrum ám á Íslandi til samanburðar (Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl, 2008-2015, Jarðvísindastofnun Háskólans)).

Fyrir liggja mælingar á styrk uppleystra næringarefna og lífræns og ólífræns svifaurs í Sogi við Þrastalund frá 1996 og við Steingrímsstöð frá 2007 (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl, 2008-2015, Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015).

Niðurstöður úr vöktunarmælingum á vegum Orkuveitu Reykjavíkur, Landsvirkjunar, Þjóðgarðsins á Þingvöllum og Umhverfisstofnunar fyrir tímabilið 2007 til 2014, voru notaðar við útreikninga á meðalstyrk og framburði niturs í lindum og við útfall Þingvallavatns (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015). Einnig varðandi mælingar í vatninu (Finnur Ingimarsson og fl., 2013 og 2014). Niðurstöður rannsókna frá 1975 (Jón Ólafsson, 1992 og

Hilmar J. Malmquist og fl. 2012) voru notaðar til samanburðar við vöktunarmælingar 2007 til 2014. Niðurstöður úr vöktunarmælingum á vegum Vegagerðarinnar í Mjóanesi eru notaðar vegna mats á ákomu með úrkomu (Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014).

Mynd 7 sýnir niðurstöður EMEP MSC/W líkanareikninga sem unnir eru á vegum samningsins um langtaðborna loftmengun (EMEP). Höfundur var heimiluð notkun þeirra gegn því að geta upprunans (Hilde Fagerli, 16.02.2012).

Útreikningar á framburði eru gerðir samkvæmt leiðbeiningum OSPAR samningsins (Agreement 2014-04). Tölulegar upplýsingar um landbúnað, íbúafjölda og fjölda sumarhúsa eru í samræmi við aðalskipulag Þingvallasveitar (Bláskógabyggð, 2005). Að öðru leyti er vísað í heimildir í texta þar sem það á við.

2. Samantekt

Helstu ákomuleiðir og afrennsli niturs í Þingvallavatn eru raktar í þessari skýrslu. Lagt er mat á magn þar sem það er mögulegt. Mikil óvissa fylgir slíku mati, en með aukinni vöktun og rannsóknum má væntanlega draga úr óvissunni og um leið treysta grunn til að draga ályktanir um hvert stefnir.

Helstu niðurstöður eru þær að ákoma niturs í vatnið og afrennsli úr vatninu er meira en áður var talið. Niturútskolun af vatnasvæðinu er hlutfallslega há, sem skýrist af mikilli úrkomu og styrk niturs í úrkomu. Hlutfall jökuls, ógóins lands og ástand gróðurlendis hefur væntanlega einnig áhrif á útskolun. Það eru enn gloppur í efnabókhaldinu og ekki enn fullt samræmi í reikningum á milli þess sem berst í vatnið og úr vatninu t.d. varðandi fosfór og kísil.

Tímaseríur efnamælinga í lindum og útfalli eru enn stuttar og mikill munur milli einstakra gilda dregur úr áreiðanleika reikningslegra niðurstaðna. Einnig er óvarlegt að draga víðtækar ályktanir af stuttum tímaseríum. Myndir 4, 5, og 6 sýna það glögg. Myndirnar sýna einnig að vöktunin sem hófst árið 2007 og nær bæði til efnafræði- og líffræðilegra þátta er gríðarlega mikilvæg til þess að hægt sé að greina og skilja skammtíma- og langtíma breytingar sem virðast eiga sér stað.

Staðbundin ákoma niturs frá íbúum, starfsemi og ferðaþjónustu er metin samkvæmt töflu 1 um 9 tonn á ári sem er aðeins lítil hluti heildar ákomunnar. Hugsanlegt vanmat á staðbundinni ákomu breytti engu um þá niðurstöðu. Matið hefur lækkað nokkuð frá fyrri drögum, við að nota OSPAR (OSPAR Agreement 2004-02e) viðmið til útreikninga og vegna þess að Þjóðgarðurinn á Þingvöllum flytur allt skólp sem fellur til á Hakinu af svæðinu. Staðbundin ákoma fosfórs er innan við eitt tonn (Tafla 1). Þær sveiflur sem sjá má í styrk efna á myndum 4, 5, og 6 verða ekki raktar til staðbundinnar ákomu.

Mannleg starfsemi, þ.e. umferð og iðnaður, á almennt þátt í loftborinni ákomu niturs. Nálægð við helsta þéttbýli landsins og mat á langtaðborinni mengun dregur athyglina að mikilvægi þeirrar ákomu en allt að helmingur niturs í úrkomu kann að vera vegna aðborinnar mengunar.

Tafla 1 Mat á ákomu niturs og fosfórs á Þingvallavatn, útskolun í Sogið og í setlög.

Ákomumat fyrir Þingvallavatn	Heildar nitur tonn/ári		Heildar fosfór tonn/ári	
	Berst í vatnið	Hverfur úr vatninu	Berst í vatnið	Hverfur úr vatninu
Með ám og lindum	265		83	
Niturbinding blágerla	Óþekkt		-	
Loftbórið með úrkomu	21		1,7	
Þurrákoma	1		-	
Uppblástur og aðbórið efni	Óþekkt		Óþekkt	
Iðnaðarstarfsemi	1		-	
Áburðarnotkun	5		0,2	
Íbúar/starfsemi/sumarhús	2		0,3	
Ferðamennska	1		0,1	
Í Sogið		283		68
Botnfellur í setlög		41,5		17
Samtals	296	325	85	85

3. Líkön til þess að reikna út efnabúskap Þingvallavatns

3.1. Líkan fyrir aðrennsli í Þingvallavatn

Á áttunda áratug síðustu aldar var lagt til grundvallar að allt að 90% innrennslisins kæmi með lindum í norðurhluta vatnsins, 64% með Silfru og 22% með Vellankötlu í Vatnsvíki (Tafla 2). Afgangurinn (14%) kæmi með ám og öðrum lindum, aðallega sunnanmeginn við vatnið (Hákon Aðalsteinsson og fl., 1992, Jón Ólafsson, 1992). Við mat á hlutfallslegu mikilvægi mismunandi strauma, var leitast við að halda klóríðstyrk í jafnvægi (þ.e. að jafn mikið af klóríð streymi í og úr vatninu).

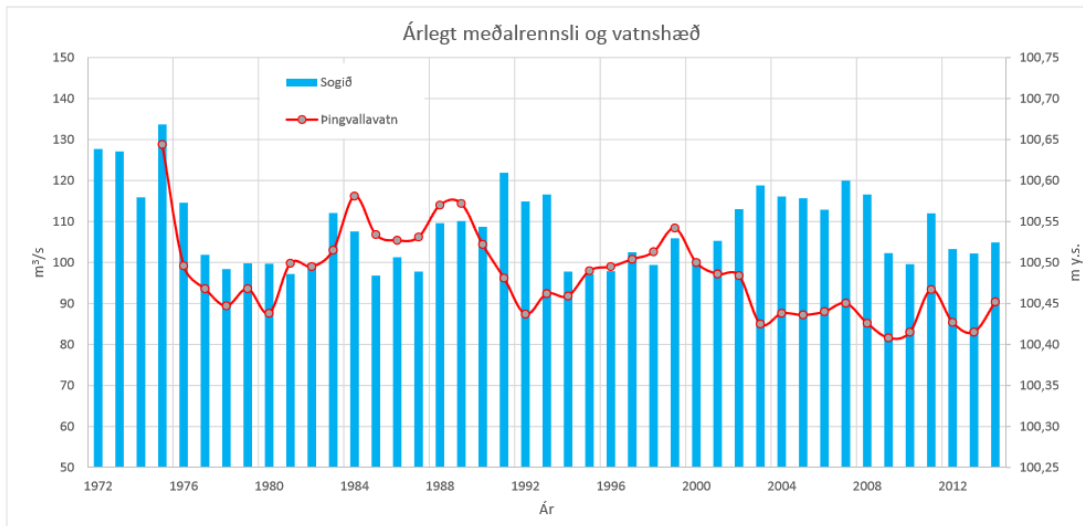
Í grein frá 2002 um rennsli grunnvatns til Þingvallavatns (Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigurbjarnarson, 2002) eru þrjú meginstraumar til vatnsins nefndir. Almagnagjárstraumur með um 30 m³/s, Hrafnagjárstraumur með rúmlega 20 m³/s og Miðfellsstraumur með um 25 m³/s. Nærri 20 m³/s er talið falla á vatnið af vatnasviðinu sunnan við vatnið.

Tafla 2 Mat á hlutfallslegu innrennsli vatns til Þingvallavatns og klóríðstyrkur viðkomandi vatns (Jón Ólafsson 1992, Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigurbjarnarson 2002, Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015).

Vatnsgerðir	Hlutfallslegt innrennsli (%)		Styrkur klóríðs mg/l - Cl
	Innrennsli líkan 1992	Innrennsli líkan 2002	
Ár / grunnvatn			
Almannagjá/Silfra	64	30	5,70±0,07
Hrafnagjá/Vellankatla	22	20	4,33±0,35
Miðfellsstraumur	0	25	5,5 (5-6)
Heiðarbær/Skálabrekka	2	2	8,0
Öxará, Lindin, Móakotsá, Torfadalslækur	5	5	7,6
Villingavatnsá	2	2	7,1
Ölfusvatnsá	3	3	7,0
Varmagjá/Hagavík	2	2	7,8
Endurmetið sunnanrennsli	0	11	7,3
Samtals:	100	100	

Í vöktun Þingvallavatns sem hófst árið 2007 er efnastyrkur mældur í Silfru (Almannagjárstraumur) og Vellankötlu (Hrafnagjárstraumur). Þetta þýðir, samkvæmt framansögðu, að efnastyrkur er mældur í grunnvatnsstraumum sem annarsvegar eru taldir svara til um 86% og hins vegar 50% þess vatns sem berst til vatnsins. Þarna eru því tvær leiðir til þess að leggja mat á ákomu næringarefna til vatnsins. Árið 2014 hófust mælingar í grunnvatni sem talið er til Miðfellsstraumsins, þannig að til lengri tíma litið verða til gögn um þann hluta innrennslisins.

Í þessari samantekt er líkan 2002 notað (Tafla 2) og gert ráð fyrir að efnainnihald Miðfellsstraumsins sé það sama og í Vellankötlu. Við útreikningana er enn fremur gert ráð fyrir jöfnu rennsli, 100 m³/s. Meðalrennslið er 107 m³/s við Þrastalund, þar af um 100 m³/s við Steingrímsstöð (Árni Snorrason, 2002). Í þessari samantekt er enn fremur miðað við langtíma meðalrennsli, en samkvæmt mynd 1 sveiflaðist árlegt meðalrennsli í Soginu (tímabilið 2007 til 2014) á milli 120 m³/s árið 2007 og tæplega 100 m³/s árið 2010.



Mynd 1 Árlegt meðalrennsli í Sogi og vatnshæð Þingvallavatns (Veðurstofa Íslands 2015: Gagnabanki Veðurstofu Íslands, afgreiðsla nr. 2015-11-03/01).

3.2. Líkan fyrir efnaflutningum úr Þingvallavatni

$$\text{Útskolun} = \frac{Q_r \sum_{i=1}^n (C_i Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)}$$

Þar sem:

C_i er styrkur efna mældur í sýni i ;

Q_i er rennsli árinna við sýnatöku i ;

Q_r er meðalrennsli árinna yfir söfnunartímabilið; og

n er fjöldi sýna sem safnað er yfir söfnunartímabilið.

Við mat á efnaflutningum í Sogi er notuð reikniáðferð OSPAR samningsins (OSPAR Commission, 2014. HASEC 14/14/1 (Agreement 2014-04)) sem sýnd er í textaboxi hér til hliðar.

4. Mælingar á fosfór og nitri í Þingvallavatni

Hér eru til skýringar teknar saman nokkrar lýsandi upplýsingar sem varða fosfór og nitur mælingar í Þingvallavatni.

Fosfór

Á mynd 2 eru sýnd helstu form fosfórs eins og það er mælt í vatni. Í lindum við Þingvallavatn, er aðallega byggt á mælingum á uppleystum fosfór, þ.e. uppleystu fosfati $\text{PO}_4\text{-P}$ og uppleystum ólífrænum fosfór. Ekki er gert ráð fyrir lífrænum eða ólífrænum svifögnum í lindum. Sama á við um mælingar við útfall Þingvallavatns og í Sogi við Þrastalund. Ekki er þar mældur fosfór bundinn í svifögnum. Í vatnsbolnum hefur fosfat og heildar fosfór verið mælt. Við ákomureikninga með lindum er miðað við heildar uppleystan fosfór (TSP).

Hin ýmsu form fosfórs sem eru mæld (eða ekki mæld) í vatninu

Heildar P (Total-P)		
Heildar uppleyst P (TSP) (Total Soluble P)		P bundið í svifögnum TPP (Total Particulate P)
Fosfat $\text{PO}_4\text{-P}$ Soluble Reactive P	Uppleyst P (lífrænt) (Soluble Unreactive)	P bundið í (lífrænum) svifögnum (Particulate Organic P)

Mynd 2 Myndin sýnir helstu form fosfórs í vatninu. Í lindum vatnsins og í Steingrímsstöð er heildar uppleystur fosfór mældur, bæði fosfat og lífrænt uppleyst. Í vatnsbolnum hefur fosfat og heildar fosfór verið mælt.

Nitur

Á mynd 3 eru sýnd helstu form niturs eins og það er mælt í vatni. Í lindum við Þingvallavatn, er aðallega byggt á mælingum á uppleystu nitri og ekki gert ráð fyrir nitri bundið lífrænum eða ólífrænum svifögnum. Við útfall Þingvallavatns er heildar uppleyst nitur (TDN) mælt, annarsvegar sem ólífrænt (TIN) og hins vegar sem uppleyst lífrænt nitur. Til viðbótar, er heildar

nitur í svifögnum (TPN/PON) mælt. Við ákomureikninga með lindum er miðað við heildar uppleyst nitur (TDN).

Heildar N (Total-N)				
Heildar uppleyst N TDN				Heildar N í svifögnum TPN
Nítrat (NO ₃)	Nítrít (NO ₂)	Ammonía (NH ₃) + Ammoníum (NH ₄)	Uppleyst lífrænt N (Soluble Organic)	Lífrænt N í svifögnum PON (Particulate Organic N)
Heildar ólífrænt N (Total Inorganic, TIN)			Heildar lífrænt bundið N (Total Organic N, TON)	

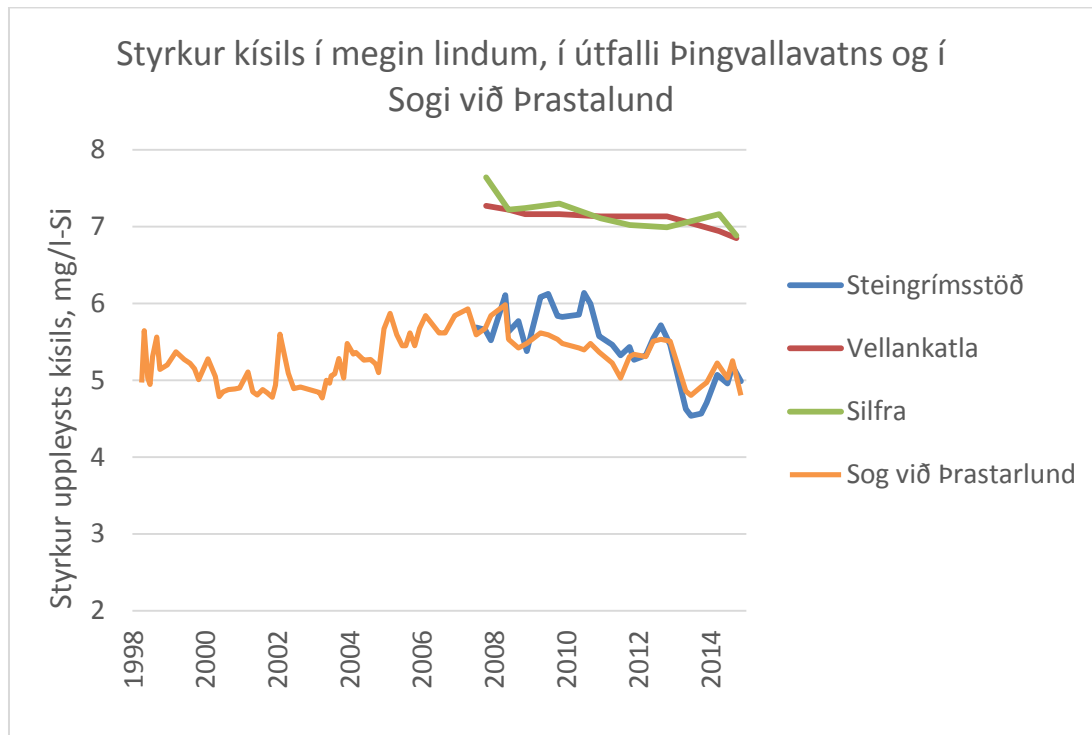
Mynd 3 Myndin sýnir helstu form niturs í Þingvallavatni. Í lindum vatnsins er heildar uppleyst N (TDN) mælt, annarsvegar sem ólífrænt N (TIN) hins vegar sem uppleyst lífrænt N. Við Steingrímsstöð og í Sogi við Þrastalund er til viðbótar, heildar N í svifögnum (TPN/PON) mælt. Í vatnsbolnum hefur ólífrænt N og heildar N verið mælt.

5. Styrkur efna í Þingvallavatni

5.1. Kísill (Si) í Þingvallavatni

Á mynd 4, eru sýndar niðurstöður mælinga á styrk Si, annarsvegar í tveimur meginlindum vatnsins og hins vegar í útfallinu við Steingrímsstöð á tímabilinu 2007-2014 og í Sogi við Þrastalund 1998 – 2014 (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015, Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands, Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl, 2008-2015). Af gögnunum frá Sogi við Þrastalund að dæma, virðist sem að það hafi komið tíu ára sveifla í styrk kísils úr Þingvallavatni sem tölurnar frá Steingrímsstöð falla að. Styrkurinn hefur verið lækkandi við Steingrímsstöð ($R^2=0,52$) og við Þrastalund síðan 2008. Styrkur kísils í lindunum virðist minnka minna og það dregur í sundur á milli styrks lindanna og útfallsins.

Samkvæmt gögnum frá 1975 (Jón Ólafsson, 1992) var styrkur innstreymisvatnsins 6,5 og í vatninu (tölur frá stöð 1) 4,8 mg/l-Si. Kísilstyrkur árið 1975, virðist því hafa verið um 0,6 mg/l-Si lægri en meðaltal áráanna 2007-2014, bæði í lindum og í vatninu.



Mynd 4 Myndin sýnir styrk uppleysts kísils (mg/l-Si) í tveimur megin lindum Þingvallavatns, í útfallinu við Steingrímsstöð og Sogi við Þrastarlund (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015, Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands, Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl, 2008-2015).

Reiknaður veginn meðalstyrkur uppleysts kísils í innstreymisvatninu, sem byggir að mestu á vöktunarmælingum 2007-2014 (og Jón Ólafsson, 1992), er 7,1 mg/l-Si. Það svarar til að til vatnsins berist um 22.500 tonn Si á ári eða 270 g/m².

Meðalstyrkur uppleysts kísils við Steingrímsstöð (2007-2014) er 5,5 ±0,5 mg/l-Si sem svarar til 17.300 tonna á ári. Mismunurinn sem bundinn er af kísilþörungum er um 5.200 tonn.

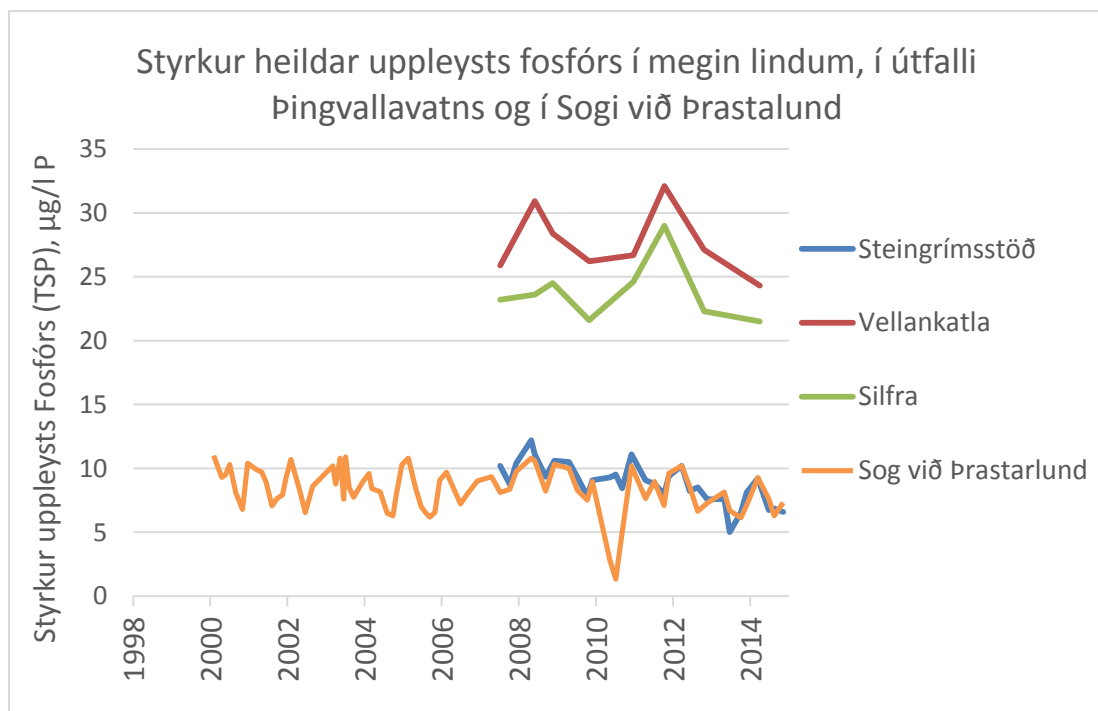
5.2. Fosfór (P) í Þingvallavatni

Á mynd 5, eru sýndar niðurstöður mælinga á styrk uppleysts fosfórs, annarsvegar í tveimur meginlindum vatnsins og hins vegar í útfallinu við Steingrímsstöð á tímabilinu 2007-2014 og í Sogi við Þrastarlund 1998 – 2014 (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015, Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands, Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl, 2008-2015). Skýringin á hinum mikla mun sem er á styrk í vatni úr lindunum og þess sem fer um Steingrímsstöð og Sog við Þrastarlund, er sú að fosfór berst

í vatnið með lindum aðallega á uppleystu formi, en út úr vatninu bæði á uppleystu formi og bundið svifögnum (Mynd 5). Fosfór í svifögnum er ekki mældur í Steingrímsstöð, eða í Sogi við Þrastalund.

Meðalstyrkur fosfórs í Vellankötlu (2007-2014) er $27,4 \pm 2,5$ og $23,6 \pm 2,2$ $\mu\text{g/l P}$ í Silfru. Munur er á styrk fosfórs (heildar uppleyst P) í Vellankötlu og Silfru ($P < 0,01$). Meðalstyrkur allra mælinga frá 1975 eru aðeins hærra, eða $31,1 \pm 4,5$ $\mu\text{g/l P}$. Þau eru marktækt frábrugðin gildunum í Silfru ($p < 0,01$) en ekki gildunum í Vellankötlu ($P = 0,06$), enda eru 6 af 8 mæligildum frá 1975 úr lindum í Vatnsvíkinni. Ef öll gildi 2007-2014 eru sett saman er meðaltal þeirra marktækt lægra en allra gilda 1975 ($P < 0,01$). Vegna framangreinds mismunar í fjölda mæligilda í gagnasafninu, er óvarlegt að fullyrða að heildar fosfór í lindum hafi breyst marktækt frá 1975, heldur að samanburðurinn sýni aðeins að það sé óútskýrður munur milli lunda.

Við ákomureikningana er miðað við að Miðfellsstraumurinn svipti til Vellankötlu. Reiknaður meðalstyrkur uppleysts fosfórs í innstreymisvatninu, sem byggir að mestu á vöktunarmælingum 2007-2014, er $26,4$ $\mu\text{g/l-P}$. Það svarar til að til vatnsins berist um 83 tonn heildar-P á ári eða 1 g m^2 .



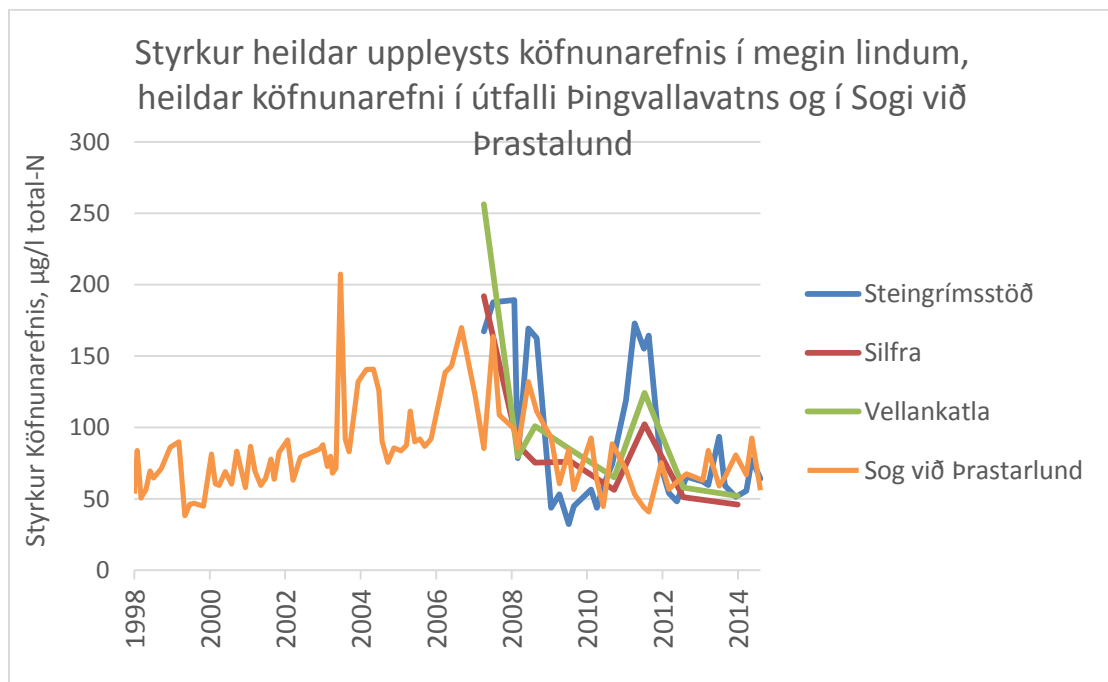
Mynd 5 Myndin sýnir styrk uppleysts fosfórs ($\mu\text{g/l}$ heildar-P) í tveimur megin lindum Þingvallavatns, í útfallinu við Steingrímsstöð og í Sogi við Þrastalund (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2014, Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands, Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008-2015).

Meðalstyrkur uppleysts fosfórs við Steingrímsstöð (2007-2014) er $8,8 \pm 1,6 \mu\text{g/l-P}$ sem svarar til um 28 tonna á ári og gildið við Steingrímsstöð virðist fara lækandi ($R^2=0,52$), svipað og sést með kísil. Árið 1979 var metð að um 17 tonn P ($0,2 \text{ g P/m}^2$) væri bundið varanlega í seti á ári (Ebbe Lastein 1983). Því má áætla að um 40 tonn fari í Sogið með svifögnum.

Forfór er beint tekinn upp af þörungum sem fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$). Meðalstyrkur fosfats í Vellankötlu (2007-2014) er $22,7 \pm 3,8$ og $19,4 \pm 3,7 \mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ í Silfru. Ekki er marktækur munur milli lindanna hvað fosfat varðar ($P = 0,10$) og er meðaltal allra mælinga $21,6 \pm 4,2 \mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$. Meðalstyrkur allra mælinga frá 1975 er aðeins hærri, eða $24,9 \pm 3,9 \mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ og það rétt nær því að vera marktækur munur milli þessara gagnasafna ($P = 0,04$). Lengra mælitímabil þarf til til þess að leiða í ljós hvort einhver leitni til breytinga í styrk fosfórs í lindum eigi sér stað. Meðalstyrkur fosfats við Steingrímsstöð er $6,5 \pm 4,7 \mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$.

5.3. Nitur (N) í Þingvallavatni

Á mynd 6 eru sýndar niðurstöður mælinga á heildar nitri í lindunum Silfru og Vellankötlu, í útfallinu við Steingrímsstöð og í Sogi við Þrastalund. Auk þess að sýna mikinn breytileika milli mælinga sýnir myndin að það koma tímabil hærri gilda, eins og t.d. má sjá árin 2005 til 2009.



Mynd 6 Myndin sýnir styrk niturs ($\mu\text{g/l}$ heildar uppleyst-N (TDN)) í tveimur megin lindum Þingvallavatns, og styrk heildar niturs (TDN+PON) í útfallinu við Steingrímsstöð og í Sogi við Þrastalund (Eyðís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015, Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofu Íslands, Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eyðís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008-2015). Styrkur niturs fyrir megin lindir Þingvallavatns er heildar uppleyst nitur (TDN), en fyrir Steingrímsstöð og Sogið, summa TDN og PON.

Nitur með lindum

Meðalstyrkur heildar uppleysts niturs í Vellankötlu og Silfru (2007-2014) er $85,6 \pm 52,8$ $\mu\text{g/l-N}$. Mikill breytileiki er í gögnum milli mælinga (Mynd 6) og ekki er marktækur munur á heildar uppleystu nitri (TDN) í Vellankötlu og Silfru ($P = 0,55$). Ekki er heldur marktækur munur á milli TDN gildanna frá 1975 ($85,6 \pm 11,6$ $\mu\text{g/l-N}$) og 2007-2014 ($P=0,99$). Heildar nitur í lindum hefur því ekki breyst frá 1975.

Hins vegar er mun hærra hlutfall heildar niturs á formi nítrats ($\text{NO}_3\text{-N}$) í dag en árið 1975. Ekki er marktækur munur á nítrati í Vellankötlu og Silfru 2007-2014 ($P = 0,73$). Það er hins vegar marktækur munur ($P < 0,05$) á milli $\text{NO}_3\text{-N}$ gildanna frá 1975 ($33,4 \pm 5,0$ $\mu\text{g/l NO}_3\text{-N}$) og 2007-2014 gildanna ($53,4 \pm 8,4$ $\text{mg/l NO}_3\text{-N}$). Samkvæmt mynd 3 er heildar uppleyst nitur summan af uppleystu ólífrænu- og uppleystu lífrænu nitri. Almenn séð, þarf lífrænt efni sem inniheldur nitur, fyrst að vera brotið niður af örverum áður en nitrið sem það inniheldur er aðgengilegt fyrir þörunga. Því er hærra hlutfall heildar niturs aðgengilegt strax, sem uppleyst ólífrænt nitur, til upptöku fyrir þörunga en var árið 1975. Ekki er ljóst hvaða þýðingu þessi munur hefur á frumframleiðsluna í vatninu.

Nitur í Sogi

Fyrir liggja mælingar á styrk uppleystra næringarefna og lífræns og ólífræns svifaurs í Sogi við Þrastalund frá 1996 og við Steingrímsstöð frá 2007 (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008-2015, Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015). Við útreikninga á útskolun er miðað við meðalrennsli 107 m^3/s við Þrastalund, þar af um 100 m^3/s við Steingrímsstöð (Árni Snorrason, 2002).

Við mat fyrir Steingrímsstöð og Sogið við Þrastalund er gert ráð fyrir auknu vægi niturs sem bundið er svifögnum (PON). Því er heildarmagnið þar, summa TDN og PON (Mynd 6).

Meðalstyrkur heildar niturs (PON+TDN) við Steingrímsstöð (2007-2014) er um 89 $\mu\text{g/l-N}$ sem er svipað gildi og í lindum. Meðalstyrkur nítrats ($\text{NO}_3\text{-N}$) er $5,6 \pm 6,8$ $\mu\text{g/l-NO}_3\text{-N}$.

Meðalstyrkur heildar niturs (PON+TDN) í Sogi við Þrastalund (1997-2014) er um 83 $\mu\text{g/l-N}$. Ekki er marktækur munur á meðalstyrk heildar niturs við Steingrímsstöð og við Þrastalund og þessir mælistaðir eru því ekki taldir ólíkir.

6. Nýting þörunga á fosfór og nitri

Upptaka og hlutföll helstu efna (kolefni, nitur og fosfór) sem þörungar nýta til vaxtar, eru talin fylgja sem næst svokölluðu „Readfield“ hlutfalli. Það er í móljölda: 106 C:16 N:1 P og 40 C:7 N:1 P miðað við þyngd. Þegar kísil er bætt við verður hlutfallið: 106 C:16 Si:16 N:1 P. Hlutföll þessara efna allra, eða einstakra efna, eru skoðuð þegar lagt er mat á hvaða efni kunna að vera takmarkandi og til að leggja mat á þróun samfélagsgerðanna. Lægri N:P hlutföll en 16:1 (7:1 miðað við þyngd) geta gefið til kynna mögulega nitur þurrð og N:P hlutföll hærri en 16:1 (7:1 miðað við þyngd), mögulega fosfórþurrð fyrir frumframleiðslu svifþörunga.

Þörungar taka almennt upp næringarefnin á uppleystu formi, þ.e. sem fosfat, nítrat, nítrit og ammóníum.

Á grundvelli þekkingar á styrkháðum upptökuhraða þörunga á næringarefnum má meta hvort viðkomandi styrkur næringarefna í vatni á hverjum tíma kunni að vera hamlandi fyrir hámarks vöxt. Í skýrslu um ákomu og afrennsli Mývatns (Gunnar Steinn Jónsson, 2016) er við það miðað, að sé styrkur uppleysts ólífræns fosfórs (fosfats) undir 2 µg/l eða uppleyst ólífrænt nitur undir 10 µg/l, kunni það að takmarka upptöku þessara efna og þar með vöxt þörunga.

Tafla 3 Í töflunni eru sýnd meðalgildi fyrir styrk fosfats og uppleysts ólífræns niturs í Þingvallavatni árið 1975 (Jón Ólafsson 1992) og árin 2012 og 2013 (Finnur Ingimarsson og fleiri 2013 og 2014).

Efni	Sýnataka 2012-2013 Stöð 2	Sýnataka 1975 Stöðvar 1 og 2
Ólífrænt uppleyst nitur	<6 µg/l-N	2,3 µg/l-N
Posphat PO4-P	8 µg/l-P	13,3 µg/l-P

Í töflu 3 eru sýnd meðaltöl fyrir styrk fosfats og uppleysts ólífræns niturs í Þingvallavatni árið 1975 (Jón Ólafsson 1992) og árin 2012 og 2013 (Finnur Ingimarsson og fleiri 2013 og 2014).

N:P hlutfall í vatninu sumarið 1975, samkvæmt töflu 3, var 0,2:1 (miðað við þyngd) og minna en 1:1 árin 2012 og 2013. Tölurnar í töflu 3 sýna glögg að það er niturþurrð í Þingvallavatni en nægilegt fosfat. Mælingar á heildarstyrk kolefnis, niturs og fosfórs í vatninu árin 2012 og 2013

benda til þess að hlutföll þessara efna í lífrænu efni í svifinu sé 64 C:4 N: 1 P (miðað við þyngd). Kolefni er hærra og nitur lægra en “Readfield” hlutfallið.

7. Niturbúskapur Þingvallavatns

7.1. Magn niturs sem berst úr Þingvallavatni í Sogið

Framburður með Sogi

Fyrir liggja mælingar á styrk uppleystra næringarefna og lífræns og ólífræns svifaurs í Sogi við Þrastalund frá 1996 og við Steingrímsstöð frá 2007 (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1997-2007, Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008-2015, Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015). Miðað er við meðalrennsli 107 m³/s við Þrastalund, þar af um 100 m³/s við Steingrímsstöð (Árni Snorrason, 2002).

Við mat fyrir Steingrímsstöð og Sogið við Þrastalund er gert ráð fyrir auknu vægi niturs sem bundið er svifögnum (PON). Því er heildarmagnið þar, summa TDN og PON (Mynd 3).

Meðalstyrkur heildar niturs (PON+TDN) við Steingrímsstöð (2007-2014) er 88,8 ±52 µg/l-N sem er nánast sama gildi og í lindum (Mynd 6). Það svarar til að úr vatninu berist í Sogið um 283 tonn heildar-N á ári. Meðalstyrkur nítrats er 5,6 ±6,8 µg/l-NO₃-N.

Meðalstyrkur heildar niturs (PON+TDN) í Sogi við Þrastalund (1997-2014) er um 83 µg/l-N. Það svarar til að um Sogið við Þrastalund berist um 284 tonn heildar-N á ári. Ekki er marktækur munur á meðalstyrk efna við Steingrímsstöð og við Þrastalund (mynd 6) og framburður um þessa mælistaði er því ekki talinn ólíkur.

Setmyndun og binding niturs í seti

Uppblástur og útskolun hafa orsakað þrefalt meiri setmyndun á botni Þingvallavatns en var fyrir árið 1500 (Haflíði Haflíðason, Guðrún Larsen og Gunnar Ólafsson, 1992). Á tímabilinu 1228 til 1500 mælist meðal setmyndunarhraði 0,26 mm á ári (2,1 g C/m²/ári), en á tímabilinu 1918 til 1983 mælist hann 0,68 mm (5,3 g C/m²/ári) (Haflíði Haflíðason, Guðrún Larsen og Gunnar Ólafsson, 1992). Ebbe Lastein (1983) mældi setmyndunarhraða árið 1979 og mat hann 0,5 mm á ári og að 41,5 tonn af nitri (0,5 g N/m²/ári) væri bundið varanlega í seti á ári.

7.2. Magn niturs sem berst með ám og lindum í Þingvallavatn

Reiknaður meðalstyrkur TDN í innstreymisvatninu, sem byggir að mestu á vöktunarmælingum 2007-2014 (og Jón Ólafsson, 1992), er 83,9 µg/l-N. Það svarar til að til vatnsins berist, með ám og lindum, um 265 tonn heildar-N á ári eða 3,2 g m².

7.3. Ákoma frá byggð (íbúar, starfsmenn og sumarhús)

Áburðarákoma vegna skólpmengunar kemur frá íbúum, starfsmönnum Orkuveitunnar, starfsmönnum þjóðgarðsins, starfsmönnum við veitinga og hótélrekstur og ferðamönnum sem leið eiga hjá eða gista á tjaldsvæðum. Í reiknireglum fyrir OSPAR samninginn vegna losunar í viðtaka frá heimilum sem ekki eru tengd fráveitukerfi þéttbýlisstaða (OSPAR Agreement 2004-02e) er gert ráð fyrir að hver einstaklingur gefi að jafnaði frá sér 3,1 kg/ári N og 0,43 kg/ári P (1 p.e.). Miðað er við reiknireglu OSPAR samningsins (OSPAR Agreement 2004-02e). Frá hverjum sumarbústaði er talið losað því sem svarar til þess sem einn einstaklingur losar á ári.

Skólplosun

Íbúar: 39:	39 p.e.
Starfsmenn, þjónusta, starfsemi:	100 p.e.
Sumarbústaðir:	500 p.e.

Lauslega eru þetta um 650 persónueiningar (p.e.). Skólprárennsli gæti því losað um:

650 * 3,1 kg/ári N	→	2,0 tonn nitur
650 * 0,43 kg/ári P	→	0,3 tonn fosfór

7.4. Ákoma vegna landbúnaðar og tilbúins áburðar

Tilbúinn áburður var ekki notaður að marki í landbúnaði fyrr en eftir miðja síðustu öld. Áburður á tún, til uppgræðslu og á sumarbústaðalönd skilar sér að nokkru út í vatnið, sérstaklega nituráburður. Í leiðbeiningum Umhverfisstofnunar (Umhverfisstofnun, 2004) er miðað við að óstaðfest áburðargjöf á tún sé 100 kg/ha N og 30 kg/ha P af tilbúnum áburði og útskolun áætluð vera 13% af nitri (N) og 2% af fosfór (P).

Tafla 4 Yfirlit yfir notkun tilbúins- og búfjáraburðar á vatnasviði Þingvallavatns. Útskolun um jarðveg er einnig áætluð.

	Nitur (N) Tonn / ári	Fosfór (P) Tonn / ári
Tilbúinn áburður	30	9
Búfjáraburður	6	1
Sumarbústaðir	2	0,5
Samtals:	38	10,5
Áætluð útskolun í Þingvallavatn:	5	0,2

Samkvæmt aðalskipulagi Bláskógabyggðar (Bláskógarbyggð, 2005) er ræktað land, eða tún í Þingvallasveit um 300 ha. Bústofn er áætlaður um 1783 ærgildi og um 57 hross. Miðað við framangreindar forsendur og að sumarhúsaeygendur noti 2 tonn af nitri og 500 kg af fosfór (áætlað 4 kg N og 1 kg P að jafnaði á hvern sumarhúsaeyganda), gæti reiknisleg útskolun numið um 5 tonnum af nitri og 200 kg af fosfór (tafla 4).

7.5. Ákoma frá ferðaþjónustu

Umferð um Þingvallavatn

Samkvæmt umferðatalningum Vegagerðarinnar 2014 (sótt af heimasíðu 04.08.15), fóru að jafnaði, allt árið, um 1280 ökutæki um Þingvallasvæðið á dag, eða um 470.000 ökutæki yfir árið. Eru þá ekki talin ökutæki sem fara um Nesjavallaleið. Til að yfirfæra þessa tölu yfir á fjölda ferðamanna þarf annarsvegar að þekkja hlutfall mismunandi gerða ökutækja og hins vegar að þekkja meðalfjölda farþega í mismunandi ökutækjum. Gerð er nánari grein fyrir þessu í tilsvarendi skýrslu um Mývatn (Gunnar Steinn Jónsson, 2016). Er hér notuð sama aðferð og í þeirri skýrslu og gert ráð fyrir 3,2 farþegum í bifreið að jafnaði um svæðið og ekki gerður greinarmunur á ferðamönnum og þeim sem leið eiga um svæðið í öðrum erindum. Er það mun lægri tala en í rannsókn sem gerð var á Hakinu 2014 (Anna Dóra Sæþórsdóttir, Gyða Þórhallsdóttir og Rögnvaldur Ólafsson, 2014), en þar var meðalfjöldi í farartæki talinn 5,28 farþegar með bílstjóra.

Farþegafjöldi um Þingvallasvæðið, 2014

470.000 ökutæki * 3,2 (farþegar að jafnaði) = 1.500.000 farþegar

Ekki er greint á milli ferðamanna og farþega í öðrum erindum. Þessi niðurstaða gefur mun meiri fjölda en sækir Þjóðgarðinn sem gestir. Fram kemur á heimasíðu Þjóðgarðsins (<http://www.thingvellir.is/frettir/2014/11/koennun-medal-ferdamanna.aspx>) að áætlanir geri ráð fyrir að um 588 þúsund ferðamenn komi til Þingvalla árið 2014. Við ákomumat er tekið mið af opinberri tölu Þjóðgarðsins og gert ráð fyrir að 600.000 ferðamenn staldri við í Þjóðgarðinum og þjónustuvæðum hans en aðrir aki í gegn um Þjóðgarðinn án þess að stoppa. Losun hvers ferðamanns er talin svara til um 20% þess sem íbúi losar.

Skólplosun ferðamanna

Ferðamenn (600.000 * 0,2 / 365):	330 p.e.
Hótel, gisting: 100 – 150 p.e. (55.000 gistinætur):	150 p.e.

Á vegum Þjóðgarðsins á Þingvöllum er hafinn flutningur á skólpi af Þjóðgarðinum út fyrir vatnasvið Þingvallavatns. Sama er gert á Ion Hótel. Tekið er mið af því og álag vegna ferðamanna er lækkað úr 480 p.e. í 180 p.e. Þetta þýðir að áætluð losun vegna ferðamanna er lækkuð um 1 tonn af nitri á ári.

180 * 3,1 kg/ári N	→	0,6 tonn nitur
180 * 0,43 kg/ári P	→	0,1 tonn fosfór

7.6. Önnur starfsemi

Nesjvallavirkjun er talin losa um 1 tonn af nitri á ári með frárennsli (Orkuveita Reykjavíkur, 2002).

7.7. Loftborin ákoma

Loftborin ákoma - úrkoma

Loftborin ákoma beint á vatnið með úrkomu var metin miðað við meðaltal niturs í úrkomu á Írafossi á árabílinu 1982 til 1993 (Pétur M. Jónasson, 2002). Á Mjóanesi við Þingvallavatni hófust reglulegar mælingar á efnunum í úrkomu árið 2008 (Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014). Þar eru m.a. mæld efnin NO₃-N, NO₂-N og NH₄-N. Veginn meðalstyrkur niturs, NO₃-N og NH₄-N, á mælitímabilinu 2008 til 2012 var 0,2 mg/l N og fosfórs 0,01 mg/l P. Þetta svarar til þess að meðal ákoma beint á vatnsborð Þingvallavatns er um 21 tonn N og 1,7 tonn P á ári á allt vatnið (83 km²).

Loftborin ákoma frá umferð á svæðinu

Vegagerðin birtir á heimasíðu sinni umferðatalningar fyrir Þingvallasvæðið. Á grundvelli þeirra óku ökutæki liðlega 12,5 milljón km umhverfis Þingvallavatn árið 2014. Tölur um raunlosun köfnunarefnis frá ökutækjum eru breytilegar frá einni heimild til annarrar, en verulegur munur virðist vera á losun frá bensínbílum, díselbílum, fólksbílum og flutningatækjum, t.d. rútum. Staðlar Evrópusambandsins sem gilda fyrir ný „létt“ farþega og flutningatæki frá árinu 2014 (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>), eru annarsvegar 0,06 fyrir bensín og hins vegar 0,08 g/km NO_x fyrir dísel flutningatæki. Fyrir þyngri dísel tæki eru losunarmörkin 0,4 og 0,46 g/km NO_x (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>). Reglurnar byggja í grunninn á tilskipun 70/220/EEC ásamt síðari breytingum. NO_x sem er afoxað í hvarfakútum bensínbíla er að litlum hluta losað sem NH₄ en engar reglur gilda um þá losun. Sú losun getur verið um 0,05 g/km NH₄ (Manfred Kirchner og fl., 2005). Staðlar ESB fyrir losun nýrra bíla á NO_x og framangreind heimild fyrir NH₄ eru notuð við losunarreikningana.

Miðað við nýja bensínbíla og að losun sé innan marka losunarstaðla, reiknast hún hér um 0,07 g/km N, eða 0,9 tonn á ári við Þingvallavatn. Það sem kann að berast í Þingvallavatn af þessari losun fellur inn undir skilgreiningu á þurrákomu í kaflanum hér á eftir.

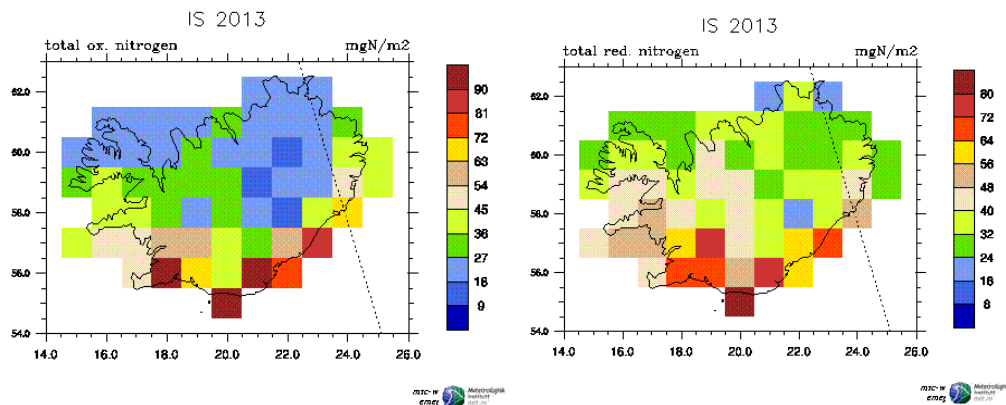
Meðalaldur ökutækja 2014 var 12,7 ár (Dagskrá RÚV, 1.04.2015).

<http://www.ruv.is/frett/medalaldur-bila-a-landinu-127-ar>). Losun er því vanáætluð þar til endurnýjun bílaflotans hefur farið fram.

Langtaðborin mengun

Á vegum samningsins um langtaðborna loftmengun (EMEP) eru reglulega gerðir líkanareikningar fyrir ákomu loftmengunar sem byggðir eru á skýrslum ríkja um losun mengunarefna út í andrúmsloftið. Eru þeir fyrir oxað og afoxað nitur og vot (með úrkomu) og þurrákomu. Slíkir líkanareikningar eru gerðir reglulega fyrir Ísland (EMEP, 2014). Á mynd 7 má sjá niðurstöður slíkra útreikninga fyrir oxað og afoxað nitur árið 2013. Þegar myndir af ákomu þessara efna eru skoðaðar (EMEP, 2014) og magnið gróflega áætlað fyrir Þingvallavatn, virðist þurrákomnan hafa verið metin sem allt að 15 mg N/m²/ári og heildarákoman um 130 mg N/m²/ári. Ef þeirri þurrákomu (sjá EMEP, 2014) er bætt við ákomu með úrkomu (21 tonn N/ári) má lauslega áætla loftborna ákomu um 22 tonn N/ári á yfirborð Þingvallavatns og að allt að 50% niturákomunnar kunni að vera vegna langtaðborinnar mengunar (10 tonn með úrkomu og 1 tonn sem þurrákoma). Taka verður þessum tölum með fyrirvara enda mikill munur milli aðliggjandi reita og hátt ákomumat EMEP er fyrir suðvesturhorn landsins. Mynd 7 sýnir

niðurstöður líkanareikninga og mat EMEP á mikilvægi langtaðborinnar nitur mengunar á Íslandi. Höfundar EMEP skýrslu fyrir Ísland (Heiko Klein, ofl., 2011) gera samanburð með tíðnitöflu á reiknuðum og mældum gildum fyrir votákumu. Enginn slíkur samanburður er til fyrir þurrákumu, enda er hún ekki mæld. Mikilvægt er að gerð verði nánari úttekt til þess að sýna samræmi mældra gilda og þess sem er reiknað til þess að ganga úr skugga um marktækni líkanareikninganna hér á landi.



Mynd 7 Ákoma oxáðs (HNO_3-N , NO_3-N (vinstri mynd)) og afoxaðs (NH_3 og NH_4 (hægri mynd)) niturs, (mg/m^2 N), samkvæmt líkanareikningum EMEP fyrir árið 2013. Myndir sóttar af heimasíðu EMEP ([http://webdab.emep.int/Unified Model Results/](http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/)).

7.8. Aðrar uppsprettur niturs

Niturbinding blágerla (Cyanobacteria)

Blágerlar eru dreifkjörnungar, en hefð var áður að kalla þá bláþörungum vegna þess að þeir innihalda blaðgrænu til ljóstillífunar. Margar tegundir blágerla sem hafa til þess sérhæfðar frumur (heterocysts), geta nýmyndað líffræðilega aðgengilegt nitur eins og nítrat og ammóníak úr köfnunarefnisgasi (köfnunarefnisbinding). Lítið sem ekkert er af blágerlum í svifi Þingvallavatns en ríkulegt magn á strandbotninum neðan u.þ.b. 0,5 m dýpis. Allar helstu tegundir blágerla á botni Þingvallavatns, *Tolypothrix distorta*, *Nostoc commune*, *Anabaena inaequalis* og *Calothrix braunii* hafa þennan hæfileika. Nokkrar tegundir kísilþörungum, m.a. *Epithemia turgida*, sem er ein algengasta kísilþörungategundin á botni Þingvallavatns, eru hýslar fyrir gerla sem nýmyndað geta nitur og geta því einnig nýmyndað nitur með þessu samlífi. Mælingar á niturbindingu hafa ekki verið gerðar, en gera verður ráð fyrir nokkurri niturbindingu á botni þar sem ljóstillífun á sér stað.

Ákoma vegna uppblásturs

Við landnám er talið að allt láglendið umhverfis vatnið hafi verið þakið birkiskógi. Í dag er skóglendi að mestu að finna á landi sem er innan þjóðgarðsins. Gróðurfar umhverfis vatnið einkennist í dag af mosa og lyngi. Mikill uppblástur hefur orðið á svæðinu. Breytingar á gróðri hafa haft í för með sér breytingar á efnasamsetningu jarðvegs. Veruleg rýrnun hefur orðið á innihaldi jarðvegs af lífrænu efni, nitri og söltum (katjónum). Dregið hefur úr hæfni jarðvegsins til jónaskipta (Ingvi Þorsteinsson og Ólafur Arnalds, 1992). Áburðarefni og sölt hafa skolest úr jarðvegi, í grunnvatn og þaðan út í vatnið og aukið ákomu á vatnið. Talið er að nitur, sem berst með regni á ógróið land skolist niður í jarðlögin og grunnvatn, en bindist í gróðri og jarðvegi á grónu landi. Sá þáttur ákomunnar, sem kemur til vegna svifryks við uppblástur, hefur ekki verið metinn, en er sýnilegur. Hægt væri að meta magnið með loftgæðamælingum á Þingvöllum og þurrákomureikningum (sbr. hér framar), en efnainnihald uppblásturs er þekkt, t.d. frá úrkomumælingum við Írafoss (Veðurstofa Íslands, munnlegar upplýsingar).

Útskolun af vatnasviði

Samantekt á gögnum frá skógarvistkerfum í Evrópu (Brit Lisa Skjelkvale og fleiri, 2001) sýnir að tengsl eru þar á milli loftborinnar niturákomu og útskolunar. Lítil útskolun er talin við ákomu undir 9 – 10 kg N ha⁻¹ ári⁻¹. Hún fer vaxandi með aukinni ákomu og er orðin veruleg (significant) við ákomu yfir 25 kg N ha⁻¹ ári⁻¹ í Evrópu. Reikningsleg ákoma á vatnið (og næsta nágrenni þess) með úrkomu er 2,7 kg N ha⁻¹ ári⁻¹.

Reiknuð útskolun niturs á ferkílómetra af vatnasviði Sogsins er 219 kg N /km²/ári (2,2 kg N ha⁻¹ ári⁻¹). Útskolun vex með aukinni úrkomu (Tafla 5) Í samanburði við nokkur önnur vatnasvið (mislöng gagnasöfn) er mikil útskolun niturs af vatnasviði Þingvallavatns (Sogsins) og það er nokkur fylgni milli útskolunar niturs og afrennslis (Tafla 5).

Tafla 5 Afrennsli og framburður heildarniturs (PON+TDN) af vatnasviði nokkurra áa.

	Afrennsli af vatnasviði mm / ári	Framburður N-total tonn/ári	Útskolun N-total kg /km ² /ári	Meðalstyrkur N-total µg/l
Sogið	2600	285	219	83±31
Fjarðará	2400	7	156	104±38
Grímsá	2300	48	144	68±22
Ölfusá	2200	1799	317	130±71
Hvítá Borg.	1700	283	170	101±32
Andakílsá	1700	25	171	104±38
Þjórsá	1500	1076	146	94±37
Norðurá	900	43	85	79±28
Vatnsdalsá	700	46	94	141±37
Víðidalsá	600	29	73	120±33

Hugsanlega eru einnig tengsl á milli afrennslis (þ.e. úrkomu) og útskolunar á heildar nitri af vatnasvæðum og ár af vatnasviðum með mikið afrennsli sýnast hafa veika tilhneygingu til þess að hafa minni meðalstyrk heildar niturs. Þegar meta á gæði vatns og álag á vettvangi vatnatilskipunar Evrópusambandsins er ástæða til að gæta að þessum tengslum og skoða bæði styrk og afrennsli. Aðrir hafa einnig bent á mikilvægi þess að skoða bæði styrk og afrennsli (sjá: Brit Lisa Skjelkvale og fleiri, 2001).

8. Niðurstöður

Mat á meðalákomu með lindum og útskolun við Steingrímsstöð verður stöðugt betra eftir því sem mælingarnar ná yfir lengri tíma og áhrif stórra sveiflna í gögnunum dofna.

Gögnin benda til að breytingar eða sveiflur eigi sér stað í næringarefnastreymi Þingvallavatns. Þetta á við um kísil, fosfór og einnig nitur.

Nitur

Miklar sveiflur í styrk niturs í lindum og Sogi má sjá eftir árum frá því að samfelldar mælingar hófust. Þessar sveiflur gera það að það að mikill reikningslegur munur virðist milli ára.

Meðaltalstölur um inn og útstreymi niturs með lindum og ám virðast vera að ná jafnvægi í um 300 tonnum af nitri á ári. Ekki er hægt að draga þá ályktun að ákoma með lindum hafi breyst frá 1975.

Tafla 1 Mat á ákomu niturs og fosfórs á Þingvallavatn, útskolun í Sogið og í setlög (sjá einnig kafla 2).

Ákomumat fyrir Þingvallavatn	Heildar nitur tonn/ári		Heildar fosfór tonn/ári	
	Berst í vatnið	Hverfur úr vatninu	Berst í vatnið	Hverfur úr vatninu
Með ám og lindum	265		83	
Niturbinding blágerla	Óþekkt		-	
Loftborið með úrkomu	21		1,7	
Þurrákoma	1		-	
Uppblástur og aðborið efni	Óþekkt		Óþekkt	
Iðnaðarstarfsemi	1		-	
Áburðarnotkun	5		0,2	
Íbúar/starfsemi/sumarhús	2		0,3	
Ferðamennska	1		0,1	
Í Sogið		283		68
Botnfellur í setlög		41,5		17
Samtals	296	325	85	85

Staðbundin ákoma frá íbúum, starfsemi og ferðaþjónustu er samkvæmt töflu 1 um 9 tonn á ári sem er aðeins lítil hluti heildarákomunar. Matið hefur lækkað nokkuð við að nota OSPAR (OSPAR Agreement 2004-02e) viðmið til útreikninga og vegna þess að Þjóðgarðurinn á Þingvöllum flytur allt skólp sem fellur til á Hakinu af svæðinu og skólp er einnig flutt burt af Ion Hótelu.

Nitur berst einnig til vatnsins vegna aðborinnar lofmengunar. Loftborin mengun kann að hafa aukið niturákomuna verulega á síðustu öld þótt það greinist ekki í mælingum í lindum.

Nýlegar rannsóknir sýna fram á að breytingar hafa átt sér stað í næringarlitlum norrænum- og heimskautavötnum með hliðstæða ákomu loftborins niturs og hér er gert ráð fyrir. Þær

breytingar eru ýmist tengdar aukinni niturákomu eða loftslagsbreytingum, eða hvorttveggja (Heleen A. de Wit and Markus Lindholm 2010).

Fosfór

Í Þingvallavatn er áætlað að berist 83 tonn af fosfór á uppleystu formi með lindum og önnur ákoma um 2 tonn. Út úr vatninu um Sogið berst 68 tonn, 29 tonn uppleyst og um 40 tonn með svifögnum. Um 17 tonn botnfalla varanlega í setlög (Tafla 1). Fosfór er ekki takmarkandi fyrir vöxt þörunga í vatninu en meðalstyrkur fosfats virðist fara lækkandi í Steingrímsstöð og í Sogi við Þrastalund. Horfa má bæði til magns og hlutfalls uppleystra ólífrænna næringarefna (N:P hlutfall) og þetta hlutfall kann að vera að breytast.

Kísill

Af gögnunum frá Sogi við Þrastalund (Mynd 4) virðist sem að það megi greina tíu ára sveiflu í styrk kísils úr Þingvallavatni. Styrkurinn hefur farið lækkandi í útfallinu ($R^2=0,52$) og við Þrastalund síðan 2008. Styrkur kísils í lindunum virðist lækka minna og það dregur í sundur á milli lindanna og útfallsins. Þetta hefur leitt til hugmynda um að leita megi vistfræðilegra skýringa á þessum breytingum og jafnframt að skoða þurfi vistfræðileg áhrif breytinga í fosfór og nitri.

Kísilþörungar eru helstu framleiðendur á lífrænu efni í vatninu og taka þeir upp og binda kísil til uppbyggingar kísilskeljar. Hægt væri að finna reiknislegt jafnvægi í ákomumatinu, milli þess sem kemur inn í vatnið, þess sem fer út (og fer í setlög) og þess magns sem bundið er í þörungum. Tvær mikilvægustu tegundirnar fyrir frumframleiðslu vatnsins eru kísilþörungar af ætthvíslinni *Aulacoseira* sem taka upp kísil við gerð kísilgrindar um frumurnar. *Aulacoseira* tegundirnar hafa mikla kísilþörf og nær önnur þeirra hámarks upptökuhraða við 0,6 mg/l-Si (Barbiero et al 2006). Í Þingvallavatni er því gnótt af kísil til vaxtar kísilþörungum.

Gibson og fl. (Gibson et al., 2000) gefur upp 0,188 mg/mm³ Si (0,402 mg SiO₂) sem meðaltal fyrir þörungarúmmál *Aulacoseira subarctica*, eina aðal tegund Þingvallavatns. Ef miðað er við að eðlisþyngd þörunganna sé einn, svarar 5.200 tonn af kísli sem tekinn er upp (mismunur inn og útstreymis) til 28.000 tonna lífþyngdar (votvigt). Ef miðað er við Redfield hlutfall (C:Si = 106:16) svara 5200 tonn Si bundið í kísilþörungum til um 15.000 tonna kolefnis, bundið í sömu þörungum. Styrkur kísils fer lækkandi í útfallinu við Steingrímsstöð (Mynd 4). Eins mg/l lækkun á styrk Si í vatninu vegna upptöku kísilþörunga svarar reiknislega til um 9.000 tonna aukningu í lífrænu kolefni. Reiknuð frumframleiðsla fyrir allt vatnið (Pétur M. Jónasson, 2002) var þannig:

Vatnsbolurinn framleiðir (kolefni; C) 20.000 tonn af jurtasvifi, steinbotninn 3.000 tonn og tjarnarnálabeltið 4250 tonn af þörungum, samtals um 27.000 tonn kolefnis.

Umferðarþungi á svæðinu er að aukast mjög mikið og eknir eru 12,5 milljón km á ári. Þannig er umferð að verða þáttur sem ástæða er til að taka mið af við þessar áætlanir.

8.1. Heimildir

- Anna Dóra Sæþórsdóttir, Gyða Þórhallsdóttir og Rögnvaldur Ólafsson, 2014. Aðferðir við að meta fjölda og taka úrtak meðal ferðamanna. Áfangaskýrsla um verkefnið: Polmörk ferðamanna á átta vinsælum ferðamannastöðum á Suður og Vesturlandi. Rannsóknamiðstöð ferðamála 2014. RMF-S-06-2014. ISBN: 978-9935-437-31-0.
- Árni Snorrason, 2002. Vatnafar á vatnasviði Þingvallavatns. Í: Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson, ritstj. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík 2002.
- Bláskógabyggð, 2005. Aðalskipulag Þingvallasveitar
(http://www.blaskogabyggd.is/Skipulags_og_byggingamal/adalskipulag/)
- Brit Lisa Skjelkvale, Arne Henriksen, Gunnar Steinn Jónsson, Jaakko Mannio, Anders Vilander, Jens Peter Jensen, Eirik Fjeld, Leif Lien 2001. Chemistry of lakes in the nordic region – Denmark, Finland with Aland, Iceland, Norway with Svalbard and Bear Island and Sweden. NIVA Report SNO4391-2001. Acid Rain Research Report 53/2001, 39 pp.
- Brit Lisa Skjelkvale og fleiri 2001. Assessment of Trends and Leaching of Nitrogen at ICP Waters Sites (Europa and North America). ICP Waters report 54/2001. The Norwegian Pollution Control Authority.
- Conley, D.J., Kilham, S.S. & Theriot, E. (1989). Differences in silica content between marine and freshwater diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 205-213
- Ebbe Lastein, 1983. Decomposition and sedimentation processes in oligotrophic, subarctic Lake Thingvalla, Iceland. *OIKOS* 40: 103-112. Copenhagen 1983.
- EMEP MSC/W Líkanareikningar fyrir 2009, hlaðnir niður og notaðir með leyfi:
http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/
- EMEP, 2014. Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components, [EMEP Status Report 1/2014](#), ISSN 1504-6109 (print), ISSN 1504-6192 (online)
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008 – 2012. RH-01-2014. Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 108 Reykjavík, Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2015. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007 – 2014. RH-04-2015. Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík.
- Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008 – 2015. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XI – XVIII. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans 2008 – 2015.
- Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2007 – 2012. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Vesturlandi I – VI. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans 2007 – 2012.
- Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2009– 2011. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Austurlandi VI – VIII. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans 2009 – 2011.

- Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason, Stefán Már Stefánsson, Þóra Hrafnisdóttir og Hilmar J. Malmquist 2013. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2012. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 4-13.
- Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason, Stefán Már Stefánsson, Þóra Hrafnisdóttir og Hilmar J. Malmquist 2014. Vöktun á lífríki og vatnsgæðum Þingvallavatns. Gagnaskýrsla fyrir árið 2013. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 2-2014.
- Freysteinn Sigurðsson og Guttormur Sigurbjarnarson, 2002. Grunnvatnið til Þingvallavatns. Í: Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson, ritstj. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík 2002.
- Gibson, C.E., Wang, G. & Foy, R.H., 2000. Silica and diatom growth in Lough Neagh; the importance of internal recycling. *Freshwat. Biol.* 45:285-293.
- Gunnar Steinn Jónsson 2016. Mývatn – ákoma og afrennsli. Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið. Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2016.
- Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson og Sigurjón Rist, 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *OIKOS* 64: 121-135. Copenhagen 1992.
- Hákon Aðalsteinsson og Pétur M. Jónasson, 2002. Svifið og forsendur lífs í vatnsbolnum. Í: Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson, ritstj. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík 2002.
- Hafliði Hafliðason, Guðrún Larsen and Gunnar Ólafsson, 1992. The recent sedimentation history of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64: 80 – 95. Copenhagen 1992.
- Heiko Klein, Michael Gauss, Ágnes Nyíri and Birthe Marie Steensen, 2011. Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Iceland.
- Heleen A. de Wit and Markus Lindholm 2010. Nutrient enrichment effects of atmospheric N deposition on biology in oligotrophic surface waters – a review
- ICP Waters report 101/2010. The Norwegian Climate and Pollution Agency (Klif) United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).
- Hilde Fagerli et al. 2012. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2010. EMEP Status Report 2012. ISSN 1504-6192. Norwegian Meteorological Institute
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. 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.
- Meteorologisk Institutt. Norwegian Meteorological Institute. EMEP/MS-C-W: ISSN 1890-0003. (http://emep.int/publ/reports/2011/Country_Reports/report_IS.pdf)
- Ingvi Þorsteinsson og Ólafur Arnalds, 1992. The vegetation and soils of the Thingvallavatn area. *Oikos* 64: 105 – 116. Copenhagen 1992.
- Jón Ólafsson, 1992. Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. *OIKOS* 64: 151-161. Copenhagen 1992.

- Orkuveita Reykjavíkur og VGK, 2002. Nesjavallavirkjun. Áfangi B4. Stækkun rafstöðvar úr 76 í 90 MVW. Mat á umhverfisáhrifum. Orkuveita Reykjavíkur, október 2002.
- OSPAR Agreement 1998-5. Principles of the Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges (RID).
- OSPAR Agreement 2004-02e. OSPAR HARNUT Guideline 5: Quantification and reporting of nitrogen and phosphorus losses from households not connected to public sewerage.
- Pétur M. Jónasson, Hákon Aðalsteinsson og Gunnar St. Jónsson, 1992, Production and nutrient supply of phytoplankton in subarctic. Dimictic Thingvallavatn, Iceland. OIKOS 64: 162-187.
- Pétur M Jónasson, 2002. Höldum Þingvallavatni Bláu og tæru. Í: Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson, ritstj. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík 2002.
- Pétur M Jónasson, 2002. Vistkerfið í heild. Í: Pétur M. Jónasson og Páll Hersteinsson, ritstj. Þingvallavatn. Undraheimur í mótun. Mál og Menning, Reykjavík 2002.
- Sigurður Reynir Gíslason o.fl, 1997 – 2007. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi I – X. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun Háskólans 1997 – 2007.
- Sigurður Reynir Gíslason o.fl, 2000 – 2004. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Austurlandi I – V. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun Háskólans 2000 – 2004.
- Sigurður Reynir Gíslason o.fl, 2006. Chemical composition, discharge and suspended matter of rivers in North-Western iceland. The database of the Science Institute, University of iceland, and the Hydrological Service of the National Energy Authority. University of Iceland. RH-07-2006. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun Háskólans RH-07-2006.
- Umhverfisstofnun, 2004. Handbók um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns. Skýrsla Umhverfisstofnunar sbr. 17. gr. reglugerðar nr. 796/1999, um varnir gegn mengun vatns. *UST-2004:32*