

# Mývatn - ákoma og afrennsli

---

Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið



Gunnar Steinn Jónsson



UMHVERFIS- OG  
AUÐLINDARÁÐUNEYTIÐ

## **Mývatn - ákoma og afrennsli**

### **Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið**

Höfundur: Gunnar Steinn Jónsson líffræðingur

[gunnar.steinn@internet.is](mailto:gunnar.steinn@internet.is)

[gsj@rorum.is](mailto:gsj@rorum.is)

Forsíðumynd frá Mývatni: Hugi Ólafsson

Umbrot: Umhverfis-og auðlindaráðuneytið

© 2016 Umhverfis- og auðlindaráðuneytið

ISBN 978-9935-9143-3-0

## Efnisyfirlit

1. Inngangur .....	4
1.1. Uppruni gagna og efnistösk .....	4
1.2. Yfirlitskort af Mývatni.....	6
2. Samantekt.....	7
3. Líkön til þess að reikna efnabúskap Mývatns.....	11
3.1. Líkan fyrir efnaflutningum úr Mývatni í Laxá.....	11
3.2. Líkan fyrir innrennsli með lindum í Mývatn .....	13
4. Fosfór og nitur í íslenskum vötnum og Mývatni.....	14
4.1. Mælingar á fosfór og nitri í vatni.....	14
4.2. Mörk fyrir fosfór- og niturstyrk í vötnum.....	16
4.3. Nýting þörunga á fosfór og nitri .....	17
4.4. Nitur- og fosfórstyrkur í íslenskum stöðuvötnum .....	18
4.5. Styrkur uppleysts ólífræns fosfórs og niturs í Mývatni .....	19
4.6. Styrkur fosfórs og niturs í lindum við Mývatn.....	22
5. Nitur- og fosfórbúskapur Mývatns.....	25
5.1. Magn niturs og fosfórs sem berst úr Mývatni í Laxá .....	25
5.2. Magn niturs og fosfórs sem berst til Mývatns með lindum .....	27
5.3. Ákoma frá byggð .....	28
5.4. Ákoma frá landbúnaði .....	28
5.5. Ákoma frá ferðaþjónustu.....	29
5.6. Önnur starfsemi.....	31
5.7. Loftborin ákoma.....	31
6. Niðurstöður.....	33
7. Heimildir .....	37

# 1. Inngangur

Þessi skýrsla er önnur af tveimur, þar sem er sett eru fram yfirlit og líkön yfir nitur- og fosfórbúskap, annarsvegar Mývatns og hins vegar 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, næringarefnaþámi 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.

## 1.1. Uppruni gagna og efnistöð

Þessi samantekt byggir að grunni á fyrirliggjandi gögnum og rannsóknum í Mývatni (Jón Ólafsson, 1979, Gögnum sérfræðinganeftdar Umhverfissráðuneytisins um Mývatnsrannsóknir, SF1 (Jón Ólafsson, óbirt gögn og minnisblöð)), Eydís Salome Eiríksdóttir og fleiri, 2008, Gögn úr gagnagrunni Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson, pers. uppl.). Einnig eru notuð gögn frá fjölmörgum aðilum eins og frá yfirlitskönnun á lífríki íslenskra vatna (Hilmar J. Malmquist og fleiri, 2010), Veðurstofu Íslands, Hagstofu Íslands, Matvælastofnun, Vegagerðinni, samningnum um langtaðborna loftmengun (EMEP), svo nokkuð sé nefnt. Útreikningar á framburði eru gerðir samkvæmt leiðbeiningum OSPAR samningsins (Agreement 2014-04). Að öðru leiti er vísað í heimildir í texta þar sem það á við.

Ég þakka Jóni Ólafssyni sérstaklega fyrir að veita mér aðgang að að ýmsum óbirtum gögnum og minnisblöðum sem varða efnamælingar í Mývatni.

Við útreikninga á framburði úr Mývatni eru notaðar mælingar gerðar árin 1999 til 2001 og árið 2000 er haft sem viðmiðunarár m.a. hvað varðar rennsli. Við útreikninga á innstreymi með lindum eru notuð meðaltöl efnamælinga áráanna 1969 til 2012, en rennsli ársins 2000.

Samantekt á styrk efna í Mývatni eru niðurstöður efnamælinga margra ára frá mælistöð í miðjum Syðri flóa og úr Geirstaðarskurði. Við notkun á tölfræðilegum upplýsingum er við það miðað að hafa þær sem nýlegastar. Þannig eru tölur frá Veðurstofu Íslands, Hagstofu Íslands, MAST, Vegagerðinni og samningnum um langtaðborna loftmengun (EMEP), nýjustu upplýsingar þessara aðila.

## 1.2. Yfirlitskort af Mývatni



**Mynd 1** Yfirlitskort af Mývatni (Jón Ólafsson, 1979a). Á kortið hefur verið bætt við staðsetningu nafngreindra lindasvæða og straumstefnu grunnvatns til þeirra í Ytriflóa (rauðar örvar) og Syðriflóa (bláar örvar).

## 2. Samantekt

Í skýrslunni er gerð grein fyrir líkönum sem notuð hafa verið til þess að lýsa efnabúskap Mývatns (kaflí 3). Helstu þættirnir í efnabúskapnum eru:

- *Innstreymi með lindum, annarsvegar í Syðri- og hins vegar í Ytriflóa.*
- *Ákoma með úrkomu beint á vatnið.*
- *Dreifð ákoma vegna byggðar, landbúnaðar, ferðaþjónustu og annarri starfsemi.*
- *Ákoma vegna niturbindingar.*
- *Útrennsli í Laxá*
- *Uppsöfnun efna í seti*

Rennsli í og úr Mývatni (kaflí 4.1) er stór þáttur við útreikninga á magni efna inn og út úr vatninu. Árs meðalrennsli í Laxá við Helluvað yfir 40 ára tímabil er 37,5 m<sup>3</sup>/s. Hámarks- og lágmarksrennsli tímabilsins, er annarsvegar um 43 m<sup>3</sup>/s og hins vegar um 33 m<sup>3</sup>/s.

Reikniaðferðir OSPAR samningsins eru notaðar til þess að reikna út flutning efna úr Mývatni í Laxá, út frá styrk efna í Geirastaðarskurði og rennsli við Helluvað (kaflí 4.2 og 5.1).

Annar breytilegur þáttur er styrkur efna í innrennsli með lindum (kaflí 4.6). Notað er meðaltal mælinga síðustu 40 ára til að reikna út innrennsli linda (Tafla 9). Innrennsli fosfats og uppleysts ólífræns niturs með lindum er áætlað 51 tonn P og 67 tonn N. N:P hlutfallið er 1,3:1 miðað við þyngd.

Meðalstyrkur fosfats í Mývatni, miðað við það gagnasafn sem haft var til viðmiðunar, var 9,8 (SD= 9,5) µg/l PO<sub>4</sub>-P og uppleysts ólífræns niturs 17,6 (SD= 15) µg/l-N. Meðal hlutfall (miðað við þyngd) ólífræns niturs og fosfats í Mývatni var því um 2:1.

Svifþörungar eru taldir taka upp uppleyst nitur og fosfat í N/P hlutföllunum (svokallað „Redfield Ratio“) 16:1 (byggt á mólfjölda) og **7:1 byggt á þyngd**. Lægri hlutföll en 16:1 (**7:1 miðað við þyngd**) geta gefið til kynna mögulega nitur þurrð og hlutföll hærri en 16:1 (7:1 miðað við þyngd) , mögulega fosfór þurrð fyrir frumframleiðslu svifþörungna. Gögn um þyngdarhlutfall niturs og fosfórs í svifaur í Mývatni sýna þetta N:P hlutfall sem 6,5:1 sem er nálægt hinu fræðilega gildi (Jón Ólafsson, óbirt gögn frá Syðri flóa (SF1) 1992 (Sérfræðinganevnd um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið).

Mun algengara er að uppleyst nitur (40 % tilvika) sé í styrk sem bendir til þurrðar, en að fosfat (5% tilvika) í Mývatni sé í styrk sem bendir til þurrðar. Fosfór er það efni sem er ráðandi um magn þörungna í vatninu en blágrænar bakteríur í vatninu geta bætt fyrir niturþurrð með því að vinna nýtanlegt nitur úr andrúmsloftinu (niturbinding) og verið þar með að einhverju leyti sjálfbærar hvað nitur varðar. Niðurstöður benda til að mikill áramunur getur verið á niturbindingu.

Reiknað innstreymi niturs í vatnið er 80 tonn og í útfallinu með niturbindingu í vatninu um 280 tonn (ár með lítið af blágrænum bakteríum). Niturbinding árið 2000 er því áætluð um 200 tonn, en var um 300 tonn árið 1974 (Jón Ólafsson, 1979b). Ákoma frá íbúum og ferðaþjónustu er samkvæmt 1. Töflu, 0,5 tonn fosfór og 3 tonn af nitri. Slíkar tölur eru ekki til þess fallnar að skýra þá aukningu sem tölur um ákomumat allt frá 1969 með lindum benda til að hafi orðið. Sú aukning var auk þess aðallega tengd starfsemi Kísiliðjunnar sem nú er hætt starfsemi. Gögn frá Helgavogi (kafla 4.6) benda til að enn sé losun frá úrgangi hennar, þótt styrkurinn sé farinn að minnka. Sem dæmi eru N:P hlutföll linda í Ytriflóa 4:1 og ákoma niturs í Ytriflóa 4,6 g/m<sup>2</sup> N en 1,8 g/m<sup>2</sup> N fyrir Mývatn í heild.

**Tafla 1** Reiknuð ákoma fosfórs og niturs í Mývatn og afrennsli úr Mývatni í Laxá miðað við árið 2000, tonn á ári.

Ákomumat fyrir árið 2000	Heildar fosfór (tonn/ári)		Heildar nitur (tonn/ári)	
	Í Mývatn	Úr Mývatni	Í Mývatn	Úr Mývatni
Úr Mývatni í Laxá		46		207
Í setlög í Mývatni		12		72
Í Mývatn með lindum	51		67	
Útskolun frá landbúnaði	0,2		6	
Losun íbúa	0,2		1,2	
Losun ferðaþjónustu	0,3		1,8	
Loftbórið á Mývatn (úrkoma og þurrákoma)	0,3		4	
Niturbinding blágerla í Mývatni			199	
<b>Ákoma árið 2000</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>279</b>	<b>279</b>



**Tafla 2** Reiknuð ákoma fosfórs og niturs í Mývatn miðað við árin 1969-1989, tonn á ári (Jón Ólafsson, 1979b og 1991). Einnig ákoma í Mývatni (niturbinding) og afrennsli úr Mývatni í Laxá fyrir árið 1974. Niturbinding ekki þekkt fyrir önnur ár.

Ákoma í Mývatn Tímabilið 1969-1989	Heildar fosfór (tonn/ári)		Heildar nitur (tonn/ári)	
	Í Mývatn	Úr Mývatni	Í Mývatn	Úr Mývatni
Árið 1989	56		71	
Árið 1978	56		60	
Árið 1974	54	54	54	355
Árið 1974 niturbinding í Mývatni			301	
Árið 1969	52		37	

Til eru gögn um efnastyrk í lind neðan Bjargs á Reykjarhlíðarsvæðinu. Styrkur niturs í lindinni hefur farið stöðugt vaxandi frá áttunda áratugi síðustu aldar og fram til 2012. Árstíðarsveiflur eru í styrk niturs og hæstu gildin falla saman við aðal ferðamannatímabilið um sumarið (*Gögn sérfræðinganevndar Umhverfissráðuneytisins um Mývatnsrannsóknir, Jón Ólafsson óbirt gögn og minnisblöð, Gögn úr gagnagrunni Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson*). Þessi gögn sýna glögg að staðbundið getur losun skólps verið marktæk og mælanleg og áhrif greinanleg í næsta nágrenni við helstu ferðamannastaði við vatnið.

Niðurstöður þessarar skýrslu hvað varðar ákomu, eru háðar mikilli óvissu, en þær skera sig ekki frá fyrra mati á ákomu. Ekkert í þessari skýrslu bendir til einhverra skyndilegra breytinga í ákomu á Mývatn, frekar að hugsanlegar breytingar kunni að vera hægar og sígandi yfir langt tímabil.

Ávinningur þessarar skýrslu er m.a. að þau gögn sem lögð eru hér fram, sýna fram á mikilvægi þess að koma á kerfisbundinni reglulegri vöktun á ákomu og afrennsli. Bæði eru sveiflur í innrennsli vatns og breytileiki í þeim mælingum sem notaðar eru við reikningana milli ára. Afrennsli efna í Laxá er reiknað fyrir árið 2000. Ákoma með lindum er reiknuð út frá meðaltali á styrk efna í lindum mældum á tímabilinu 1969 til 2012 en miðað við rennsli árið 2000 til samræmis. Ákoma vegna mannglegrar starfsemi er reiknuð út frá nýjustu tiltæku hagtölum og gögnum opinberra stofnana. Ákoma vegna niturbindingar er mismunurinn á ákomureikningum fyrir nitur í vatnið og úr vatninu.

## *Eftirlitskerfi með vatnsgæðum*

- Skipulagt eftirlitskerfi fæli í sér mánaðarlega sýnatöku í Geirastaðarskurði og reglulega í völdum lindum (a.m.k. þremur í Ytriflóa og þremur í Syðriflóa).
- Útbúa þarf rennslislykil til þess að meta rennsli úr Mývatni miðað við mælt rennsli við Helluvað.
- Útbúa þarf rennslislykla fyrir megin lindir í Ytri- og Syðriflóa vegna þess að munur er á milli linda.
- Til eftirlits með mannlegri starfsemi, væri æskilegt að setja upp rennslismæla á vatn við, nokkrar skólphreinsistöðvar þéttbýliskjarna og lykil ferðapjónustustaði (og stærstu hótél) og mælibrunna til reglulegrar sýnatöku á frárennsli.
- Sérstaka úttekt þarf að gera til þess að leggja mat á útskolun sem enn kann að vera til staðar vegna úrgangs frá starfsemi Kísiliðjunnar og koma á eftirliti með þeirri útskolun.
- Gera þarf umferðarkannanir til þess að bæta upplýsingar um fjölda ferðamanna sem leið eiga um svæðið og til að leggja mat á hversu lengi þeir staldri við að jafnaði.
- Setja þarf upp loftgæðamæla til þess að mæla loftborna þurrákomu (svifryk, NO<sub>x</sub> og NH<sub>4</sub>) vegna langtaðborinnar mengunar, umferðar og starfsemi. Koma þarf á langtíma mælingum á efnainnihaldi í úrkomu.

### 3. Líkön til þess að reikna efnabúskap Mývatns

Til þess að ákvarða efnabúskap Mývatns eru líkön fyrir helstu efnastraumana inn og út úr vatninu.

Efnastraumarnir eru:

- *Innstreymi með lindum, annarsvegar í Syðri- og hins vegar í Ytriflóa.*
- *Ákoma með úrkomu beint á vatnið.*
- *Dreifð ákoma vegna byggðar, landbúnaðar, ferðaþjónustu og annarri starfsemi.*
- *Ákoma vegna niturbindingar.*

Efnastraumar út úr vatninu, eru aðallega *útskolun með rennslinu úr Mývatni í Laxá og setmyndun á botni.*

Efnastraumarnir eru að hluta til mælanlegir og að hluta til metnir.

Styrkur efna er mældur í lindum og í útfalli Mývatns. Þau mæligildi eru margfölduð upp með ársrennsli vatns úr Mývatni í Laxá. Hinar dreifðu lindir hafa verið vegnar m.t.t. hlutfallslegs innrennslis. Sambærilegar lindir eru flokkaðar saman og meðaltalsgildi fyrir efnastyrk notuð til útreikninga.

Til að leggja grunn að langtíma eftirliti með ákomu í því skyni að meta áhrifin þarf að hafa nokkuð rétta mynd af árlegu rennsli og breytileikanum í rennsli í og úr vatninu milli ára.

Ekki er í þessari skýrslu fjallað um innri ferla eins og flutning efnis milli sets og vatnsbols, milli fæðuþrepa, endurnýtingu áburðarefna í vistkerfinu eða afnitrun.

#### 3.1. Líkan fyrir efnaflutningum úr Mývatni í Laxá

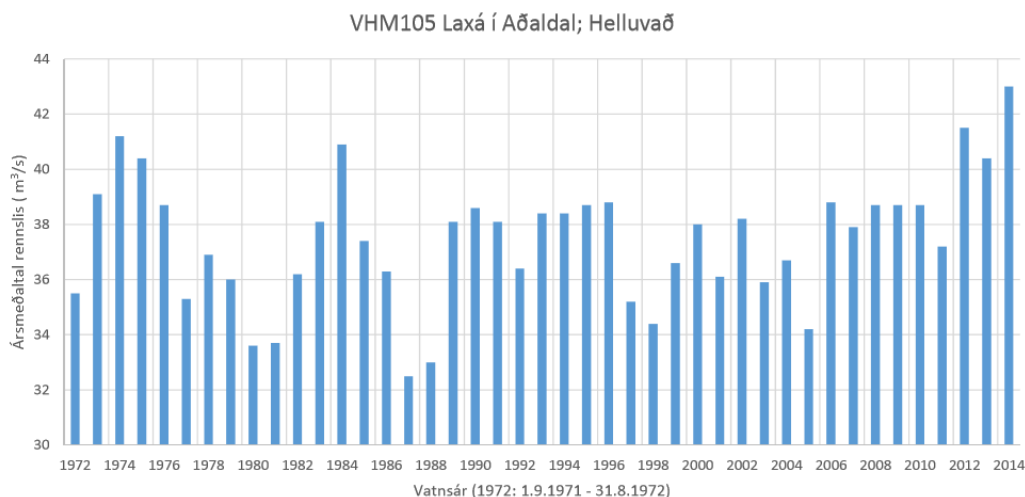
Jón Ólafsson (1979a) gerir grein fyrir vatnafræði Mývatns. Afrennsli Mývatns fer um þrjá farvegi. Einn farvegurinn er um Geirastaðarskurð þar sem vöktun á útskolun úr Mývatni fer fram.

Sigurjón Rist (1990) birtir töflu um rennsli í Laxá, ótruflað af mannavöldum:

Geirastaðarkvísl	6	m <sup>3</sup> /s
Hólskvísl (Miðkvísl)	12	-
Syðstakvísl	14	-
<b>Laxá alls úr Mývatni</b>	<b>32</b>	-

Rennslismælingar (VHM105) fara fram í Laxá við Helluvað. Þá hafa Kráká og Sortulækur bæst í rennslið frá Mývatni. Arnarvatnsá kemur inn í Laxá eftir rennslismælinguna við Helluvað. Í grein Jóns Ólafssonar (1979b) er byggt á meðalrennsli áráanna 1972-1974 við Helluvað, um 42 m<sup>3</sup>/s og af því 33 m<sup>3</sup>/s úr Mývatni. Það er tala sem höfundur þessarar samantektar sér víða notað sem viðmið um rennsli úr Mývatni. Fyrirliggjandi stakar rennslismælingar úr Mývatni, Kráká (tæplega 7 m<sup>3</sup>/s), Arnarvatnsá (rúmlega 1 m<sup>3</sup>/sek) og Sortulæk (tæplega 1 m<sup>3</sup>/s) styður þetta rennslismat þeirra Jóns Ólafssonar og Sigurjóns Rist.

Á mynd 2 er sýnt ársmeðaltal rennslis í Laxá við Helluvað fyrir liðlega 40 ára tímabil frá 1. September 1971 til 31. Ágúst 2013. Meðalrennslið fyrir allt tímabilið er 37,5 m<sup>3</sup>/s. Nokkrar sveiflur eru rennslinu á milli ára og tímabila. Meðalrennsli eftir áratugum er nálægt 37 m<sup>3</sup>/s, fyrstu þrjá áratugin en hækkar um 0,5 m<sup>3</sup>/s í 37,5 m<sup>3</sup>/s á fyrsta áratug þessarar aldar. Ársmeðalrennsli mælist enn hátt og það hæsta sem mælist hefur verið vatnsárið 2013/2014, eða 43 m<sup>3</sup>/s (Veðurstofa Íslands, 2015). Rennslið er enn fremur hærra yfir sumarmánuðina (apríl til október) en vetrarmánuðina (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1999).



**Mynd 2** Ársmeðaltal rennslis í Laxá við Helluvað fyrir liðlega 40 ára tímabil. Vatnsárin frá 1. september 1971 til 31. ágúst 2013 (Veðurstofa Íslands 2015: Gagnabanki Veðurstofu Íslands, afgreiðsla nr. 2015-07-08/01).

Ákvarða þarf hvernig sveiflurnar (samanber mynd 2) endurspeglast í sveiflum í útrennsli og þar með innrennsli linda í Mývatn. Eldri stöku mælingar á rennsli Krákár og Sortulækjar má gróflega meta sem um 20% heildarrennslis Laxár við Helluvað.

Í þessari skýrslu er sú leið farin að lækka allar rennslistölur frá Helluvaði um 20%, þegar áætla þarf rennsli úr Mývatni og að annað rennsli, aðallega Krákár sveiflist í takt við rennslið úr Mývatni.

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

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 úr Mývatni er notuð reikniaðferð OSPAR sammingsins (OSPAR Commission, 2014. HASEC 14/14/1 (Agreement 2014-04)) sem sýnd er í textaboxi hér til hliðar.

### 3.2. Líkan fyrir innrennsli með lindum í Mývatn

Jón Ólafsson (1979) gerði líkan fyrir innrennsli vatns með lindum með ólík einkenni. Hann skipti innrennslinu gróflega í rennsli heitra linda til Ytriflóa og rennsli kaldra linda til Syðriflóa. Hlutföll milli þessara ólíku linda voru fundin út frá rennslinu úr Ytriflóa um Teigasund og steinefnahlutföllum (efnastyrk). Heildar rennslismagnið inn var síðan jafnt og rennsli vatns úr Mývatni. Þetta sama líkan gildir fyrir innrennsli fosfórs og niturs í Mývatn þegar rennshlutföllin hafa verið ákvörðuð. Líkanið er sýnt í meðfylgjandi textaboxi:

$$C_1 * Q_1 + C_2 * Q_2 = C_3 * Q_3 \quad \text{og} \quad Q_1 + Q_2 = Q_3$$

$C_1$  = meðal efnastyrkur linda í Ytriflóa (Helgavogi, Kálfstjörn, Langavogi)

$C_2$  = meðal efnastyrkur linda í Syðriflóa (Grænavatni, Grjótavogi, Kýrkletti, Garði)

$C_3$  = meðal efnastyrkur í Mývatn

$Q_1$  = rennsli úr lindum í Ytriflóa

$Q_2$  = rennsli úr lindum í Syðriflóa og Grænalæk

$Q_3$  = rennsli vatns úr Mývatni

Rennslið úr Ytriflóa í Syðriflóa um Teigasund hefur síðar verið endurskoðað og er skilgreint sem 8,3 m<sup>3</sup>/sek (Snorri Páll Kjara, Sigurður Lárus Hólm og Eric Matthew Myer, 2004). Í töflu 3 eru sýnd hlutföll innrennslis í Mývatn eftir megin vatnsgerðum (byggt á mynd 2, í: Snorri Páll Kjara, Sigurður Lárus Hólm og Eric Matthew Myer, 2004):

**Tafla 3** Hlutföll innrennslis vatns í Mývatn eftir megin vatnsgerðum.

	Rennsli	Rennslislutföll
	m <sup>3</sup> /s	%
Ytrifló (heitar lindir)	8,3	25,2
Syðrifló (kaldar lindir)	16,6	50,3
Grænilækur	6,4	19,4
Annað	1,7	5,2
Rennsli	33 m <sup>3</sup> /s	100%

Rennsli í töflu 3 var skilgreint miðað við 33 m<sup>3</sup>/s. Við notkun á breytilegum rennslitölum við ákomumat í framtíðinni, er lagt til að nota frekar rennslislutföllin. „Annað“, er vatn sem virðist renna í Mývatn norðvestantil í Syðriflóa og ekki eru efnagögn fyrir. Hér er það látið kyrrt liggja, og við útreikninga í þessari samantekt er innrennsli skipt í „ heitar lindir í Ytriflóa“ (Q1: 26,5%) og „kaldar lindir í Syðriflóa“ (Q2: 73,5%).

Í nýju mati á grunnvatnsrennsli er ætlað að grunnvatnsrennsli til Syðriflóa út frá líkanreikningum sé 17 m<sup>3</sup>/s. Úr norðaustri og austri berast samkvæmt grunnvatnslíkaninu um 11 m<sup>3</sup>/s til Ytriflóa (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2008). Þetta nýja líkan breytir hlutföllunum verulega ef miðað er við að heildarrennslið sé 28 m<sup>3</sup>/s. Í því er innrennsli linda til Syðriflóa 61% og 39% til Ytriflóa. Þetta nýja mat er ekki lagt til grundvallar við ákomumat í þessari skýrslu.

## 4. Fosfór og nitur í íslenskum vötnum og Mývatni

### 4.1. Mælingar á fosfór og nitri í vatni

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

## Fosfór

Á mynd 3 eru sýnd helstu form fosfórs eins og það er mælt í vatni. Í lindum við Mývatn, er aðallega byggt á mælingum á uppleystu fosfati  $PO_4\text{-P}$  og ekki gert ráð fyrir lífrænum eða ólífrænum svifögnum. Í Geirastaðarskurði við útfall Mývatns í Laxá var uppleystur lífrænn fosfór og fosfat mælt reglulega í yfir eitt ár, 1999 til 2001. Ekki var þó mældur fosfór bundinn í svifögnum.

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 $PO_4\text{-P}$ Soluble Reactive P	Uppleyst P (lífrænt) (Soluble Unreactive)	P bundið í (lífrænum) svifögnum (Particulate Organic P)

**Mynd 3** Myndin sýnir helstu form fosfórs eins og hann er mældur í vatni.

## Nitur

Á mynd 4 eru sýnd helstu form niturs eins og það er mælt í vatni. Í lindum við Mývatn, er aðallega byggt á mælingum á uppleystu nitri og ekki gert ráð fyrir nitri bundið lífrænum eða ólífrænum svifögnum. Í Geirastaðarskurði við útfall Mývatns í Laxá var heildar uppleyst nitur (TDN) mælt, annarsvegar sem ólífrænt (TIN) og hins vegar sem uppleyst lífrænt nitur. Til viðbótar, var heildar nitur í svifögnum (TPN/PON) mælt.

Heildar N (Total-N)				
Heildar uppleyst N TDN				Heildar N í svifögnum TPN
Nítrat (NO <sub>3</sub> )	Nítrít (NO <sub>2</sub> )	Ammonía (NH <sub>3</sub> ) + Ammoníum (NH <sub>4</sub> )	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 4 Myndin sýnir helstu form niturs eins og það er mælt í vatni.

#### 4.2. Mörk fyrir fosfór- og niturstyrk í vötnum

Í töflu 4, eru sýnd viðmiðunarmörk fyrir heildar fosfór og heildar nitur í vötnum, eins og þau eru í gildandi reglugerð um varnir gegn mengun vatns. Með viðmiðunarmörkunum er vötnum raðað í næringarefnaflokka (5 flokka) eftir styrk heildar fosfórs og niturs. Með heildar fosfór er almennt átt við fosfat, uppleystan lífrænan fosfór og fosfór í svifögnum samanber mynd 3, og (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/explore-interactive-maps/wise-soe-total-phosphorus-in-lakes>). Sama á við fyrir heildar nitur, samanber mynd 4. Gildin eru nokkuð sambærileg og hjá öðrum þjóðum hvað fosfór varðar. Hagræði væri í því að samræma mörkin fyrir fosfór í reglugerðinni við mörk Umhverfisstofnunar Evrópu (EEA) og að hafa aðeins ein mörk hér á landi sem giltu fyrir öll vötn. Mörk fyrir nitur meðal annarra þjóða gilda helst fyrir nítrat. Nítrat er almennt hátt, t.d. í Evrópu og mörkin af þeirri stærðargráðu sem eru í töflu 4 og gilda um heildar nitur á Íslandi.



**Tafla 4** Taflan sýnir efnagildi fyrir flokkun vatna eftir næringarauðgi. Næringarflokkur I, eru næringarfátæk vötn, næringarflokkur II, heldur næringarríkari vötn (oligo-/mesotroph) og næringarflokkur III, næringarrík vötn (meso-/eutroph).

		Ísland		
Næringarefna-		Heildar fosfór $\mu\text{g P / l}$		Heildar nitur
Flokkur		Grunn vötn	Djúp vötn	$\mu\text{g N / l}$
I		< 20	< 10	< 300
II		20 - 40	10 - 30	300 - 750
III		40 - 90	30 - 50	750 - 1500
IV		90 - 150	50 - 100	1500 - 2500
V		> 250	> 100	> 2500

### 4.3. Nýting þörunga á fosfór og nitri

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. Miðað er ýmist við hámarks upptökuhraða, eða við styrk þar sem upptökuhraðinn sé jafn eða minni en hálfur hámarkshraðinn skv. Monod og Micaelis-Menten líkönun. Heimildum virðist bera nokkuð vel saman hvað fosfat varðar, en það er meiri breidd í heimildum hvað varðar takmarkandi styrk fyrir uppleyst nitur. Ein heimild fullyrðir að það sé almennt álitid, að sé styrkur uppleysts ólífræns fosfórs (fosfats) undir  $2 \mu\text{g P / l}$  eða uppleyst ólífrænt nitur undir  $15 \mu\text{g N / l}$ , hafi það hamlandi áhrif á upptöku þessara efna og þar með á vöxt (Lee, G.F. and Jones-Lee, A.,1998). Botwell (Botwell, 1985) fann vaxtarhraða meðal botnþörunga í á í British Columbia (við lágt hitarstig) nær mettaðan við fosfatstyrk (SRP) um 3 til  $4 \mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ . Reynolds (Reynolds C. S., 2006) telur að fosfat yfir  $3 \mu\text{g/l}$  og uppleyst ólífrænt nitur yfir  $30 \mu\text{g/l}$  séu ekki takmarkandi fyrir upptöku og vöxt. Fjallavötn í Colorado eru aðeins talin niturvana þegar styrkur uppleysts niturs mælist undir  $6 \mu\text{g N/l}$  (Donald P. Morris and William M. Lewis, Jr., 1988). Við ræktunartilraun á svifinu í Mývatni haustið 1973, eftir að blágerlahámark var yfirstaðið og kísilþörungar ríkjandi, kom fram að nitur viðbót (ammóníum-N) við þann styrk sem fyrir var ( $9,8 \mu\text{g / l NO}_3\text{-N}$ ) hefði vaxtarhvetjandi áhrif á kísilþörunga í tilrauninni (Jón Ólafsson, 1979b). Því er við það miðað hér, að sé styrkur uppleysts ólífræns fosfórs (fosfats) undir  $2 \mu\text{g/l}$  eða uppleyst ólífrænt nitur undir  $10 \mu\text{g/l}$ , kunni það að takmarka upptöku þessara efna og þar með vöxt þörunga í Mývatni.

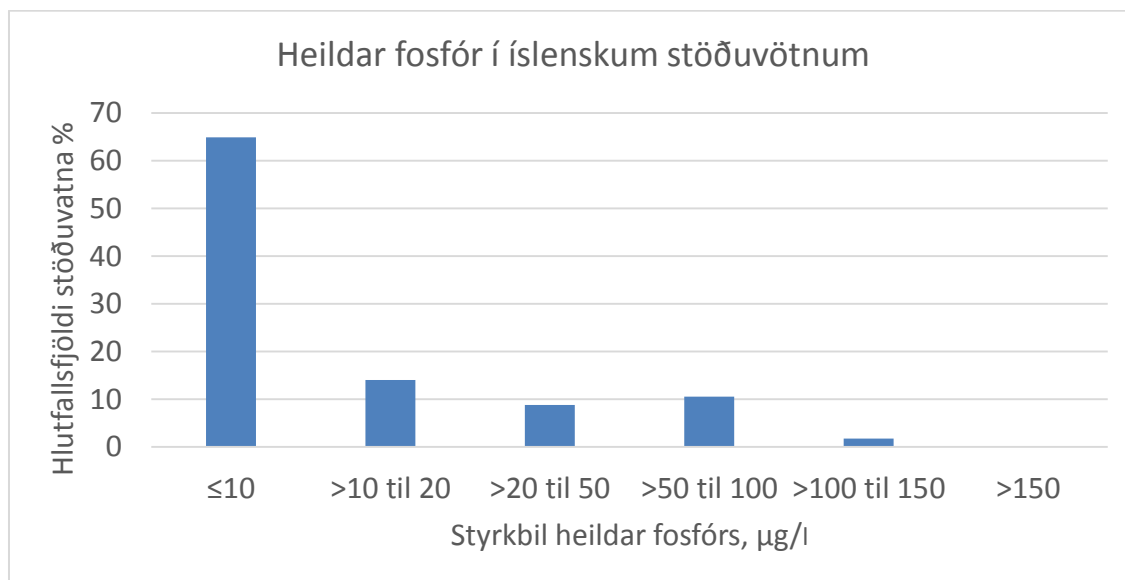
„Redfield“ hlutfall

Svifþörungar eru taldir taka upp uppleyst nitur og fosfór í N/P hlutföllunum („Redfield Ratio“) 16:1 (byggt á mólfjölda) og **7:1 byggt á þyngd**. Lægri hlutföll en 16:1 (**7:1 miðað við þyngd**) geta gefið til kynna mögulega nitur þurrð og hlutföll hærri en 16:1 (7:1 miðað við þyngd) , mögulega fosfór þurrð fyrir frumframleiðslu svifþörungna.

#### 4.4. Nitur- og fosfórstyrkur í íslenskum stöðuvötnum

##### Fosfór

Á mynd 5 er styrkur heildar fosfórs í íslenskum stöðuvötnum sýndur (Hilmar J. Malmquist og fleiri, 2010). 65% íslenskra stöðuvatna er með heildar fosfór undir 10 µg/l-P og aðeins 13 % stöðuvatna er með heildar fosfór yfir 50 µg/l-P. Mývatn er eitt þeirra, skráð með 67 µg/l-P á listanum og flokkast sem næringarríkt (meso-/eutroph). Þingvallavatn er skráð með 14 µg/l-P og flokkast sem heldur næringarríkara en næringarfátækt (oligo-/mesotroph).

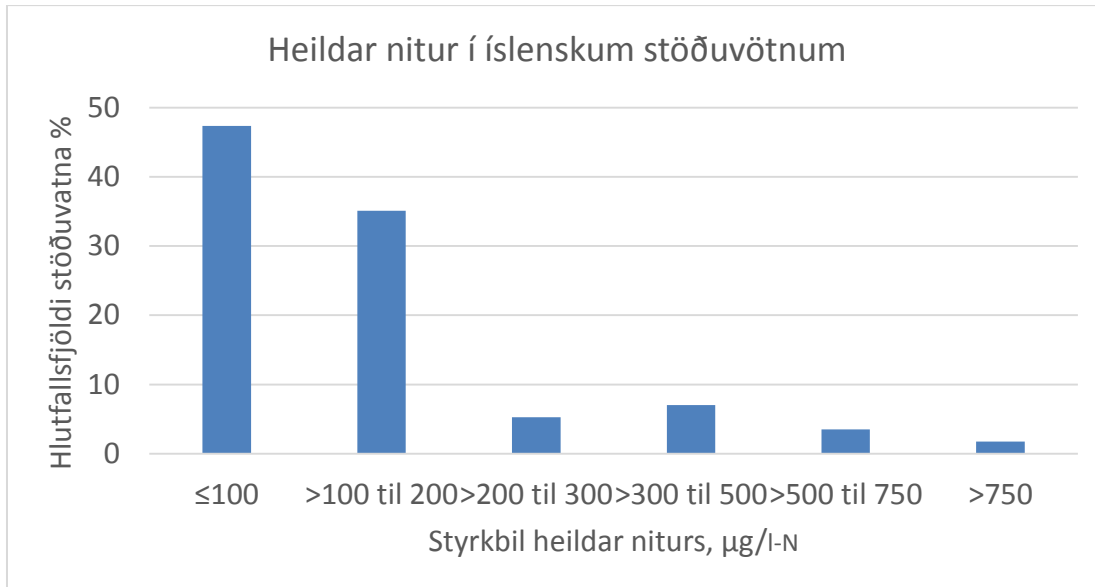


**Mynd 5** *Hlutfallslegur fjöldi (%) stöðuvatna á Íslandi með heildar fosfór (Total-P) innan viðkomandi styrkbils. Gagnasafnið eru 57 stöðuvötn víðsvegar um landið (Gögn úr yfirlitskönnun á lífríki íslenskra vatna, Hilmar J. Malmquist og fleiri, 2010).*

##### Nitur

Á mynd 6 er sýndur styrkur heildar niturs í íslenskum stöðuvötnum (Hilmar J. Malmquist og fleiri, 2010). 88 % íslenskra stöðuvatna er með heildar nitur undir 300 µg/l-N sem eru mörkin

fyrir næringarfátæk vötn og aðeins 2 % stöðuvatna er með heildar nitur yfir 750  $\mu\text{g/l-N}$  sem eru mörkin fyrir næringarauðug vötn. Mývatn er listað með 315  $\mu\text{g/l}$  heildar-N og fer þar með í næringarflokk II (oligo-/mesotroph) fyrir nitur. Þingvallavatn er skráð með 32  $\mu\text{g/l}$  heildar-N og fellur undir næringarfátæk vötn (flokkur I), hvað nitur varðar.



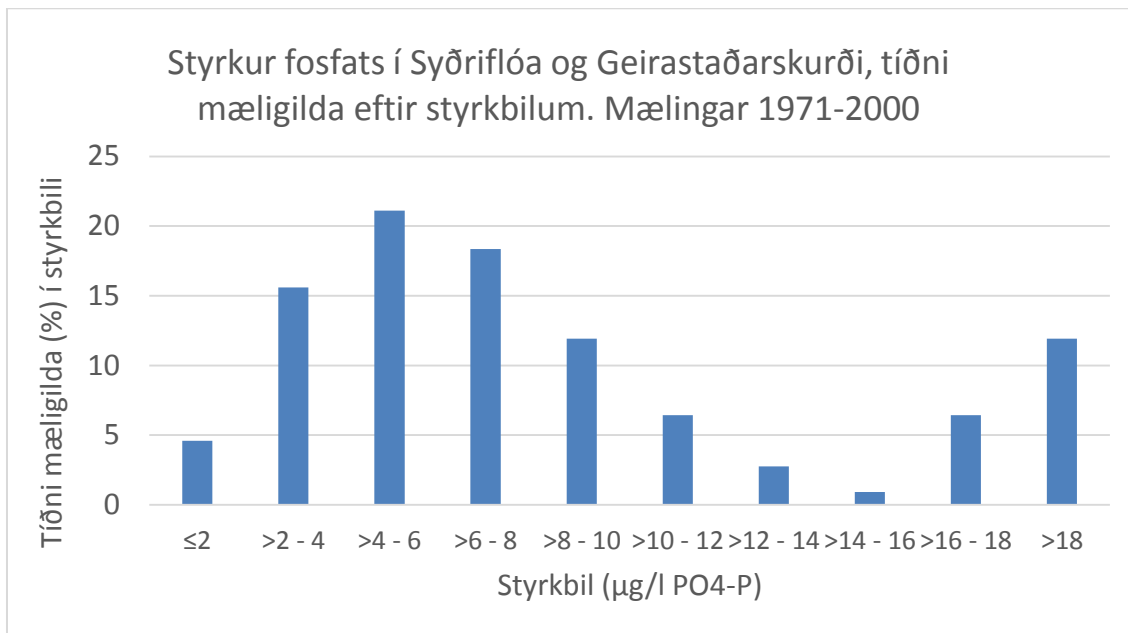
**Mynd 6** Hlutfallslegur fjöldi (%) stöðuvatna á Íslandi með heildar nitur (Total-N) innan viðkomandi styrkbils. Gagnasafnið eru 57 stöðuvötn víðsvegar um landið (Gögn úr yfirlitskönnun á lífríki íslenskra vatna, Hilmar J. Malmquist og fleiri, 2010).

#### 4.5. Styrkur uppleysts ólífræns fosfórs og niturs í Mývatni

Eins og fram kemur hér fram er það uppleyst og ólífrænt form næringarefnanna niturs og fosfórs sem er aðallega aðgengilegt til upptöku fyrir þörunga. Með því að skoða styrk efnanna á uppleystu formi og innbyrðis hlutföll þeirra, má ákvarða gnótt eða skort þeirra til vaxtar. Hafa verður einnig í huga hratt aðstreymi efnanna, en efnaskipti í lífríki svifsins og á botni vatnsins valda því að efnin endurnýjast stöðugt.

#### Fosfat

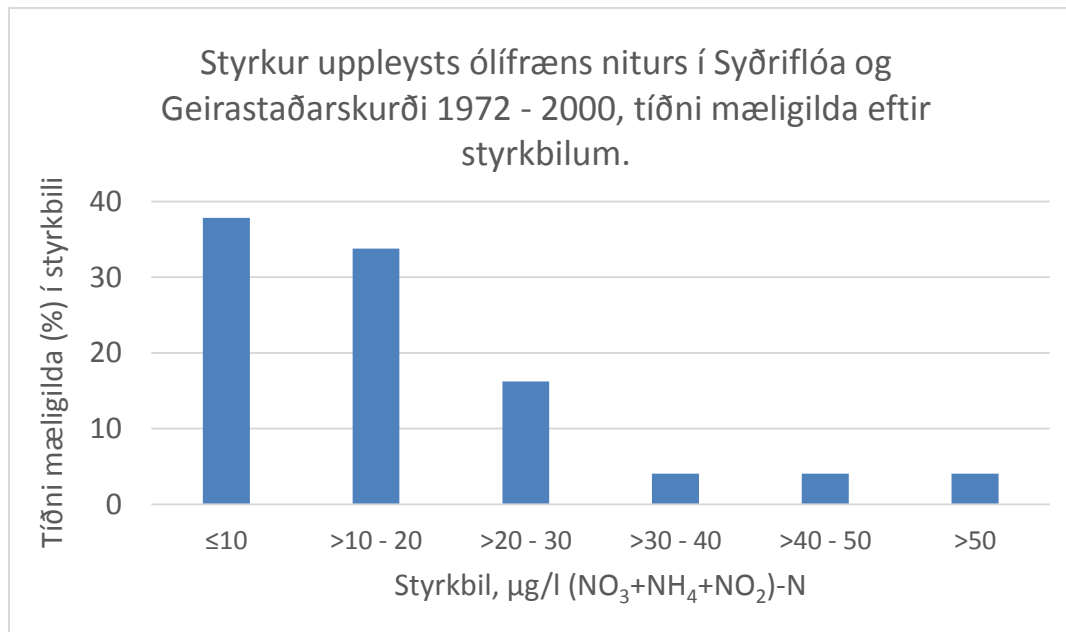
Á mynd 7 má sjá samantekt fosfatmælinga frá miðjum Syðriflóa og úr Geirastaðarskurði á tímabilinu 1971 til 2000. Gagnasafnið inniheldur 109 mælingar, flestar teknar á sex mánaðar tímabili, maí til október. Á þeim tíma er styrkur uppleysts fosfórs í lágmarki eins og samanburður við tiltæk vetrargildi ber með sér. Aðeins 5% mælinga sýna gildi undir 2  $\mu\text{g/l}$  sem gæti bent til fosfatþurrðar, en miðgildi gagnasafnsins er 6,5  $\mu\text{g/l-P}$ .



**Mynd 7** Samantekin gögn (1971-2000) um styrk fosfats í Syðri flóa og Geirastaðarskurði flokkað eftir tíðni mæligilda innan styrkbila. Styrkbil:  $\mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ . Heimildir: Jón Ólafsson, 1979 (Section I, Stöð 19, Geirastaðarskurður), Umhverfisstofnun (Sérfræðinganevni um Mývatnsrannsóknir, SF1- Jón Ólafsson, óbirt gögn), Eydís Salome Eiríksdóttir og fleiri, 2008 (Geirastaðarskurður).

## Nitur

Á mynd 8 má sjá samantekt niturmælinga frá miðjum Syðriflóa og úr Geirastaðarskurði á tímabilinu 1971 til 2000. Gagnasafnið inniheldur 74 mælingar, flestar teknar á sex mánaðar tímabili, maí til október. Á þeim tíma er styrkur uppleysts niturs í lágmarki eins og samanburður við tiltæk vetrargildi ber með sér. Um 40% (38%) mælinga sýna gildi undir  $10 \mu\text{l}$  sem gæti bent til niturþurrðar. Miðgildi gagnasafnsins er  $13 \mu\text{g/l-N}$ .



**Mynd 8** Samantekin gögn (1971-2000) um styrk uppleysts ólífræns niturs í Syðri flóa og Geirastaðarskurði flokkað eftir tíðni mæligilda innan styrkbila. Styrkbil, µg/l (NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>+NO<sub>2</sub>)-N. Heimildir: Jón Ólafsson, 1979 (Section I, Stöð 19, Geirastaðarskurður), Umhverfissráðuneytið (Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, SF1- Jón Ólafsson, óbirt gögn), Eydís Salome Eiríksdóttir og fleiri, 2008 (Geirastaðarskurður).

### Samantekt

Meðalstyrkur fosfats í gagnasafninu er 9,8 (±9,5) µg/l PO<sub>4</sub>-P og uppleysts ólífræns niturs 17,6 (±15) µg/l-N. Meðal hlutfall ólífræns niturs og fosfats (miðað við þyngd) er því um 2:1.

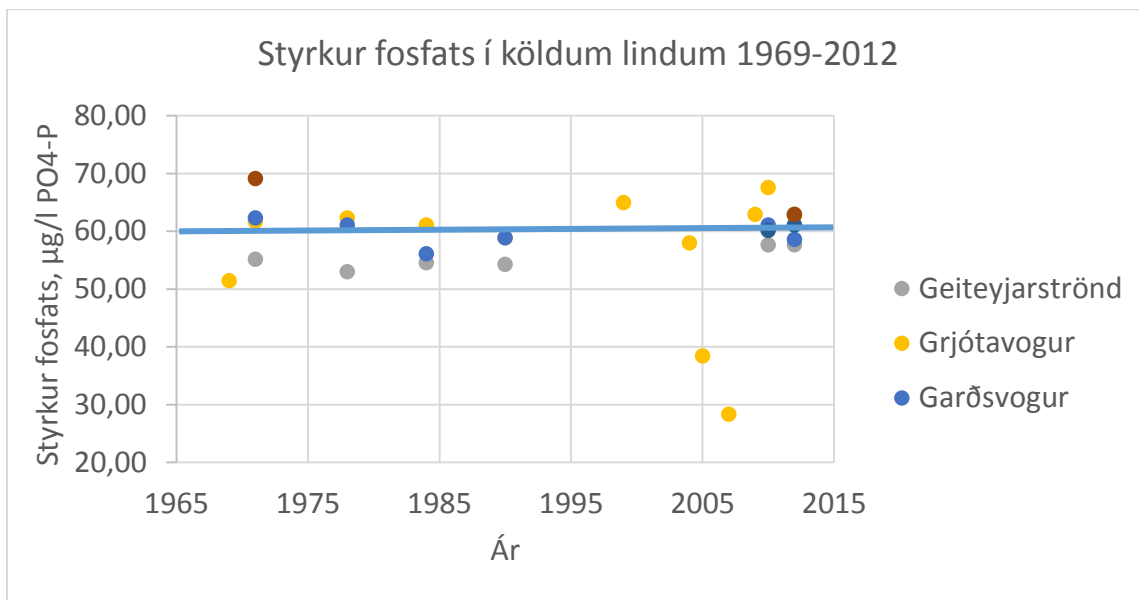
Ekki er algengt að fosfat (5% tilvika) sé í styrk sem bendir til þurrðar en algengt að nítrat (40 % tilvika) sé í styrk sem bendir til þurrðar. Fosfór er það efni sem er ráðandi um magn þörunga í vatninu en blágrænar bakteríur í vatninu geta bætt fyrir niturþurrð með því að vinna nýtanlegt nitur úr andrúmsloftinu (niturbinding) og verið þar með að einhverju leyti sjálfbærar hvað nitur varðar.

## 4.6. Styrkur fosfórs og niturs í lindum við Mývatn

### Fosfór

#### Styrkur fosfórs í köldum lindum í Syðriflóa

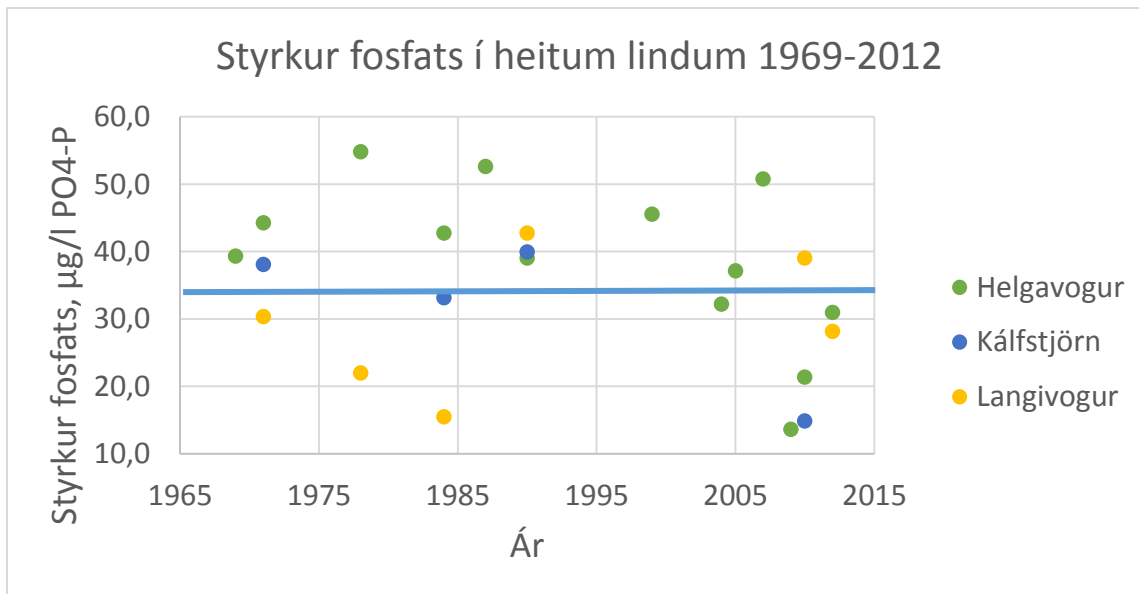
Á mynd 9 eru sýndar niðurstöður fosfatmælinga í köldum lindum (C<sub>2</sub>: sjá líkan í kafla 3.2) á tímabilinu 1969 til 2012. Mælingarnar sýna nokkuð stöðug gildi í gegn um tíðina, þrátt fyrir að mismunandi greiningaraðferðum kunni að hafa verið beitt. Mælingarnar árin 2005 og 2007 eru undantekningar frá þessu og er frávik þeirra frá öðrum gildum mikið og óútskýrt. Því eru þessum tveimur mæligildum sleppt sem útlögum í meðaltali allra gilda, en það er 60 (SD = 4) µg/l-P. Bláa línan á myndinni er dregin við meðaltalið.



**Mynd 9** Myndin sýnir niðurstöður fosfatmælinga ( $\mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ ) í köldum lindum (C<sub>2</sub>) á tímabilinu 1969 til 2012 (Jón Ólafsson 1991, Gagnagrunnur Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson, pers. uppl). Punktarnir vísa til mæligilda.

#### Styrkur fosfórs í heitum lindum í Ytriflóa

Á mynd 10 eru sýndar niðurstöður fosfatmælinga í heitum lindum (C<sub>1</sub>: sjá líkan í kafla 4.2) á tímabilinu 1969 til 2012. Mælingarnar sýna mun meiri breytileika í mælingum og mun milli linda en kaldar lindir. Kerfisbundinn munur er sá að lindir í Helgavogi hafa hærra styrk lengst af en aðrar lindir í Ytriflóa og styrkurinn gæti verið að lækka á síðustu tíu árum. Meðaltal allra gilda er 34 (SD=11) µg/l-P. Bláa línan á myndinni er dregin við meðaltalið.

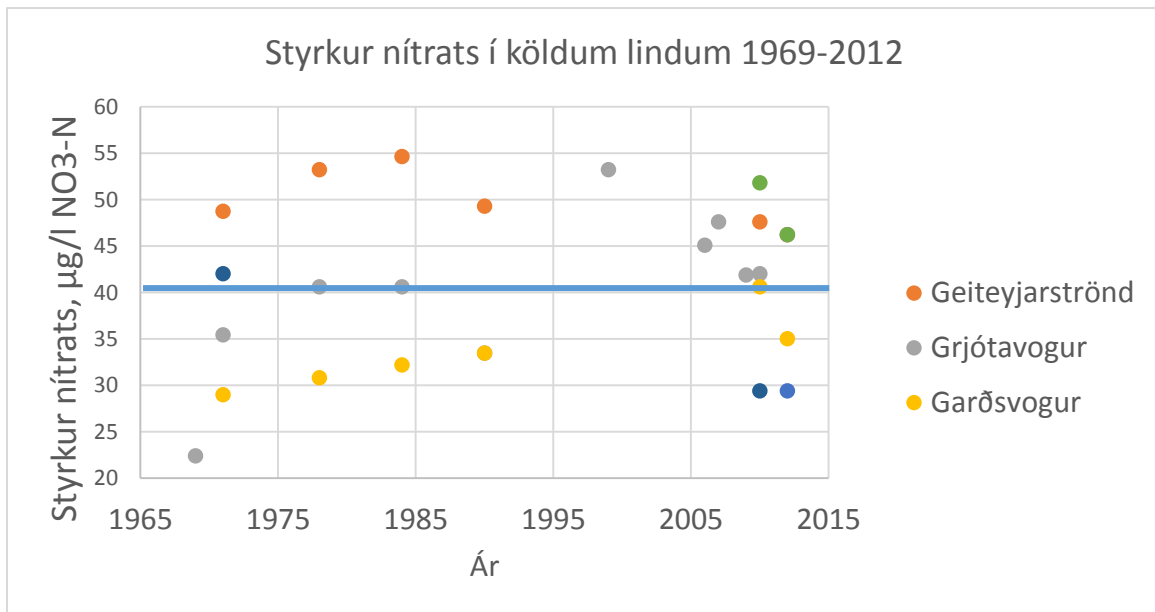


**Mynd 10** Myndin sýnir niðurstöður fosfatmælinga ( $\mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ ) í heitum lindum ( $C_1$ ) á tímabilinu 1969 til 2012 (Jón Ólafsson 1991, Gagnagrunnur Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson, pers. uppl).

## Nitur

### Styrkur niturs í köldum lindum í Syðriflóa

Á mynd 11 eru sýndar niðurstöður niturmælinga í köldum lindum ( $C_2$ : sjá líkan í kafla 4.2) á tímabilinu 1969 til 2012. Mælingarnar sýna nokkuð stöðug gildi í gegn um tíðina, þrátt fyrir að mismunandi greiningaraðferðum kunni að hafa verið beitt. Kerfisbundinn munur virðist vera milli linda, t.d. er áberandi munur á Garðsvogi og Geiteyjarströnd. Meðaltal allra gilda er 41 ( $SD=8,7$ )  $\mu\text{g/l N}$ . Bláa línan á myndinni er dregin við meðaltalið.



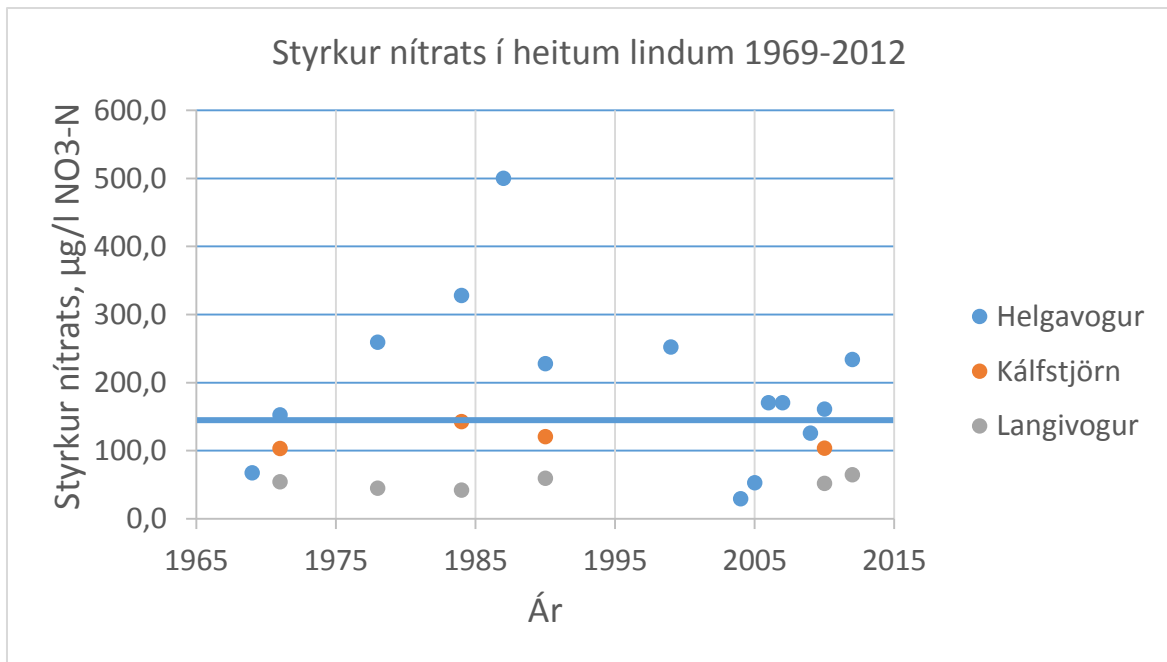
**Mynd 11** Myndin sýnir niðurstöður niturmælinga ( $\mu\text{g/l NO}_3\text{-N}$ ) í köldum lindum ( $C_2$  og Grænavatni) á tímabilinu 1969 til 2012 (Jón Ólafsson 1991, Gagnagrunnur Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson, pers. uppl.).

#### Styrkur niturs í heitum lindum í Ytriflóa

Á mynd 12 eru sýndar niðurstöður niturmælinga í heitum lindum ( $C_1$ : sjá líkan í kafla 4.2) á tímabilinu 1969 til 2012. Mælingarnar sýna mun meiri breytileika í mælingum, mun milli linda og hærra gildi en kaldar lindir. Kerfisbundinn munur er milli linda. Meðaltal allra gilda er 147 (SD=111)  $\mu\text{g/l-N}$ . Bláa línan á myndinni er dregin við meðaltalið.

Í yfirliti sérfræðinganevndar um Mývatnsrannsóknir (Jón Ólafsson, 1991) er gerð grein fyrir þróun ákomu með lindum á tímabilinu 1969 til 1990. Hröð hækkun í heitum lindum, aðallega í Helgavogi, á fyrri hluta mælitímabilsins og sem tengdist starfsemi Kísiliðjunnar. Þessi þróun virðist hafa stöðvast og að nokkru gengin til baka.





**Mynd 12** Myndin sýnir niðurstöður niturmælinga ( $\mu\text{g/l NO}_3\text{-N}$ ) í heitum lindum ( $C_1$ ) á tímabilinu 1969 til 2012 (Jón Ólafsson 1991, Gagnagrunnur Rannsóknastöðvarinnar við Mývatn, Árni Einarsson, pers. uppl.).

## 5. Nitur- og fosfórbúskapur Mývatns

### 5.1. Magn niturs og fosfórs sem berst úr Mývatni í Laxá

Rannsókn á efnafræði Laxár árin 1999 til 2001 var gerð á vegum Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands og Orkustofnunar (Eydís Salome Eiríksdóttir og fleiri, 2008). Sýnataka í Laxá af brú við Helluvað hófst í nóvember árið 1999 og í Geirastaðaskurði í mars árið 2000. Sýni voru tekin 12 sinnum úr Laxá en 10 sinnum úr Geirastaðaskurði yfir 15 mánaða tímabil. Rennsli við Helluvað við sýnatöku er þekkt og ársmeðalrennsli (árið 2000) er þekkt (Mynd 2).

**Tafla 5** Taflan sýnir fosfór og nitur sem skolaðist úr Mývatni miðað við eitt ár á rannsóknatímabilinu 1999-2001 (Eydís Salome Eiríksdóttir og fleiri, 2008), reiknað samkvæmt OSPAR leiðbeiningum (Agreement 2014-04).

<b>Útskolun úr Mývatni í Laxá miðað við mælingar 1999-2001</b>		
	<b>Fosfór (P) - tonn / ári</b>	<b>Nitur (N) - tonn / ári</b>
<b>Ólífrænt uppleyst</b>	24	24
<b>Lífrænt uppleyst</b>	6	76
<b>Í svifaur</b>	16 (áætlað)	107
<b>Samtals:</b>	<b>46</b>	<b>207</b>

### *Nitur*

Í Laxá er Heildar nitur (tafla 5), summa ólífræns uppleysts, lífræns uppleysts og niturs bundinn í svifaur. Um 12% niturs var á ólífrænu uppleystu formi og 88% (183 tonn) var lífrænt bundið. Jón Ólafsson (1979b), mat meðalútskolun árið 1974 sem 281 tonn ( $7,6 \text{ g m}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ). Hann mat einnig að um 74 tonn N ( $2 \text{ g m}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) söfnuðust, sem langtímameðaltal, í set á ári. Geta má þess að lítið var um blágrænar bakteríur sumarið 2000 (Eydís Salome Eiríksdóttir ofl. 2008).

### *Fosfór*

Heildar fosfór er summa ólífræns uppleysts, lífræns uppleysts og fosfórs bundinn í svifaur (tafla 5). Fosfór í svifaur var ekki mældur í rannsókninni 1999 til 2001 og því er hann áætlaður. Við mat á fosfór í svifaur er gert ráð fyrir að þyngdarhlutfall niturs og fosfórs í svifaur sé 6,5:1. Er það byggt á óbirtum gögnum frá Syðri flóa (SF1) 1992 (Sérfræðinganevnd um Mývatnsrannsóknir, Umhverfissráðuneytið). Útskolun fosfórs með svifaur úr Mývatni í Laxá árið 2000 gæti hafa verið um 16 tonn og heildarútskolun um 46 tonn. Jón Ólafsson (1979b), mat útskolun árið 1974 sem 42 tonn ( $1,73 \text{ } \mu\text{M/l}$ ). Hann mat einnig að um 12 tonn P söfnuðust, sem langtímameðaltal, í set á ári. Athygli er vakin á því að fosfór og nitur á ólífrænu formi, berast úr vatninu í þyngdarhlutföllunum 1:1.

## Magn fosfórs og niturs sem binst í seti

Jón Ólafsson (1979b) mat að 74 tonn N ( $2 \text{ g m}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) og 12 tonn P söfnuðust, sem langtímameðaltal, í set á ári. Þessi gildi eru notuð um bindingu í seti í þessari skýrslu.

### 5.2. Magn niturs og fosfórs sem berst til Mývatns með lindum

Innstreymi næringarefna til Mývatns með lindum er reiknað í samræmi við líkan í textaboxi í kafla 3.2. Miðað er við a) meðaltal á styrk efna í lindum, annarsvegar í Ytriflóa ( $C_1$ ) og hins vegar í Syðriflóa ( $C_2$ ), b) hlutfallslegt innrennsli linda, annarsvegar í Ytriflóa ( $Q_1$ ) og hins vegar í Syðriflóa ( $Q_2$ ) og c) ársmeðalrennsli vatns úr Mývatni fyrir árið 2000 ( $Q_3$ ).

Reiknað innstreymi uppleysts ólífræns niturs í Mývatn fyrir árið 2000 (rennsli ársins 2000) er um **67 tonn N** (tafla 6). Um 54 tonn N var reiknað fyrir árið 1974 (Jón Ólafsson, 1979b).

Reiknað innstreymi fosfats í Mývatn fyrir árið 2000 (rennsli ársins 2000), er um **50 tonn P** (tafla 6). Um 54 tonn var reiknað fyrir árið 1974 (Jón Ólafsson, 1979b).

Til eru mælingar á styrk heildarfosfórs (TP) og heildar niturs (TN) fyrir árið 2012. Þær mælingar eru um 3% hærri en fosfatmælingarnar og um 30% hærri en uppleyst ólífrænt nitur. Munurinn er væntanlega vegna uppleysts lífræns fosfórs og niturs sem ekki hefur verið mælt sem hluti af reglulegum mælingum og er ekki metið. Ekki er gert ráð fyrir svifögnum í lindunum.

**Tafla 6** Innrennsli í Mývatn með lindum af heildar fosfór (TP) og heildar nitri (TN).

Innrennsli í Mývatn með lindum árið 2000		
	Fosfór (P) - tonn / ári	Nitur (N) - tonn / ári
Ólífrænt uppleyst	51	67
Lífrænt uppleyst	Ekki metið	Ekki metið
Í svifaur	0	0
<b>Samtals:</b>	51	67

### 5.3. Ákoma frá byggð

Íbúar í Skútustaðarhreppi voru 395 þann 1. Janúar 2015. Áætluð losun niturs og fosfórs vegna íbúa er eftirfarandi (viðmið: OSPAR Agreement 2004-02e):

$$\begin{array}{lcl} 395 * 3,1 \text{ kg N/ári} & \rightarrow & 1,2 \text{ tonn N / ári} \\ 395 * 0,43 \text{ kg P/ári} & \rightarrow & 0,2 \text{ tonn P / ári} \end{array}$$

### 5.4. Ákoma frá landbúnaði

Samkvæmt gagnagrunni Matvælastofnunar eru slegin tún og ræktarland í Skútustaðarhreppi um 396 ha. Ekki eru landstærðirnar gefnar upp eftir bæjum og er því ekki hægt að sjá hvað stór hluti ræktarlandsins er innan vatnasviðs Mývatns. Uppskera fékkst hins vegar gefin upp eftir bæjum og hlutfallsleg uppskera bæja innan vatnasviðsins er 62%. Því er metið að ræktað land (slegin tún) innan vatnasviðsins séu 245 ha, sem er lægri tala en var áætluð árið 1992. Fjöldi húsdýra í Skútustaðarhreppi liggur fyrir eftir bæjum. Búfjáráburður sem fellur til á vatnasviði Mývatns, reiknaður samkvæmt leiðbeiningum Umhverfisstofnunar (Umhverfisstofnun, 2004) og miðað við 6 mánaða innistöðutíma er: 22 tonn nitur (N) og 4 tonn fosfór (tafla 7).

Í leiðbeiningum Umhverfisstofnunar (Umhverfisstofnun, 2004) er miðað við að óstaðfest áburðargjöf á tún sé 100 kg N / ha af tilbúnum áburði, 30 kg P / ha af tilbúnum áburði og útskolun áætluð vera 13% af nitri (N) og 2% af fosfór (P).

**Tafla 7** Yfirlit yfir notkun tilbúins- og búfjáráburðar á vatnasviði Mývatns. Útskolun um jarðveg er einnig áætluð.

	<b>Nitur (N) Tonn / ári</b>	<b>Fosfór (P) Tonn / ári</b>
<b>Tilbúinn áburður</b>	25	7
<b>Búfjáráburður</b>	22	4
<b>Samtals:</b>	47	11
<b>Áætluð útskolun í Mývatn:</b>	<b>6</b>	<b>0,2</b>

## 5.5. Ákoma frá ferðaþjónustu

### *Gisting ferðamanna*

Á Mývatni býðst ferðamönnum fjölbreytt þjónusta í gistingu, mat og afþreyingu. Á svæðinu eru hótél, gistiheimili, sumarhús, tjaldsvæði og svefnpokapláss.

Samkvæmt Hagstofu Íslands voru gistinætur ferðamanna 87.025 í Skútustaðarhreppi (póstnúmer 660) árið 2013 og 78.034 árið 2014. Gistinætur má því áætla á milli 80.000 og 90.000 á ári. Af lista Hagstofunnar eru tveir gististaðir utan vatnasviðs Mývatns líklega með um 10% gistirýmisins. Innan vatnasviðs Mývatns eru því áætlaðar 80.000 gistinætur á ári, sem svara til:

$(80.000/365) * 3,1 \text{ kg N/ári} \rightarrow 0,7 \text{ tonn N / ári}$   
 $(80.000/365) * 0,43 \text{ kg P/ári} \rightarrow 0,1 \text{ tonn P / ári}$

Engar opinberar upplýsingar var að finna sem vörðuðu fjölda starfsmanna, annarra en íbúa sveitarfélagsins, né tölulegar upplýsingar um aðra ferðaþjónustustarfsemi sem hægt væri að nota til að leggja mat á losun. Þessar tölur eru því vanmat.

### *Umferð um Mývatn*

Samkvæmt umferðatalningum Vegagerðarinnar 2014 (sótt af heimasíðu 04.08.15), fóru að jafnaði, allt árið, um 615 ökutæki um Mývatnssvæðið á dag, eða um 225.000 ökutæki yfir árið. 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. Í töflu 8 eru ökutæki flokkuð í fólksbíla, rútur og annað.

**Tafla 8.** Hlutfall ökutækja, flokkað í fólksbíla, rútur og annað. *Taflan er byggð á þremur könnunum Vegagerðarinnar.*

<b>Könnun Vegagerðarinnar</b>	<b>Fólksbílar</b>	<b>Rútur</b>	<b>Annað</b>	<b>Alls</b>
Vegagerðin 2007 - Öxnadalsheiði	91	1	8	100%
Vegagerðin 2012 - Reykjabraut	85	1	14	100%
Vegagerðin 2009 - Berufjörður	92	4	4	100%

Samkvæmt töflu 8, er nokkur munur á hlutfalli ökutækja eftir könnunum. Vörubifreiðar og dráttabifreiðar eru með hærra hlutfall á Öxnadalsheiði og Reykjabraut (v/Blönduós) en í Berufirði.

Í töflu 9 er sýndur meðalfjöldi farþega (ásamt bílstjóra) í fólksbílum, rútum og öðrum farartækjum í framangreindum þremur könnunum Vegagerðarinnar á þjóðvegum landsins.

**Tafla 9** Meðalfjöldi farþega (ásamt bílstjóra) í fólksbílum, rútum og öðrum farartækjum. Taflan er byggð á þremur könnunum Vegagerðarinnar. Í töflunni er sýndur meðalfjöldi farþega í fólksbílum, rútum, öðrum farartækjum og meðalfjöldi fyrir öll farartæki.

Könnun Vegagerðarinnar	Fólksbílar	Rútur	Annað	Öll farartæki
Vegagerðin 2007 - Öxnadalshéiði	2,5	16,2	1,2	2,6
Vegagerðin 2012 - Reykjabraut	2,2	16,7	1,2	2,3
Vegagerðin 2009 - Berufjörður	2,6	17,7	1,2	3,2

Samkvæmt töflu 9 er lítil munur á (meðal) fjölda farþega í fólksbílum, rútum og öðrum farartækjum milli kannana.

Í rannsókn sem var gerð á átta vinsælum ferðamannastöðum á Suður- og Vesturlandi (Anna Dóra Sæþórsdóttir, Gyða Þórhallsdóttir og Rögnvaldur Ólafsson, 2014) er það niðurstaða, að meðalfjöldinn í fólksbíl sé stöðugur, en hlutfallið á milli rúta og fólksbíla og fjöldi farþega í rútum breytilegur á milli staða og einnig árstíma. Hlutfall rúta virðist einnig vera hærra við vinsæla ferðamannastaði en samkvæmt könnunum Vegagerðarinnar á stofnbrautum.

Talning farþega og hlutfallsleg flokkun í ökutækjagerðir virðist ekki hafa verið gerð á Mývatnssvæðinu, því er farþegafjöldinn áætlaður með nálgun á grundvelli framangreindra rannsókna. Þungaflutningar eru ekki taldir eins umfangsmiklir á Mývatnssvæðinu eins og á Öxnadalshéiði og Reykjabraut og þar fer fram umfangsmikil ferðaþjónusta með rútuferðum t.d. frá Akureyri til Mývatns, Öskju og að Dettifossi. Því eru hlutfallstölur umferðar taldar líkjast meira þeim frá Berufirði en Öxnadalshéiði og Reykjabraut.

### **Farþegafjöldi um Mývatn, 2014**

225.000 ökutæki \* 3,2 (farþegar að jafnaði) = 720.000 farþegar

Þessi tala var metin sem 150.000 um 1990. Ekki er greint á milli ferðamanna og farþega í öðrum erindum, og það er gert ráð fyrir að allir staldri við á þjónustumiðstöð. Fjöldi þeirra sem dvelur lengur og gistir (80.000) er dreginn frá, til að forðast tvítalningu, þannig að eftir verða 640.000 farþegar sem taldir eru dvelja hluta úr degi við Mývatn. Eins og gert var um 1990 er losun hvers þessara farþega talin svara til um 20% þess sem íbúi losar.

Ákoma vegna farþega:

$(640.000/365)*0,2 * 3,1$  kg N/ári → 1,1 tonn N / ári  
 $(640.000/365)*0,2 * 0,43$  kg P/ári → 0,2 tonn P / ári

## 5.6. Önnur starfsemi

Helsta önnur starfsemi á svæðinu tengist jarðhitanytingu, orkuvinnsla og jarðböð, ekki er lagt mat á losun niturs og fosfórs frá þeirri starfsemi.

## 5.7. Loftborin ákoma

### Úrkoma

Meðalúrkoma áráanna 1971 til 2000 er 468 mm á ári (Halldór Björnsson og Trausti Jónsson, 2003). Styrkur niturs og fosfórs var mældur í úrkomu við Mjóanes við Þingvallavatn árin 2008 til 2012 (Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014). Veginn meðalstyrkur niturs var 0,2 mg/l N og fosfórs 0,01 mg/l P. Þessi gildi eru notuð til þess að leggja mat á ákomu á Mývatn með úrkomu. Meðal ákoma beint á vatnsyfirborð Mývatns (39,4 km<sup>2</sup>) er reiknuð sem 3,7 tonn N/ári og 0,3 tonn P/ári.

### Loftborin ákoma frá umferð á svæðinu

Vegagerðin birtir á heimasíðu sinni mjög ítarlegar umferðatalningar fyrir Mývatnssvæðið. Á grundvelli þeirra óku ökutæki liðlega 9 milljón km umhverfis Mývatn 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 NO<sub>x</sub> / km fyrir dísel flutningatæki. Fyrir þyngri dísel tæki eru losunarmörkin 0,4 og 0,46 g NO<sub>x</sub> / km (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>). Reglurnar byggja í grunninn á tilskipun 70/220/EEC ásamt síðari breytingum. NO<sub>x</sub> sem er afoxað í hvarfakútum bensínbíla er að litlum hluta losað sem NH<sub>4</sub> en engar reglur gilda um þá losun. Sú losun getur verið um 0,05 g NH<sub>4</sub> / km (Manfred Kirchner og fl., 2005). Staðlar ESB fyrir losun nýrra bíla á NO<sub>x</sub> og framangreind heimild fyrir NH<sub>4</sub> er notað við losunarreikningana.

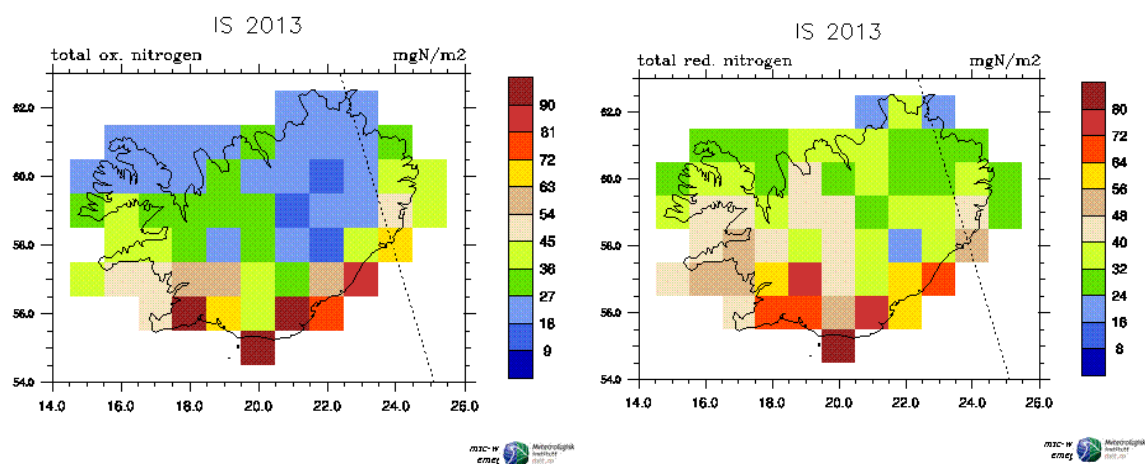
Miðað við nýja bensínbíla og að losun sé innan marka losunarstaðla, reiknast hún hér um 0,07 g N / km, eða 0,6 tonn á ári við Mývatn. Það sem kann að berast í Mývatn af þessari losun fellur inn undir skilgreiningu á þurrákomu í kaflanum hér á eftir.

Meðalaldur ökutækja 2014 var hins vegar 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 13 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, virðist þurrákoman hafa verið metin sem allt að 10 mg N/m<sup>2</sup>/ári og heildarákoman um 50 mg N/m<sup>2</sup>/ári. Ef þurrákomu (sjá EMEP, 2014) er bætt við ákomu með úrkomu (3,7 tonn N/ári) má lauslega áætla loftborna ákomu um 4 tonn N/ári (3,7 tonn með úrkomu og 0,3 tonn sem þurrákoma) á yfirborð Mývatns og að allt að 40% niturákomunnar á vatnasvið Mývatns kunnist að vera vegna langtaðborinnar mengunar. Taka verður þessum tölum með fyrirvara, en mynd 13 sýnir niðurstöður líkanareikninga og mat EMEP á mikilvægi langtaðborinnar nitur mengunar.



**Mynd 13** Ákoma oxaðs ( $HNO_3-N$ ,  $NO_3-N$  (vinstri mynd)) og afoxaðs ( $NH_3$  og  $NH_4$  (hægri mynd)) niturs, (mg/m<sup>2</sup> -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/)).



## 6. Niðurstöður

Í eftirfarandi töflum 1 og 2 (sjá einnig í kafla 2) er samantekt ákomureikninga þessarar skýrslu í samanburði við fyrri ákomureikninga (Jón Ólafsson, 1979b og 1991). Í töflu 2 má lesa stöðuga aukningu í fosfór frá 52 til 56 tonn fosfórs á ári og 37 til 71 tonn niturs á árabílinu 1969 til 1989.

Í þessum reikningum (tafla 1), sem byggja á meðaltölum úr lindum yfir langt tímabil og mælingum í útfallinu árið 2000 er reiknað innstreymi fosfórs 51 tonn og í útfallinu 58 tonn. Reiknað innstreymi niturs er 80 tonn og í útfallinu með niturbindingu um 280 tonn (árið 2000 var lítið af blágrænum bakteríum). Niturbinding árið 2000 er því áætluð um 200 tonn, en um 300 tonn árið 1974 (Jón Ólafsson, 1979b). Ákoma frá íbúum og ferðaþjónustu er samkvæmt töflunni 0,5 tonn fosfór og 3 tonn af nitri. Slíkar tölur eru ekki til þess fallnar að skýra þá aukningu sem ákomumat allt frá 1969 bendir til að hafi orðið. Þessi aukning var auk þess aðallega tengd starfsemi Kísiliðjunnar. Gögn frá Helgavogi benda til að enn sé losun frá úrgangi hennar, þótt styrkurinn sé farinn að minnka.

Tafla 1 Reiknuð ákoma fosfórs og niturs í Mývatn og afrennsli úr Mývatni í Laxá miðað við árið 2000 (tonn á ári).

Ákomumat fyrir árið 2000	Heildar fosfór (tonn/ári)		Heildar nitur (tonn/ári)	
	Í Mývatn	Úr Mývatni	Í Mývatn	Úr Mývatni
Úr Mývatni í Laxá		46		207
Í setlög í Mývatni		12		72
Í Mývatn með lindum	51		67	
Útskolun frá landbúnaði	0,2		6	
Losun íbúa	0,2		1,2	
Losun ferðaþjónustu	0,3		1,8	
Loftbórið á Mývatn (úrcoma og þurrákoma)	0,3		4	
Niturbinding blágerla í Mývatni			199	
<b>Ákoma árið 2000</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>279</b>	<b>279</b>

**Tafla 2** Reiknuð ákoma fosfórs og niturs í Mývatn miðað við árin 1969-1989, tonn á ári (Jón Ólafsson, 1979b og 1991). Einnig ákoma í Mývatni (niturbinding) og afrennsli úr Mývatni í Laxá fyrir árið 1974. Niturbinding ekki þekkt fyrir önnur ár.

Ákoma í Mývatn Tímabilið 1969-1989	Heildar fosfór (tonn/ári)		Heildar nitur (tonn/ári)	
	Í Mývatn	Úr Mývatni	Í Mývatn	Úr Mývatni
Árið 1989	56		71	
Árið 1978	56		60	
Árið 1974	54	54	54	355
Árið 1974 niturbinding í Mývatni			301	
Árið 1969	52		37	

Helstu gögn sem gefa vísbendingu um það hvert stefnir í ákomu þessara efna eru mælingar í lindum, annarsvegar í Ytriflóa og hins vegar í Syðriflóa (kafla 4.6). Myndir 9 til 12 sýna breytileikann í gögnunum og þróun í efnastyrk í einstökum lindum í tíma.

Notað er meðaltal mælinga síðustu 40 ára til að reikna út innrennsli (Tafla 10).

**Tafla 10** Meðalstyrkur fosfats og uppleysts niturs í lindum í Syðriflóa (kaldar lindir) annarsvegar og í Ytriflóa (heitar lindir) hinsvegar.

	Fosfat ( $\mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$ )	Nítrat ( $\mu\text{g/l NO}_3\text{-N}$ )
<b>Syðriflói</b>	60 (SD= 8)	41 (SD= 9)
<b>Ytriflói</b>	34 (SD= 11)	147 (SD= 111)

Tölur um ákomu af mannlegri starfsemi eru aðallega áætlaðar.

Af töflu 10 er ljóst að N:P hlutfall linda í Ytriflóa (4:1) er mun nær „Readfield“ hlutfalli fyrir upptöku þörunga (7:1) en linda í Syðriflóa (0,7:1) eða hlutfall í ákomu í Mývatn í heild (1,5:1).

Þetta háa hlutfall niturs í Ytriflóa er vegna aukinnar ákomu sem rakin var til mannlegrar starfsemi (Jón Ólafsson, 1991).

Rennsli í og úr Mývatni (kaflí 3.1) er annar þáttur við mat á magni efna sem berst inn og út úr vatninu. Árs meðalrennsli í Laxá við Helluvað yfir 40 ára tímabil er 37,5 m<sup>3</sup>/s. Hámarks- og lágmarksrennsli tímabilsins, er annarsvegar um 43 m<sup>3</sup>/s og hins vegar um 33 m<sup>3</sup>/s.

Niðurstöður þessarar skýrslu eru háðir mikilli óvissu, en þær skera sig ekki frá fyrra mati á ákomu. Ekkert í þessari skýrslu bendir til einhverra skyndilegra breytinga í ákomu á Mývatn, frekar að hugsanlegar breytingar séu hægar og sígandi yfir langt tímabil.

Gögn til þess að hægt sé að meta slíkar breytingar eru samfelldar mælingar í lindum, en það þurfa jafnframt að vera samfelldar mælingar í útfallinu eða í vatninu. Með árlegum mælingum væri hægt að reikna út ákomu árlega með tölum hvers árs, það drægi úr óvissu sem er háð notkun gagna, gera mögulegt að greina breytileika í ákomu milli ára og til lengri tíma að fylgjast með leitni um hvert stefnir. Sem dæmi, yrði árleg niturbinding þekkt og þar með sveiflur milli ára í niturbindingu.

Eitt markmið þessarar skýrslu var að setja líkön og aðferðafræði þannig fram að auðvelt yrði á grunni hennar að byggja upp eftirlits- og vöktunaráætlanir, endurtaka útreikningana og bæta upp augljósa aðferðafræðilega vöntun.

Ávinningur þessarar skýrslu er að þau gögn sem lögð eru hér fram, sýna fram á mikilvægi þess að koma á kerfisbundinni reglulegri vöktun á ákomu og afrennsli. Afrennsli efna í Laxá er reiknað fyrir árið 2000. Ákoma með lindum er reiknuð út frá meðaltali á styrk efna í lindum mældum á tímabilinu 1969 til 2012 en miðað við rennsli árið 2000 til samræmis. Ákoma vegna mannlegrar starfsemi er reiknuð út frá nýjustu tiltæku hagtölum og gögnum opinberra stofnana. Ósamfelli af þessu tagi má taka á með framkvæmd skipulagðrar eftirlitsáætlunar.

### *Eftirlitskerfi með vatnsgæðum*

- Skipulagt eftirlitskerfi fæli í sér mánaðarlega sýnatöku í Geirastaðarskurði og reglulega í völdum lindum (a.m.k. þremur í Ytriflóa og þremur í Syðriflóa).
- Útbú þarf rennslislykil til þess að meta rennsli úr Mývatni miðað við mælt rennsli við Helluvað.
- Útbúa þarf rennslislykla fyrir megin lindir í Ytri- og Syðriflóa vegna þess að munur er á milli linda.
- Meta reglulega bindingu í seti
- Til eftirlits með mannlegri starfsemi, væri æskilegt að setja upp rennslismæla á vatn við, nokkrar skólphreinsistöðvar þéttbýliskjarna og lykil ferðapjónustustaði (og stærstu hótél) og mælibrunna til reglulegrar sýnatöku á frárennsli.
- Sérstaka úttekt þarf að gera til þess að leggja mat á útskolun sem enn kann að vera til staðar vegna starfsemi Kísiliðjunnar og koma á eftirliti með þeirri útskolun.
- Gera þarf umferðarkannanir til þess að bæta upplýsingar um fjölda ferðamanna sem leið eiga um svæðið og til að leggja mat á hversu lengi þeir staldri við að jafnaði.
- Setja þarf upp loftgæðamæla til þess að mæla loftborna þurrákomu (svifryk, NOx og NH<sub>4</sub>) vegna langtaðborinnar mengunar, umferðar og starfsemi.
- Koma þarf á langtíma mælingum á efnainnihaldi í úrkomu.

## 7. Heimildir

- Anna Dóra Sæþórsdóttir, Gyða Þórhallsdóttir og Rögnvaldur Ólafsson, 2014. Aðferðir við að meta fjölda og taka úrtak meðal ferðamanna. Áfangaskýrsla um verkefnið: Þolmörk ferðamanna á átta vinsælum ferðamannastöðum á Suður og Vesturlandi. Rannsóknamiðstöð ferðamála 2014. RMF-S-06-2014. ISBN: 978-9935-437-31-0.
- Bothwell, Max L., 1985. Phosphorus limitation of lotic periphyton growth rates: An intersite comparison using continuous-flow troughs (Thompson River system, British Columbia). *Limnol. Oceanogr.*, 30(3), 1985, 521-542.
- Donald P. Morris and William M. Lewis, Jr., 1988. Phytoplankton nutrient limitation in Colorado mountain lakes. *Freshwater Biology* 20, 315 – 327.
- Egill Axelsson, 2014. Grunnvatns- og hitamælingar Landsvirkjunar á Norðausturlandi 2006-2013. Skýrsla Landsvirkjunar nr. 2014-057.
- 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, Sigurður Reynir Gíslason, Sverrir Óskar Elefsen, Jórunn Harðardóttir, Einar Örn Hreinsson, Peter Torssander, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, 2008. Efnasamsetning, rennsli og aurburður í útfalli Mývatns. Náttúrurannsóknastöðin við Mývatn Fjölrit nr. 7
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Árni Sigurðsson, 2014. Efnasamsetning úrkomu á Mjóanesi við Þingvallavatn 2008 – 2012. Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 108 Reykjavík Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík. Skýrsla. RH-01-2014.
- Halldór Björnsson and Trausti Jónsson, 2003. Climate and climatic variability at Lake Myvatn. *Aquatic Ecology* 38: 129-144.
- 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, Tammy Lynn Karst-Riddoch og John P. Smol, 2010. Kísilþörungaflóra íslenskra stöðuvatna. Náttúrufræðingurinn 80 (1-2), bls. 41-57
- Jón Ólafsson (1979a). Physical characteristics of Lake Myvatn and River Laxá. *OIKOS* 32: 38-66. Copenhagen 1979.
- Jón Ólafsson (1979b). The chemistry of Lake Mývatn and River Laxá. *OIKOS* 32: 82-112. Copenhagen 1979.
- Jón Ólafsson, 1991. Næringarefnaákoma Mývatns með lindarvatni. Yfirlit athugana 1969 – 1990. Sérfræðinganevnd um Mývatnsrannsóknir. Skýrsla.

- Jón Ólafsson, 1991b. Undirstöður lífríkis í Mývatni. Í: Náttúra Mývatns. Ritstjórar Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson. Hið íslenska náttúrufræðifélag. Reykjavík. 141-165.
- Lee, G.F. and Jones-Lee, A., 'Determination of Nutrient Limiting Maximum Algal Biomass in Waterbodies,' Report G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA (1998).
- Manfred Kirchner, Gert Jacobi, Ernst Freicht, Marcus Bernhard, Anton Fisher, 2005. Elevated NH<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> air concentrations and nitrogen deposition rates in the vicinity of highway in Southern Bavaria. *Atmospheric Environment* 39: 4531-4542.
- OSPAR Agreement 2004-02e. OSPAR HARPNUIT Guideline 5: Quantification and reporting of nitrogen and phosphorus losses from households not connected to public sewerage.
- OSPAR Commission, 2014. HASEC 14/14/1 (Agreement 2014-04), Annex 8. Riverine Inputs and Direct Discharges Monitoring Programme (RID) *applicable from 1 January 2015*
- Reynolds C. S., 2006. Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press.
- Sigurjón Rist, 1990. Vatns er þörf. Bókaútgáfa Menningarsjóðs, 1990.
- Snorri Páll Kjaran, Sigurður Lárus Hólm and Eric Matthew Myer, 2004. Lake circulation and sediment transport in Lake Myvatn. *Aquatic Ecology* 38: 145 – 164.
- Umhverfissráðuneytið, Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, 1989-1991. Ýmis gögn
- Umhverfissráðuneytið, Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir, 1989-1991. Jón Ólafsson, óbirt gögn og minnisblöð.
- Umhverfisstofnun, 2004. Handbók um aðgerðaráætlanir og flokkun vatns. UST-2004:32
- Veðurstofa Íslands, 2015. Gagnabanki Veðurstofu Íslands, afgreiðsla nr. [2015-07-08/01](#)
- Vegagerðin, sótt af heimasíðu 04.08.15 (<http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/umferdin/umfthjodvegum/>).
- Vegagerðin, 2008. Öxnadalshéiði - Umferðarkönnun 9. og 21. júlí og 11. og 13. október
- Vegagerðin, 2009. Berufjörður - Umferðarkönnun 17. og 19. júlí 2008.
- Vegagerðin, 2012. Hringvegur við Reykjabraut - Umferðarkönnun 15. og 17. september 2011.
- Verkfræðistofan Vatnaskil, 1999. Mývatn. Grunnvatnslíkan af vatnasviði Mývatns. Unnið fyrir Landsvirkjun. Skýrsla 99.01 Desember 1999.
- Verkfræðistofan Vatnaskil, 2008. Norðausturland. Lokaskýrsla um gerð grunnvatnslíkans í gosbeltinu norðan við Kröflu. Verkfræðistofan Vatnaskil, 08.03, 16 bls. og 53 myndir.