

**Skýrsla samstarfshóps um Mývatn:  
Ástand mála, orsakir vanda og mögulegar aðgerðir**



Júní 2016

# Efnisyfirlit

<b>Inngangur</b>	<b>3</b>
<b>SAMANTEKT OG ÁBENDINGAR</b>	<b>4</b>
<b>I. Vistkerfi Mývatns og Laxár – ástand nú og þróun á undanförunum árum</b>	<b>8</b>
<b>II. Lagaumhverfi – stutt yfirlit</b>	<b>16</b>
<b>III. Hugsanlegar orsakir vanda; helstu uppsprettur næringarefna</b>	<b>19</b>
<b>IV. Mögulegar aðgerðir til að draga úr ofauðgun næringarefna og bæta ástand Mývatns og Laxár</b>	<b>29</b>
<b>V. Bætt vöktun, rannsóknir og upplýsingagjöf – mögulegar umbætur</b>	<b>31</b>
<b>Heimildir</b>	<b>33</b>

## Inngangur

Skýrsla þessi er gerð að ósk umhverfis- og auðlindaráðherra, Sigrúnar Magnúsdóttur, til að taka saman lykilupplýsingar um ástand mála í Mývatni, orsakir þess vanda sem þar er nú við að etja og hugsanlegar aðgerðir til að bæta þar úr, m.a. á sviði fráveitumála. Tilgangur samantektarinnar er að aðstoða stjórnvöld við ákvarðanatöku varðandi mögulegar aðgerðir sem gætu komið að gagni til að draga úr álagi af manna völdum á lífríki vatnsins og bæta úr þeim vanda sem nú er við að glíma og lýsir sér meðal annars í miklum blóma blábaktería í vatninu.

Skýrslan er unnin af samstarfshópi sem ráðherra skipaði 17. maí 2016. Í skipunarbréfi hópsins segir: „Hlutverk hópsins er að draga saman bestu fánlega þekkingu í stuttu máli um:

- ástand Mývatns og Laxár og lífríkis þess og þann vanda sem við blasir þar sérstaklega nú,
- hverjar séu helstu uppsprettur næringarefna sem berast í Mývatn og líklegar orsakir þess vanda sem nú er við að eiga,
- hvaða aðgerðir koma til greina til að reyna draga úr ofauðgun og bakteríublóma í vatninu,
- hvernig unnt sé að bæta vöktun og upplýsingagjöf um ástand vatnsins og lífríki þess.“

Í samstarfshópnum áttu sæti:

Hugi Ólafsson, formaður, umhverfis- og auðlindaráðuneytinu,

Aðalbjörg Birna Guttormsdóttir, teymisstjóri hjá Umhverfisstofnun,

Árni Einarsson, forstöðumaður Náttúrurannsóknastöðvarinnar við Mývatn,

Bragi Finnbogason, formaður Veiðifélags Laxár og Krákár,

Helgi Héðinsson, formaður stjórnar Veiðifélags Mývatns,

Hjördís Finnbogadóttir, fulltrúi Fjöreggs - félags um náttúruvernd og heilbrigt umhverfi í Mývatnssveit,

Jón Óskar Pétursson, sveitarstjóri Skútustaðahrepps

og Þorkell Lindberg Þórarinsson, forstöðumaður Náttúrustofu Norðausturlands.

Stefán Einarsson, sérfræðingur í umhverfis- og auðlindaráðuneytinu, vann með hópnum.

Í skýrslunni er að finna upplýsingar um þau atriði sem ráðherra óskaði eftir. Einnig er að finna ábendingar um nokkur atriði sem samstarfshópurinn vildi koma á framfæri varðandi næstu skref varðandi málefni Mývatns og Laxár.

## SAMANTEKT OG ÁBENDINGAR

Mývatn og Laxá eru með dýrmætustu náttúruperlum Íslands vegna margbrotinnar náttúrufegurðar og auðugs lífríkis, sem er einstakt á landsvísu og jafnvel á heimsvísu. Má þar nefna að fleiri tegundir anda verpa við Mývatn en á nokkrum öðrum stað í heiminum, vatnið er þekkt fyrir mikla fiskgengd og þar finnst stórvaxinn kúluskítur – hnattlaga vaxtarform þörungans vatnaskúfs – sem er afar sjaldgæft fyrirbæri. Laxá, sem rennur úr Mývatni, er afar lífrík veiðiá sem fósstrar auk þess merka fuglastofna.

Verndargildi Mývatns og Laxár er ótvírætt og er grunnur að lögum um vernd Mývatns og Laxár sem voru sett árið 1974 og endurskoðuð 2004. Rökin fyrir vernd með sérlögum en ekki samkvæmt ákvæðum almennra náttúruverndarlaga voru m.a. þau að byggð er við vatnið, sem hefur byggst á nýtingu náttúrunnar; með landbúnaði og silungsveiði, kísilgúrvinnslu 1967-2004 og ferðaþjónustu sem byggir á aðdráttarafli vatnsins og náttúrunnar þar í kring. Náttúrurannsóknastöðin við Mývatn (RAMÝ) var sett á fót 1974 og hefur sinnt rannsóknum sem miða að því að skilja betur vistkerfi Mývatns og Laxár.

Lífríki Mývatns einkennist af 6-8 ára sveiflum, sem eru náttúrulegar í grunninn en hafa magnast upp í seinni tíð. Sveiflurnar valda því að erfitt er að meta áhrif mannglegra ígripa í vistkerfi Mývatns. Lengi voru uppi áhyggjur af starfsemi kísilgúrverksmiðjunnar. Á síðustu árum hefur verið horft m.a. til hugsanlegra áhrifa aukinnar ferðaþjónustu og fyrirhugaðra jarðhitavirkjana í nágrenni vatnsins.

Ýmis áhyggjuefni eru nú uppi varðandi ástand lífríkis Mývatns. Síðustu tvö sumur hafa verið miklir blómar af blábakteríum, en þá urðu stórir hlutar Mývatns og Laxár græn- og brúnlitadír og skyggni í vatninu lítið sem ekkert. Slíkir blómar eru þekktir af náttúrulegum orsökum og standa oft 2–3 sumur í röð. Blábakteríublómar standa nú lengur fram á haust en áður. Mælingar RAMÝ sýna að skyggni hefur minnkað í vatninu.

Í allmörg ár hefur vatnið ekki náð að verða nógu tært í júlí og ágúst til að sæist til botns. Valda því bæði svifþörungur og blábakteríur. Botngróður í meginhluta vatnsins hefur því horfið að mestu á undanförunum árum. Meðal annars hefur vaxtarsvæði kúluskíts rýrnað svo mjög að hann finnst varla lengur í vatninu. Viðkomubrestur hefur verið hjá bleikju í Mývatni frá 2000 svo að hún má teljast í útrýmingarhættu.

Vistkerfi Mývatns er flókið, síkvikt og sveiflukennt, sem gerir erfitt um vik að greina frumorsakir þeirra breytinga sem hér eru nefndar að ofan. Á það bæði við um breytingar sem hafa verið í gangi um langan tíma, s.s. samdrátt í botngróðri og bleikjustofni og þær sem hafa vakið sérstaka athygli á allra síðustu árum, s.s. mikla blábakteríublóma og fækkun hornsíla. Ekki er fullljóst hvað veldur þessari þróun, en henni svipar til breytinga sem verða í stöðuvötnum við að fá of mikið af næringarefnum.

Í umræðunni að undanförunu hefur sjónum verið beint að næringarefnamengun og þá sérstaklega frá fráveitum, sem hugsanlegum orsakavaldi. Erfitt er að fullyrða um slíkt. Nýlegt mat á innstreymi næringarefna (niturs (köfnunarefnis) og fosfórs) í Mývatn sem umhverfis- og auðlindaráðuneytið lét vinna virðist ekki benda til þess að hlutur fráveitna sé mjög hár, en

að langstærsti hluti næringarefna berist í vatnið með náttúrulegu lindarvatni og með niturbindingu blábaktería. Mælingar gefa ekki nægilega skýra mynd af þróun mála í gegnum tíðina til að rekja megi breytingarnar með neinni vissu til fráveitna eða aukningar á næringarefnaþingun af mannavöldum á síðustu árum.

Það þýðir þó ekki að orsakanna geti ekki verið að leita þar. Mývatn er auðugt að fosfór af hendi náttúrunnar og e.t.v. þarf litla viðbót til að valda röskun, t.d. með því að stuðla að fjölgun blábaktería með tilheyrandi niturbindingu. Næringarefnaaukning er mest í norðurhluta vatnsins (Ytriflóa) og viðstöðutími efnanna hefur tvöfaldast þar vegna námuvinnslnnar sem áður er getið. Í ljósi framangreinds er eðlilegt að skoða m.a. beitingu varúðarreglunnar, sem segir að þótt ekki sé vísindaleg fullvissa fyrir orsökum umhverfisvanda sé það ekki réttlætning fyrir aðgerðaleysi. Mögulega getur minnkun á losun næringarefna frá fráveitum og öðrum uppsprettum (s.s. landbúnaði) hjálpað við að snúa hinni neikvæðu þróun við.

Óháð hinni neikvæðu þróun í lífríki Mývatns er ljóst að taka þarf fráveitumálin til sérstakar skoðunar. Auknar kröfur eru gerðar til fráveitna í reglugerð sem byggir á lögum um vernd Mývatns og Laxár. Sveitarstjórn Skútustaðahrepps hefur látið vinna tillögu um nýtt fráveitukerfi við þéttbýlið í Reykjahlíð. Sveitarstjórnin hefur bent á að kostnaður – bæði við fjárfestingu og rekstur – sé mjög íþyngjandi fyrir fámennit sveitarfélag og hefur leitað eftir aðstoð ríkisvaldsins í því sambandi, m.a. í erindi til fjárlaganefndar Alþingis.

Starfshópnum var falið að draga saman lykilupplýsingar til að aðstoða stjórnvöld við ákvarðanatöku. Í skýrslu hópsins er að finna tillögur um mögulegar aðgerðir til að draga úr álagi á vistkerfi vatnsins og bæta rannsóknir og vöktun. Þær tillögur eru ekki kostnaðarmetnar hér og starfshópurinn hefur ekki forgangsraðað aðgerðum eða útfært þær nánar. Ekki er heldur lögð fram nákvæm aðgerðaáætlun, enda leyfði knappur tími ekki slíkt. Hópurinn vill þó benda á nokkur atriði sem vert er að hafa í huga þegar stjórnvöld skoða næstu skref til að bregðast við bágu ástandi Mývatns og reyna að sporna gegn neikvæðum áhrifum á vistkerfi vatnsins og Laxár af mannavöldum.

Ábendingar starfshópsins eru þessar:

- Neikvæðar breytingar á lífríki Mývatns benda til næringarefnaauðgunar að mati RAMÝ. Þótt ekki teljist sannað að næringarefnaauðgun sé helsta orsök vandans er nauðsynlegt að draga úr losun slíkra efna í vatnið, eins og kveðið er á um í reglugerð um vernd Mývatns og Laxár frá 2012. Miðað við fyrirliggjandi þekkingu þarf að hreinsa bæði nitur og fosfór úr fráveituvatni til að minnka álag á Mývatn. Rétt er að líta til varúðarreglunnar í þessu samhengi, auk laga um verndun Mývatns og Laxár. Vara verður þó við væntingum um að hægt sé að snúa neikvæðri þróun lífríkisins á skömmum tíma.
- Gera þarf heildstæða áætlun um úrbætur í fráveitumálum. Þær þurfa að ná til nokkurra staða við vatnið. Það er tæknilegt úrlausnarefni að velja aðferð(ir) við hreinsun og ekki víst að sama aðferð henti best á öllum stöðum. Fyrir liggur gagnleg tillaga um hreinsivirki í Reykjahlíð, sem sveitarstjórn Skútustaðahrepps hefur látið vinna, en rétt væri að skoða einnig aðrar lausnir, svo sem að dæla eða aka skólpi burt af svæðinu og/eða dæla því niður. Úttektin ætti að hefjast strax og taka skamman tíma. Hún ætti að draga fram helsu valkosti og gefa heildarmynd af stöðunni, auk þess að fjalla um

kostnað. Rétt er að ríkisvaldið komi að gerð áætlunar um fráveitumál ásamt sveitarstjórn. Eðlilegt er að skoða einnig aðkomu ríkisvaldsins að fjármögnun aðgerða til umbóta í fráveitumálum í Skútustaðahreppi í ljósi þess að brýnt er að bregðast við vanda í lífríki vatnsins og að gerðar eru sérstakar kröfur um fráveitumál í hreppnum á grundvelli laga um vernd Mývatns og Laxár. Sveitarfélagið er fámenn og á sannanlega erfitt með að bregðast hratt við ströngum kröfum og ákalli um úrbætur. Aðkoma ríkisvaldsins að fjármögnun fráveituf framkvæmda við Mývatn ætti að skoðast fyrst og fremst út frá kröfum í sérlögum um svæðið og þeim vanda sem við er að etja nú, en ekki t.d. út frá hugsanlegri endurvakningu á almennum stuðningi ríkis til sveitarfélaga við fráveituf framkvæmdir. Skoða þarf málið út frá lagalegum sjónarhóli og sanngirnis sjónarmiðum.

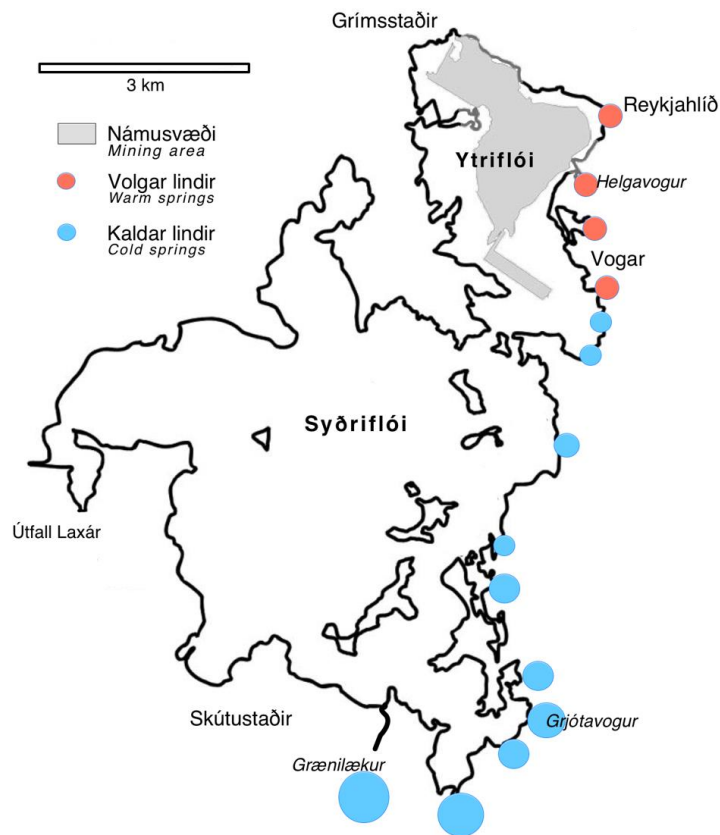
- Rétt er að skoða að auki aðrar mögulegar aðgerðir til að draga úr innstreymi næringarefna, einkum í landbúnaði og landgræðslu. Tillögur þess efnis eru í skýrslunni. Kostnaður við slíkt er mun minni en við fráveitumálin og sumar tillögurnar kosta afar lítið, s.s. að gera átak í ráðgjöf um áburðargjöf til bænda á svæðinu, til að tryggja eins og hægt er að næringarefni síust ekki út í Mývatn. Gera þarf vandaða og kerfisbundna skoðun á kjöllumur gripahúsa og leita leiða til að aðstoða við lagfæringar á óþéttum kjöllumur. Rétt er að ræða þessar aðgerðir við yfirvöld landbúnaðarmála. Sumar aðgerðir ættu að geta hafist strax.
- Brýnt er að víðtæk greining á lausnum í fráveitumálum taki eins skamman tíma og unnt er. Starfshópurinn telur þó að betra sé að skoða vandann og lausnir í stærra samhengi en að hefjast handa við fráveituf framkvæmdir í Reykjahlíð strax í sumar. Á hinn bóginn er ljóst að ein fráveita verður gerð fyrir Reykjahlíðarþorp og hægt er að hefja undirbúning þess að laga rotþróakerfi svæðisins að því. Þetta er fjölmennasti staðurinn við vatnið og eðlilegt er að hefjast handa við Ytriflóa. Gott er að ná niðurstöðu um fjármögnun átaks í fráveitumálum við Mývatn sem fyrst svo hægt sé að gera ráð fyrir verulegum framkvæmdum í Reykjahlíð á árinu 2017.
- Nauðsynlegt er að efla rannsóknir og vöktun á Mývatni og Laxá og lífríkinu þar. Listi yfir tillögur í þeim efnum er í 5. kafla. Í ljósi vandans nú er mikilvægt að fá betri mynd af innstreymi næringarefna, vexti þörunga og blábaktería og ferlum í fæðukeðjum vatnsins. Einnig þarf að huga að mögulegum eituráhrifum bakteríanna í Mývatni. Jafnframt er æskilegt að fylgjast með svipuðum ferlum í öðrum vötnum á svæðinu. Mikilvægt er að efla enn frekar samstarf vísindamanna sem koma að vöktun og rannsóknum og miðlun á niðurstöðum þeirra til stjórnvalda, íbúa svæðisins og almennings.
- Æskilegt er að efla fræðslu til íbúa og ferðamanna, sem getur reynst skjótvirk leið til bættrar umgengni og að halda áhrifum manna í lágmarki. Fræðsla til íbúa um lífríkið, vatnssparandi lausnir sem draga úr álagi á skólphreinsikerfi og um notkun vistvænna hreinsiefna eru dæmi um brýn málefni. Fræðsla til ferðamanna um umgengni og aukið eftirlit með því að friðlýsingarskilmálum laga um Mývatn og Laxá sé fylgt leiða einnig til bættrar umgengni.

- Sterkar vísbendingar eru um að fjölgun ferðamanna auki álag á lífríki Mývatns, þ.á m. á fráveitur og losun næringarefna í vatnið vex. Ljóst er að Mývatn og Laxá eru meðal helstu og þekktustu náttúruperla Íslands. Sem slíkar hafa þær mikið fjárhagslegt virði fyrir þjóðarbúið, auk ómetanlegs gildis einstakrar náttúru og lífríkis á heimsvísu. Eðlilegt hlýtur að teljast að tekjur af stórauðnum ferðamannastraumi renni að einhverju leyti til aðgerða til að vernda helstu náttúruperlur og tryggja aðdráttarafl þeirra og sýna fram á að Íslendingar hlúi vel að þeim.
- Æskilegt er að halda áfram reglulegu samráði helstu aðila sem að málinu koma þótt verkefni starfshópsins ljúki nú. Samstarfshópurinn telur að vinnan hafi verið gagnleg ekki einungis til að skila meðfylgjandi ábendingum og samantekt á lykilupplýsingum, heldur einnig til að efla þekkingu og skilning allra helstu aðila sem að málinu koma og leggja grunn að bættri samvinnu þeirra. Samstarfshópurinn og einstakir aðilar þar lýsa sig reiðubúin til að aðstoða við frekari útfærslu og eftirfylgni þeirra ábendinga sem hér eru lagðar fram, með formlegum eða óformlegum hætti.

# I. Vistkerfi Mývatns og Laxár – ástand nú og þróun á undanförunum árum

Mývatn er lindarvatnskerfi við jaðar Ódáðahrauns. Vatnasvið þess nær suður í Vatnajökul, langleiðina austur að Jökulsá á Fjöllum og yfir Kröflusvæðið að norðanverðu.

Vatnið er tvískipt. Norðurhluti þess nefnist Ytriflóa og rennur lindarvatn úr honum að jafnaði til suðurhlutans, Syðriflóa, um örmjótt sund, Teigasund. Þar sameinast straumurinn miklum lindarvatnsstraumi sem kemur undan austurbökkum Syðriflóa. Í Syðriflóa berst einnig vatn úr Grænalæk, sem flytur uppsprettuvatn úr Grænavatni sem er spölkorn sunnan við Mývatn (1. mynd).



1. mynd. Mývatn skiptist í Syðriflóa og Ytriflóa með mjóu sundi á milli. Röð af uppsprettum liggur meðfram austurströnd vatnsins, þær nyrstu volgar en hinar kaldar. Vatn rennur að jafnaði úr Ytriflóa í Syðriflóa, nema í hvassri sunnanátt, þá snýst straumurinn við. Mikið af köldu lindarvatni berst auk þess með Grænalæk úr Grænavatni, örskammt suður af Mývatni. Sárálítið annað vatn rennur í Mývatn.

Vatnið er grunnt, víðast milli 2–3,5 m í Syðriflóa en 1–5,5 m í Ytriflóa. Dýpið var áður 1–2 m í Ytriflóa, en þar dýpkaði vatnið við námugróft á árunum 1967–2004.



Stórt vatnasviðið á eldbrunnu landi leiðir til frekar fosfórriks grunnvatns, sem er undirstaða hins frjósama lífríkis Mývatns. Viðstaða lindarvatnsins í Mývatni, sem er um 1 mánuður, er nægilega löng til að þar nái að blómstra mikið lífríki. Hagstætt veður- og sólfar í regnskugga af Vatnajökli hjálpar til. Vatnið er grunnt svo að sólarljós nær gjarnan til botns þar sem kísil- og grænþörungar ríkjja, ásamt óvenju þéttskipuðu og fjölbreyttu samfélagi mýlirfa og smákrabbadýra. Grunnt vatnið og fjölbreytt fæða leiðir til blómlegs samfélags vatnafugla, þar sem endur eru í stærstu hlutverki. Hin sérstæða fána Mývatns og Laxár er umgirt óvenjulegu og fögru landslagi sem mótast hefur af samspili hrauns og vatns.

Staðsetning Mývatns og Laxár á mótum heimsálfa og lífbelta norðurs og suðurs leiðir til tegundablöndu fugla sem hvergi finnst annars staðar á Jörðu. Vatnið fósar stofna sem eru sjaldgæfir eða eiga undir högg að sækja í nálægum héruðum og löndum, eða er varpland fyrir tegundir sem leita til annarra landa eða heimsálfa á veturna.

Mývatn er frægt veiðivatn frá gamalli tíð, þar sem bleikja er aðal fiskurinn. Fjölbreytt hraunumhverfið hefur leitt til þróunar fjölmargra afbrigða á uppsprettusvæðum og í vatnsfylltum hellum við bakkann. Frjósöm Laxáin er heimkynni öflugra urriða- og laxastofna.

Ítarlegar rannsóknir hafa verið stundaðar á lífríki Mývatns og Laxár, einkum eftir 1970 þegar fram komu áhyggjur af inngripi manna í undirstöður vistkerfisins og grunsemdir um að ekki væri allt með felldu um framvindu þess. Í fyrsta rannsóknáttakinu náðist að lýsa helstu einkennum vistkerfisins. Rannsóknir á lífríki Mývatns hafa í sívaxandi mæli beinst að fæðuvef vatnsins, en hann lýsir því hvernig efni berst frá einu fæðuþrepi til annars.<sup>1</sup> Vöktun fæðuvefsins hefur leitt í ljós miklar sveiflukenndar breytingar. Í nokkur ár ríkir góðæri þar sem átuskilyrði fyrir fugl og fisk eru góð en á tveimur til þremur misserum breytist þetta ástand í hallæri með nær algerum átuskorti og viðkoma bleikju og vatnafugla bregst án þess að nokkuð samsvarandi sjáist í hinu ytra umhverfi vatnsins, s.s. veðri, súrefnisástandi eða grunnvatni. Lífríkið er tvö til þrjú ár að jafna sig en svo endurtekur sagan sig.

Fyrsta skráða hrunið varð 1970.<sup>2</sup> Þessar öfgakenndu sveiflur geta varla hafa staðið mjög lengi; þótt lífríkið hafi verið einhverjum sveiflum undirorpið alla tíð hljóta lægðirnar yfirleitt að hafa verið mildari.<sup>3</sup> Lífríkishrunin hafa hindrað eðlilega endurnýjun bleikjustofnsins og gert hann ofur viðkvæman fyrir veiði.

Sveiflurnar virðast fremur eiga sér rætur í innviðum fæðuvefsins sjálfs en í utanaðkomandi þáttum. Margt bendir til þess að mýflugan *Tanytarsus* (slæðumý) sé undirrot þeirra. Lirfur hennar ná svo miklum þéttleika á vatnsbotninum að fæðu fer að skorta og stofninn hrynur.<sup>4</sup> Aðrir lífverustofnar fylgja með, því að flestir þeirra lifa á sömu fæðu og slæðumýslirfurnar eða eru ofar í fæðuvefnum. Með aðstoð reiknilíkans hefur verið líkt eftir atburðarás sveiflunnar.<sup>5</sup> Líkanið bendir til þess að lífríki Mývatns geti verið mjög viðkvæmt fyrir smávægilegum breytingum á ytri aðstæðum.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Árni Einarsson 2010.

<sup>2</sup> Bengtson 1971.

<sup>3</sup> Sjá m.a. Hauptfleisch 2012, Árni Einarsson 2010.

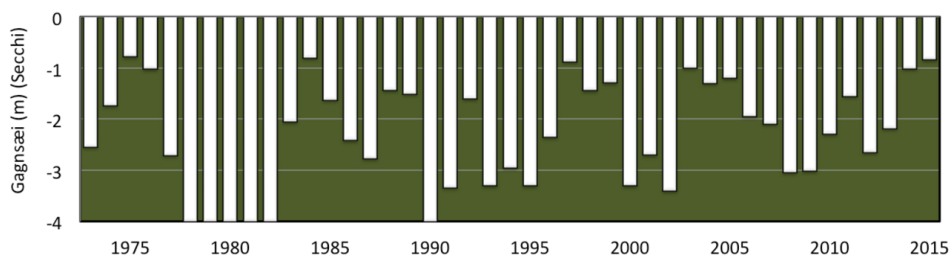
<sup>4</sup> Árni Einarsson o.fl. 2002.

<sup>5</sup> Ives o.fl. 2008.

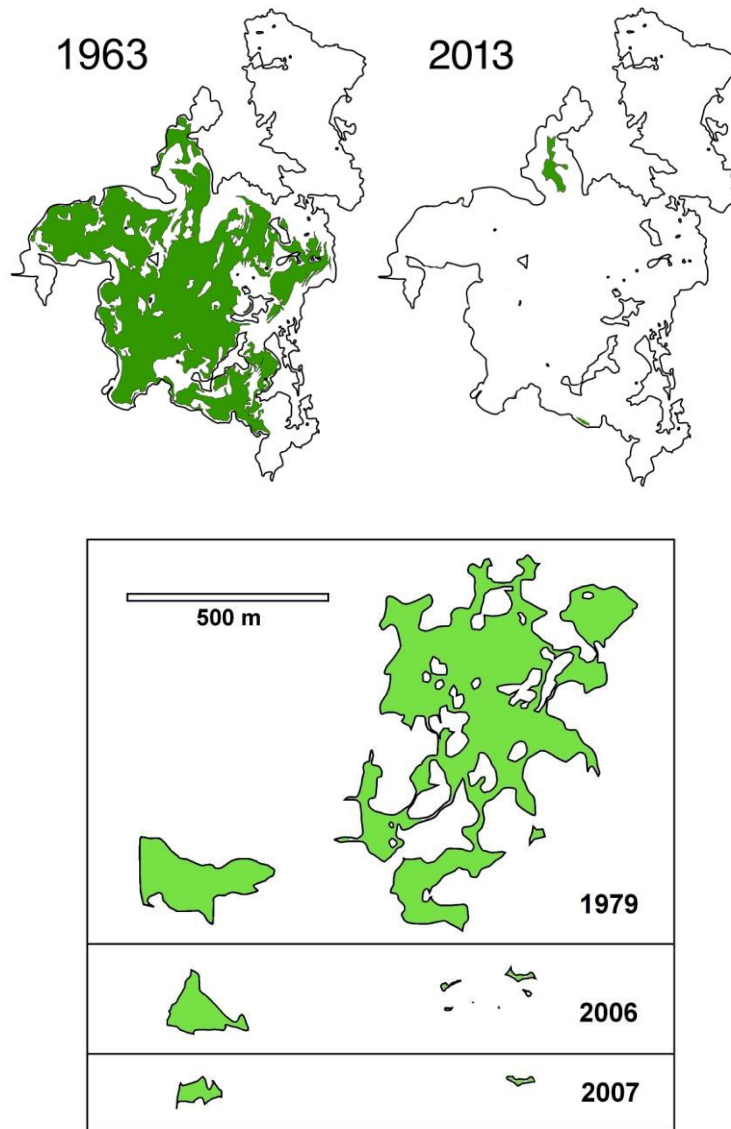
<sup>6</sup> Ives o.fl. 2008, Árni Einarsson 2010.

Hinar miklu sveiflur í átustofnum vatnsins, mýi og krabbadýrum, taka um það bil 6-8 ár og hafa verið svo yfirgnæfandi að undirliggjandi og hægari þróun lífríkisins kemur ekki í ljós fyrir en að miklu lengri tíma liðnum.

Sveiflur þessar eru drifnar áfram af innra orsakasamhengi í fæðuvef vatnsins og virðast náttúrulegar í eðli sínu en hafa magnast upp í kringum 1970. Blábakteríublómar fylgja sveiflunum. Þeir eru náttúrulegir í hinu frjósama Mývatni en virðast þykkari, útbreiddari og standa lengur nú en áður þekktist. Tvö síðustu ár (2014 og 2015) var blábakteríublóminn mjög þykkur. Á milli blábakteríuáranna hafa verið tímabil sem vatnið er tiltölulega tært, stundum mjög tært, allt sumarið, en slíkum tilfellum hefur farið fækkandi og ekki borið við síðastliðin 13 ár (2. mynd).



2. mynd. Súlurit sem sýnir breytingar á skyggni í Syðriflóa Mývatns í júlí og ágúst 1973–2015 (hvítu öfugu súlurnar). Tíðni „bjartra“ ára – þegar meðalskyggni er meira en þrjú metrar – virðist fara minnkandi. Þetta er langtíma þróun sem gæti bent til breytinga á næringarefnaframboði í Mývatni. Vakin skal athygli á að ástand síðustu tveggja sumra er dæmigert fyrir blábakteríuár og líklegt í ljósi reynslunnar að það gangi til baka.



3. mynd. Efri myndin: Grænþörungateppið í Mývatni samkvæmt loftmyndum frá 1963 og 2013. Neðri myndin sýnir kúluskítisfleckkina sérstaklega. Síðustu leifar þeirra fundust árið 2012 og voru horfnar árið eftir.<sup>7</sup>

Á sama tímabili hefur grænþörungateppið, sem einkennt hefur Syðriflóa, látið undan síga. Tvær tegundir þörunga mynduðu teppið og eru báðar næstum horfnar. Tegundin *Cladophora glomerata* sat ofan til í laginu en vatnaskúfur (*Aegagropila linnaei*) undir henni og að hluta ofan í leirnum, þar sem ofurlítið finnst af henni enn. Þörungateppið stækkaði og minnkaði eftir birtuskilyrðum í vatninu; í blábakteríuárum minnkaði teppið mikið en breiddi úr sér þegar skyggni batnaði.<sup>8</sup> Ofan í þessar sveiflukenndu breytingar var langtíma hnignun sem eftir á að hyggja var þegar hafin er athuganir hófust 1977. Þörungateppið er nú næstum horfið á mjög stórum botnsvæðum, þar á meðal hinn víðkunni kúluskítur sem er óvenjulegt vaxtarform

<sup>7</sup> Árni Einarsson o.fl. 2004, Árni Einarsson 2014.

<sup>8</sup> Árni Einarsson o.fl. 2004.

annarrar tegundarinnar (3. mynd).<sup>9</sup> Vegna brotthvarfs botngróðurs má búast við að þýðingarmiklar breytingar hafi orðið á mý- og krabbadýrastofnum Mývatns eftir aldamótin.<sup>10</sup> Sýni hafa verið tekin reglulega, en fjárskortur hefur hamlað úrvinnslu þeirra.<sup>11</sup>

Líklegasta skýringin á hvarfi þörungamottunnar er birtuleysi af völdum blábaktería og á seinni árum hugsanlega einnig af völdum svifþörungum þegar bakteríurnar eru ekki til staðar. Atburðarásin var flóknari þegar kom að kúluskítshluta mottunnar. Flekkirnir grófust að hluta í leir sem skreið eftir botninum, líklega vegna þess að þörungamottan í heild var að hverfa og leirinn því ekki lengur í skjóli fyrir straumum í vatninu.<sup>12</sup> Vatnamari (*Myriophyllum sibiricum*) hefur vaxið upp á námusvæðinu þar sem það er grynnst (minna en 2,5 m dýpi), en þar óx þráðnykra (*Potamogeton filiformis*) áður.<sup>13</sup>

Bleikju hefur stórfækkað í vatninu á rannsóknatímabilinu (4. mynd). Stofn hennar hefur þolað illa síendurtekinn fæðuskort sem fylgir átusveiflum í vatninu. Hún tímgastr því ekki vel, en þar við bætist að langan tíma tók að aðlaga veiðisóknina þessum nýja veruleika. Til eru veiðitölur allt frá 1900 og glögg frásögn af veiðinni á síðari hluta 19. aldar.<sup>14</sup> Eftir stöðugleikatímabil frá 1922–1972 fór veiðinni hrakandi og nú hefur verið gripið til róttækrar sóknartakmörkunar.<sup>15</sup> Vöktun stofnsins sem hófst með núverandi sniði 1986 sýnir að eldri bleikju tók að fjölga ár frá ári eftir 2005 (Veiðimálastofnun, óbirt gögn). Vöktunin sýnir líka að frá og með árinu 1998 hefur mjög lítið verið af smábleikju (5. mynd). Enn er engin traust skýring á þessum umskiptum á smábleikju fjölda, en málið kann að skýrast þegar úrvinnsla sýna af átustofnum lýkur. Samkvæmt algengum viðmiðum mætti telja Mývatnsbleikjuna í útrýmingarhættu.<sup>16</sup>

Hornsílastofninn í Mývatni hefur verið mjög stór frá því vöktun hans hófst um 1989.<sup>17</sup> Hann er mun þéttari í Ytriflóa en Syðriflóa. Stofnstærðin hefur sveiflast í öfugum takti við mýsveiflur. Síðastliðið sumar (2015) var stofninn í lágmarki miðað við sl. 25 ár (6. mynd). Fátt í fyrirbyggjandi rannsóknum styður þá tilgátu að hornsílin éti upp mýið og knýi þannig mýsveiflurnar.<sup>18</sup> Hins vegar er nú unnið með rannsóknatilgátur um að stór sílastofn geti fækkað í stofnum vissra mikilvægra átutegunda og þannig ýkt lífríkissveiflurnar<sup>19</sup> og auk þess gætu þau hraðað umsetningu fosfórs í vatninu og hvatt þannig til blábakteríublóma.

<sup>9</sup> Árni Einarsson og Marianne Jensdóttir 2003, Árni Einarsson 2014. Nýlega (maí 2016) fannst ofurlítið af smávöxnum kúluskít í uppreki á þremur stöðum við Mývatn.

<sup>10</sup> Sjá m.a. Marianne Jensdóttir 2003, 2005.

<sup>11</sup> Sjá m.a. Arnþór Garðarsson o.fl. 2000, 2004, einnig Árna Einarsson og Erlu Björk Örnólfsdóttir 2004.

<sup>12</sup> Árni Einarsson 2014.

<sup>13</sup> Árni Einarsson 2003.

<sup>14</sup> Sjá Guðna Guðbergsson 2004, Hauptfleisch 2012.

<sup>15</sup> Sjá Guðna Guðbergsson 2014.

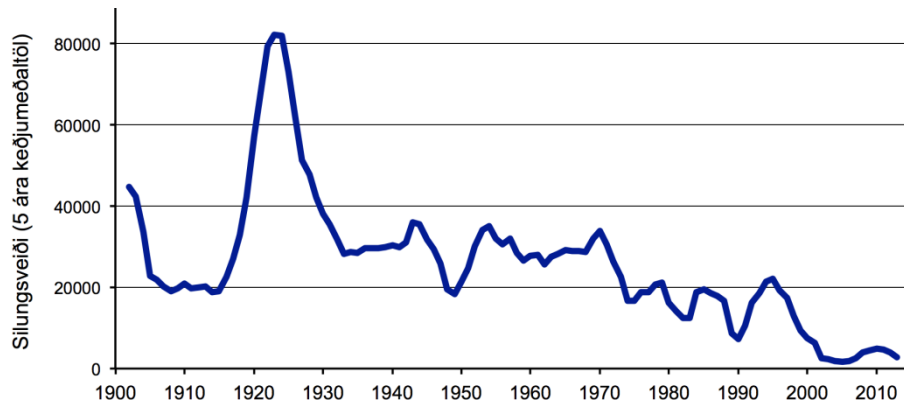
<sup>16</sup> Sjá skilgreiningu IUCN á útrýmingarhættu (*endangered*):

[http://www.iucnredlist.org/static/categories\\_criteria\\_2\\_3](http://www.iucnredlist.org/static/categories_criteria_2_3)

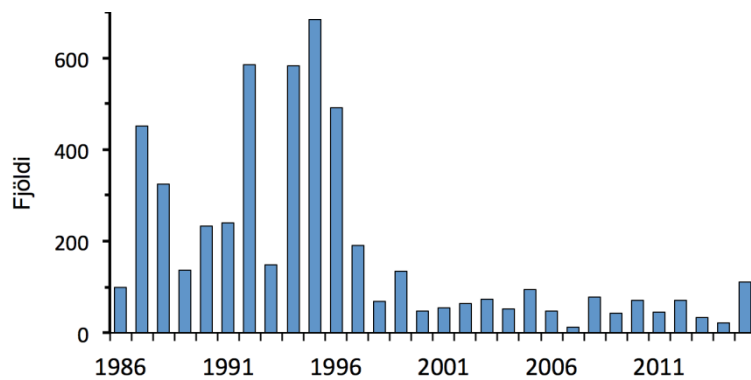
<sup>17</sup> Sjá Gísli Má Gíslason o.fl. 1989.

<sup>18</sup> Sjá t.d. Gísli Má Gíslason o.fl. 1989, Árna Einarsson o.fl. 2002, Bartrons o.fl. 2015, Webert o.fl. 2016, í handriti.

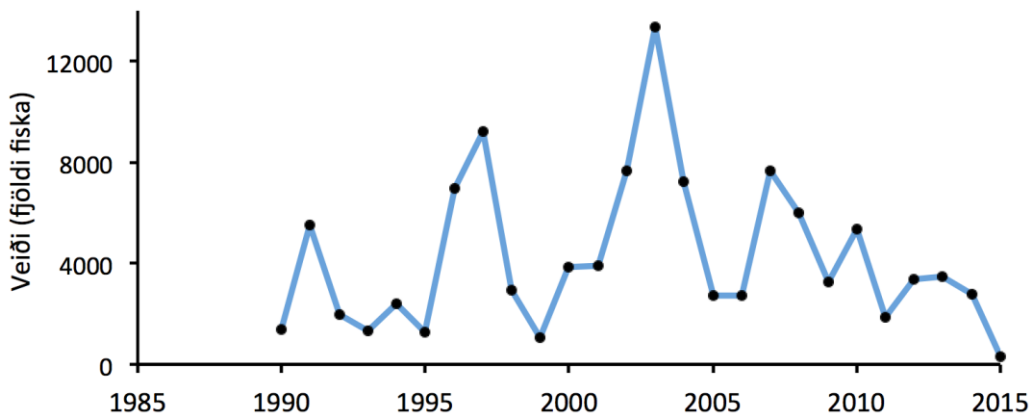
<sup>19</sup> Árni Einarsson 2010. Sjá einnig Bernes o.fl. 2015.



4. mynd. Silurageveði í Mývatni frá aldamótunum 1900 til dagsins í dag. (Gögn frá Veiðimálastofnun, byggð á veiðiskýrslum.)



5. mynd. Fjöldi smábleikju í föstu, árlegu veiðiátaki í Mývatni yfir þriggja áratuga tímabil, 1986–2014. Síðastliðin 18 ár hefur verið litið um smábleikju (1–3ja ára). (Byggt á gagnasafni VMST.)



6. mynd. Fjöldi hornsíla í Mývatni að haustlagi fór hægt vaxandi, þrátt fyrir miklar sveiflur, 1990–2007 en hefur dregist saman síðan. Fjöldinn sumarið 2015 var lægri en dæmi eru um sl. 25 ár. Mælikvarðinn sýnir heildarveiði í föstu veiðiátaki. (Úr gagnagrunni RAMÝ.)

Viðkoma margra andategunda mótast af átusveiflum; í átuleysisárum komast sjaldan upp ungar, en í átuárum gengur oftast vel, og veðurlag ræður sjaldan úrslitum.<sup>20</sup> Flestar hinna 14 andartegunda á Mývatni og Laxá lifa á mýlirfum og krabbadýrum á vatnsbotninum. Viðkoma flórgoða er háð hornsílafjölda í vatninu.<sup>21</sup> Engin einsleit þróun er hjá varpstofnum hinna fjölmörgu vatnafuglategunda. Flórgoði, gargönd og skúfönd eru dæmi um stofna sem fjölgað hefur mikið í, en ástæða er til að gefa gaum að viðkomubresti og fækkun duggandar og straumandar.

Breytingar á stærð varpstofnanna eru tvenns konar. Reglan er sú að sveiflur í átumagni skila sér í fjölda fullorðinna fugla næstu árin á eftir, en til viðbótar þessum skammtímasveiflum koma langtímabreytingar sem eru mismunandi fyrir hvern fuglastofn.<sup>22</sup> Ekki er vitað fyrir vísit hvað veldur þeim, en almennt eru mestar líkur á að þær tengist skilyrðum á vetrarstöðvum fuglanna. Enginn fuglastofnanna sýnir eindregna langtíma hnignum, nema duggöndin þar sem viðkoma hefur verið lítil það sem af er öldinni og mikil fækkun verið í varpstofninum undanfarin ár. Líklegir orsakavaldar eru minnkandi krabbadýraáta og rýrnun þörungamottunnar, en auk þess samkeppni við náskylda en harðgerðari tegund, skúfönd, sem nam hér land um aldamótin 1900 og hefur fjölgað mikið síðan.

Ekki hafa allar breytingar á lífríki Mývatns orðið eftir 1970. Rannsóknir á setlögum í Mývatni sýna að eftirsóttari krabbaátu (svonefndri kornátu, *Eurycercus*) hefur farið hnignandi í vatninu síðan um 1930. Fyrir þann tíma voru miklar sveiflur í kornátunni sem endurspegluðust í toppum í silungsveiði og andavarpi.<sup>23</sup> Eftir 1960–70 hefur þessari átu hnignað svo mjög að silungurinn er mun háðari rykmýi en áður og því ofurseldur hinum miklu sveiflum í stofnum þess.

<sup>20</sup> Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson 2004. Sjá yfirlitsgrein Arnþórs Garðarssonar 2006.

<sup>21</sup> RAMÝ, óbirt gögn.

<sup>22</sup> Ekki er rúm til að tunda þær hér en vísað er á vefsíðu RAMÝ: <http://www.ramy.is/wp-content/uploads/2013/06/Vorendur.pdf>.

<sup>23</sup> Hauptfleisch 2012.

Veður- og loftslagsbreytingar gætu haft ýmis áhrif á lífríkissveiflurnar. Vísbendingar eru t.d. um að breytingar á vindasemi hafi hvetjandi áhrif á blábakteríublómann.<sup>24</sup>

Blábakteríurnar í Mývatni eru af tegundum sem geta framleitt skæð eitrefni. Ekki er vitað til að þær geri það enn sem komið er í Mývatni, en vatnshiti og staða næringarefna eru meðal þeirra þátta sem grunur liggur á að hafi áhrif á hvort bakteríurnar framleiði eitur eða ekki.

Af öðrum þáttum er vert að nefna að misdýpi vatnsins vegna námugryfjanna ýtir undir sveiflur í fæðukeðjum.<sup>25</sup> Bagalegt er að engar sérstakar rannsóknir voru gerðar á vatninu áður en námuvinnsla hófst þar 1967 og því lítinn traustan samanburð að hafa við eldri tíð.

Ýmislegt í athöfnum manna eða náttúru sem *ekki* eru taldar miklar líkur á að hafi spilað inn í megin framvindu lífríkisins undanfarna áratugi, eða gögn skortir um, eru til dæmis rennslisstjórnun í útfallinu, affall frá gufuborholum í nágrenninu og landris í Kröflueldum. Einnig má nefna hægfara grynningu á suðurhluta vatnsins vegna setmyndunar. Hún hefur mælst um 2,1 mm á ári í aldursgreindu og fullþjöppuðu seti í borkjörnum úr Syðriflóa.<sup>26</sup> Á löngum tíma hefur grynningin áhrif á lífríkið þar en tæpast á þeim tímaskala sem okkur varðar hér.

Í Laxá mótast ástand mála af lífríkissveiflunum í Mývatni. Lífríki í efri hluta Laxár er afar mikið og fjölbreytt en einkennist öðru fremur af bitmýi, urriða, húsönd og straumönd. Bitmýslirfur sía svifþörungum og blábakteríur úr árvatninu og nærast á þeim. Þegar blábakteríublómar eru í Mývatni eykst vöxtur og stofnstærð bitmýs mikið miðað við tæru tímabilin á milli. Kemur það m.a. fram í því að sá kaflur næst útfallinu lengist þar sem tvær göngur af bitmýi koma í stað aðeins einnar.<sup>27</sup> Afkoma húsandar, straumandar og urriða tengist ástandi bitmýsstofnsins náði.<sup>28</sup>

Enn er talsvert af sýnum og öðrum gögnum um framvindu lífríkisins undanfarin ár sem ekki hefur verið svigrúm til að vinna með fullnægjandi hætti, gögn um rykmý, silung, endur og blábakteríublóma. Hægt er að fá skýrari mynd af lífríkisbreytingunum með skjótum hætti með því að vinna upp þessi gögn.

---

<sup>24</sup> Árni Einarsson 2014.

<sup>25</sup> Ives o.fl. 2008. Árni Einarsson 2010.

<sup>26</sup> Árni Einarsson o.fl. 2004.

<sup>27</sup> Gísli Már Gíslason 1991 og 1994. Gísli Már Gíslason og Vigfús Jóhannsson 1991.

<sup>28</sup> Árni Einarsson o.fl. 2006.

## II. Lagaumhverfi – stutt yfirlit

Lög um verndun Mývatns og Laxár voru sett árið 1974 í kjölfar harðra deilna um virkjun Laxár. Tilgangur laganna var að stuðla að verndun Mývatns- og Laxárvæðisins og náðu ákvæði laganna til Skútustaðahrepps og Laxár með hólum og kvíslum allt að ósi árinna við Skjálfanda, ásamt 200 metra breiðum bakka meðfram Laxá báðum megin. Lögin bönnuðu mannvirkjagerð og jarðrask og breytingar á hæð vatnsborðs stöðuvatna og rennsli straumvatna, nema með leyfi Náttúruverndarráðs. Í lögunum var einnig að finna heimild til að setja reglugerð um varnir gegn mengun svæðisins, þ.m.t. um sérstakar mengunarvarnir Kísiliðjunnar við Mývatn, en kísilgúrnám í vatninu hófst 1967.

Náttúrurannsóknastöðin við Mývatn var stofnuð með ákvæði í lögunum frá 1974 og hefur starfað síðan. Hún fæst við rannsóknir á náttúru og sögu Mývatns og Laxár og vatnasviðs þeirra með það höfuðmarkmið að skilja náttúrufarsbreytingar og sjá þær fyrir og stuðla þannig að verndun svæðisins. Samstarf er við ýmsa aðila, innlenda sem erlenda, um rannsóknir á svæðinu.

Lög um Mývatn og Laxá voru endurskoðuð og þeim breytt árið 2004. Markmið laganna er þar sagt vera „að stuðla að náttúruvernd í samræmi við sjálfbæra þróun og tryggja að vistfræðilegu þoli svæðisins verði ekki stefnt í hættu af mannavöldum.“ Ástæða breytinganna var í greinargerð við frumvarpið sögð vera miklar breytingar sem orðið höfðu í laga- og stofnanaumhverfi náttúruverndar frá því að lögin voru sett á sínum tíma. Einnig var nefnt að lögin hefðu verið gagnrýnd af hálfu sveitarstjórnar Skútustaðahrepps, sem hefði bent á að þau sviptu sveitarstjórnina valdi sem almennt er í höndum sveitarstjórna, einkum í skipulags- og byggingarmálum. Stjórnsýsla í tengslum við lögin hefði einnig verið þung í vöfum.

Gildissviði laganna var breytt og ná þau nú ekki til Skútustaðahrepps í heild, heldur til Mývatns og Laxár að ósi, ásamt 200 m breiðum bakka meðfram Mývatni öllu og Laxá báðum megin. Auk þess ná lögin til tiltekinna votlendissvæða, sem eru talin upp og til vatnsverndar á vatnasviði Mývatns og Laxár. Verndin nær nú fyrst og fremst til vatnsins sjálfs og vatnakerfisins í heild, en náttúruvinjar í kringum vatnið fóru undan vernd sérlaganna. Friðlýsa átti þær í samræmi við almenn náttúruverndarlög. Ekki var hins vegar farin sú leið að nema sérlögin alveg úr gildi og fara í friðlýsingu Mývatns og Laxár skv. ákvæðum náttúruverndarlaga, en um það segir í greinargerð með frumvarpinu: „Sérstaða svæðisins er ekki aðeins fólgin í háu verndargildi þess, og fá svæði á Íslandi eru jafnverðmæt frá sjónarhóli náttúruverndar en einmitt Mývatns- og Laxárvæðið, heldur einnig í því að á svæðinu er nokkur byggð og mikil umferð ferðamanna. Verða allar náttúruverndaraðgerðir við Mývatn og Laxá að taka mið af þessu, en sjaldgæft er að reyni á þetta samspil byggðar og náttúruverndar með jafnafgerandi hætti á friðlýstum náttúruverndarsvæðum.“

### ***Reglugerð og verndaráætlun***

Reglugerð um vernd Mývatns og Laxár var sett árið 2012, en þar er kveðið ítarlega á um ýmis atriði til að stuðla að vernd svæðisins á grunni laganna frá 2004. Umhverfisstofnun er falið að hafa umsjón með verndun og eftirlit með framkvæmdum á svæðinu. Stofnunin hefur einnig umsjón og eftirlit með vörnum gegn mengun á vatnasviði Mývatns og Laxár. Í reglugerðinni



er m.a. kveðið á um veiðar, ræktun, umferð og leyfis skyldu fyrir framkvæmdir og mannvirkjagerð.

Í reglugerðinni er einnig fjallað um mengunarvarnir, áburðarnotkun og fráveitur. Þar segir m.a.: „Skólp á vatnasviðinu skal hreinsað með ítarlegri hreinsun en tveggja þrepa í samræmi við ákvæði 2. mgr. 7. gr. reglugerðar nr. 798/1999, um fráveitur og skólp.“ Með ítarlegri hreinsun er átt við hreinsun niturs og fosfór.

Þessari grein reglugerðarinnar um fráveitur og skólp var breytt með reglugerð nr. 450/2009 og jafnframt var bætt við hana nýju fylgiskjali. Samkvæmt fylgiskjalinu skal frá svæðum utan þéttbýlis á viðkvæmum svæðum þar sem næringarefnaofauðgun kann að eiga sér stað krefjast hreinsunar niturs og fosfórs úr frárennsli þar sem umfang frárennslisins nemur 50 persónueiningum eða fleiri. Miða skal við að lækun heildarstyrks þessara efna eftir hreinsun nemi að lágmarki 80% fyrir fosfór og 70% fyrir nitur miðað við styrk þeirra í óhreinsuðu skólpi. Í stað þessa viðmiðs er heimilt að miða við styrk efnanna í hreinsuðu frárennslinu, sem skal að hámarki vera 2 milligrömm/lítra af fosfór og 15 milligrömm/lítra af nitri. Heimilt er einnig að gera mismunandi kröfur til hreinsistöðva á sama vatnasvæði ef það næst 75% heildarlækun fosfórs og niturs á svæðinu.

Umhverfisstofnun hefur í gegnum árin átt í samskiptum við Skútustaðahrepp t.a.m. í gegnum skipulagsáætlanir sveitarfélagsins og bent á að farið skuli með skólp mál í samræmi við þær kröfur sem hér hafa komið fram. Árið 2014 var svo tekið saman sérstakt minnisblað af Umhverfisstofnun til sveitarstjórnar Skútustaðahrepps og skipulags og byggingafulltrúa þar sem farið var ítarlega yfir þær kröfur sem gerðar eru til fráveitumála á svæðinu.

Verndaráætlun Mývatns og Laxár var gefin út árið 2011 og staðfest þá af umhverfisráðherra. Áætlunin var unnin af Umhverfisstofnun, Náttúruvísindisstofnuninni við Mývatn og Náttúrustofu Norðausturlands og gildir til 2016. Ýmsar aðgerðir eru lagðar til í verndaráætluninni, sem margar taka til atriða sem löggin og reglugerðin um vernd Mývatns og Laxár fjalla um, en áætlunin nær raunar bæði til verndarsvæðisins sem löggin fjalla um og Skútustaðahrepps alls. Fjallað er m.a. um landvörslu, friðlýsingu svæða í Skútustaðahreppi utan verndarsvæðis laganna og ýmis ákvæði sem rétt þygi að setja inn í reglugerð, s.s. um bann við andaveiðum og reglur um bátaumferð. Einnig segir að gerðar verði vöktunaráætlanir varðandi mengun vatnasviðs, plöntur á valista, kúluskít, fiskistofna vatnasviðsins, ástand jarðfræði- og menningarminja o.fl. Stefnt er á að virkt samstarf verði á milli Umhverfisstofnunar, sveitarfélaga, Ferðamálastofu og landeigenda um aðgerðir á svæðinu.

Starfsreglur um góða búskaparhætti eru leiðbeinandi reglur UST fyrir bændur. Sumar reglurnar eru teknar beint úr lögum og reglugerðum. Í reglugerð nr. 804/1999 með lögum nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir, er fjallað um mengun vatns af völdum nitursambanda frá landbúnaði og öðrum atvinnurekstri. Þar segir að gera skuli viðeigandi ráðstafanir til að draga úr hættu á að vatn mengist og koma í veg fyrir mengun í vatni af völdum nitursambanda frá landbúnaði. Vandaðar og þéttar hauggeymslur skuli vera við gripahús og þær skuli rúma að minnsta kosti sex mánaða haug. Einnig er fjallað um dreifingu húsdýraáburðar og tilbúins áburðar. Brot gegn ákvæðum reglugerðarinnar varða sektum eða fangelsi ef þau eru stórfelld eða ítrekuð.

### ***Ramsar-samningurinn***

Ramsar-samningurinn um vernd votlendis er kenndur við borgina Ramsar í Íran, þar sem hann var samþykktur árið 1971, en hann var fyrsti alþjóðlegi samningurinn sem fjallar um vernd og nýtingu ákveðinna vistkerfa. Mývatns- og Laxárvæðið var skráð á lista samningsins árið 1977 og var fyrsta svæðið á Ísland sem var sett á þann lista (nú eru sex íslensk svæði á Ramsar-listanum af yfir 2200 á heimsvísu). Með skráningu svæðisins á Ramsar-listann ábyrgjast íslensk stjórnvöld að stjórn og nýting votlendisins sé skynsamleg, að unnin verði verndaráætlun fyrir svæðið og að Ramsar-skrifstofunni verði skýrt frá því ef breytingar verða á vistfræðilegum eiginleikum vatnsins af mannavöldum eða ef búast má við breytingum.

Þess má einnig geta að svæðið hefur verið sett af Íslandi á „tentative list“ hjá Menningarmálastofnun Sameinuðu þjóðanna (UNESCO), lista yfir svæði sem ríki hyggjast tilnefna á heimsmínjaskrá.

### III. Hugsanlegar orsakir vanda; helstu uppsprettur næringarefna

Meginvandinn í lífríki Mývatns er að svifgróður hefur aukist á kostnað botngróðurs. Svifgróðurinn skyggir á botninn og botngróðurinn hverfur smám saman. Þessar breytingar hafa verið í gangi í a.m.k. aldarfjórðung, en torvelt hefur verið að greina þær vegna þess hve sveiflukennt lífríkið er. Atburðarás þessu lík er kunn víða um lönd og er talin dæmigerður fylgífiskur næringarefnaaukningar.<sup>29</sup> Hún snýst oftast um áburðarefni sem berast í grunnvatn eða beint í vötnin frá athöfnum og viðveru manna. Nitur (köfnunarefni) og fosfór eru þar jafnan í aðalhlutverki. Þau eru nauðsynleg öllu lífi, en aukning þeirra í vötnum leiðir til stigvaxandi hættu á varanlegum skaða á vatnalífi.<sup>30</sup> Þegar botngróður hverfur í grunnu stöðuvatni breytist eðli lífríkisins og við tekur ástand sem vindur upp á sig og erfitt getur verið að snúa við.<sup>31</sup> Hnatræn hlýnun er talin geta ýtt undir þetta ferli.

Algengasta leiðin til að bregðast við þessari þróun er að takmarka afrennsli næringarefna frá mönnum, kvikfé og ræktun. Stundum hefur tekist að flýta viðsnúningi lífríkisins með markvissum breytingum á fæðuvef vatnanna til að draga úr þörungum- og blábakteríusvífi og fá botngróður þannig til að vaxa á ný.<sup>32</sup> Dæmi eru um að beitt hafi verið efnafræðilegum aðferðum til að gera næringarefnin í vatnsbotninum óvirk.

Engin ein aðferð dugar á öll vötn, því að hvert vatn hefur sín sérkenni. Misjafnt er og hvaða næringarefni ráða för í framvindu lífríkisins frá vori til hausts og frá ári til árs. Einnig ræður næringarstig, lögur, dýpi og mengunarsaga vatnsins nokkru um það hvers konar inngríp er vænlegt til árangurs. Það flækir málið að ekki virðist hafa myndast breið samstaða í vísindaheiminum um hlutfallslegt vægi niturs og fosfórs í ofauðgunarferlinu.

#### *Hvaðan koma næringarefnin?*

Næringarefnin sem hér er fjallað um eru *nitur* (N) og *fosfór* (P). Helstu leiðir þessara efna eru sýndar á 7. mynd og mat á ákomu þeirra í heild í Mývatni er í 1. töflu.

Í Mývatni er óvenju háir heildarstyrkur fosfórs og niturs af náttúrunnar hendi miðað við önnur íslensk stöðuvötn. Um 98% af fosfórinnstreyminu kemur með lindum í Mývatn. Útskolun fosfórs frá landbúnaði nemur 0,4%, loftborið 0,6% og samanlögð losun frá íbúum og ferðaþjónustu samsvarar 1% (1. tafla).<sup>33</sup> Fosfór í grunnvatni fer eftir stærð vatnasviðs. Þar sem vatnasvið Syðriflóa er mjög stórt er fosfórstyrkur í lindum þar í hærra lagi. Vatnasvið Ytriflóa er miklu minna og er styrkur fosfórs í lindum þar talinn lægri frá náttúrunnar hendi. En þar hefur borið á hækkun fosförgilda vegna mengunar svo að þau nálgast það sem gerist í lindum sunnar í Mývatni og eru taldar ómengaðar.<sup>34</sup>

<sup>29</sup> Sjá t.d. Hilt o.fl. 2006.

<sup>30</sup> Sjá t.d. Smith o.fl. 1999.

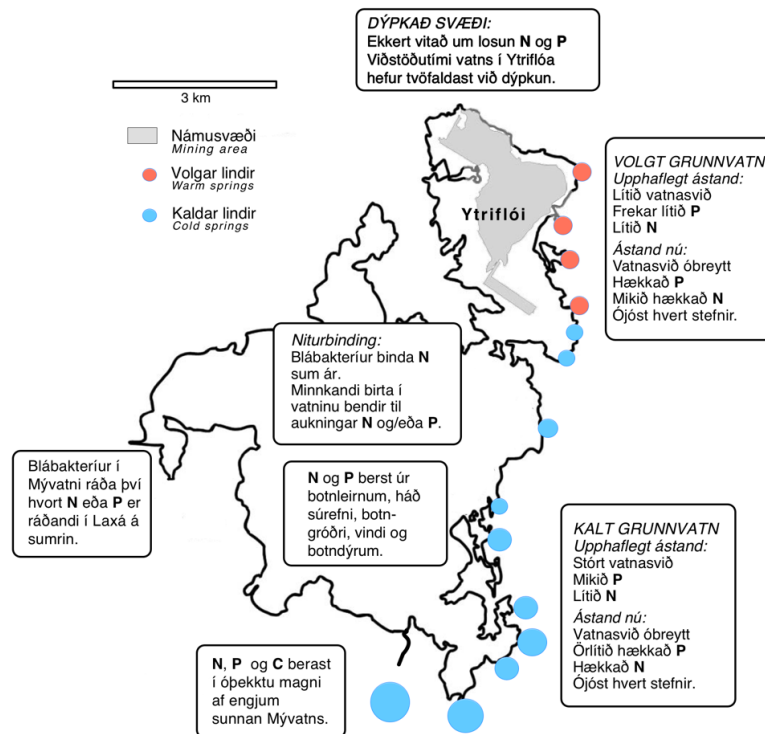
<sup>31</sup> Sjá t.d. Meijer o.fl. 1999.

<sup>32</sup> Meijer o.fl. 1999, Bernes o.fl. 2015.

<sup>33</sup> Gunnar Steinn Jónsson 2016.

<sup>34</sup> Sbr. Jón Ólafsson 1979.

Lindarvatnið er nitursnautt frá náttúrunnar hendi. Grunnvatn við Reykjahlíð, þar sem mesta byggðin er og kísilgúrvinnslan fór fram, er þó talsvert mengað af nitri sem berst með því í



7. mynd. Yfirlit yfir næringarefni og breytingar á þeim í vistkerfi Mývatns og Laxár.

Mývatn. Þorri niturs sem mælist úti í Mývatni sjálfu er þó komið úr andrúmsloftinu fyrir milligöngu blábaktería í vatninu. Mest munar um sviflægar blábakteriur (þ.e. þær sem svífa lausar um í vatninu) og geta náð að fjölga sér mikið. Þegar slíkir blómar myndast binst mjög mikið af nitri í vatninu, og er áætlað að um 200 tonn berist þannig í Mývatn. Um 80 tonn koma frá uppsprettum (1. tafla, 7. mynd).<sup>35</sup>

Töluverður munur er á því lindarvatni sem rennur í Ytri- og Syðriflóa. Styrkur niturs í volgum lindum við Ytriflóa er mun hærri en í köldum lindum við Syðriflóa. Styrkur fosfórs í lindum við Syðriflóa er hins vegar hærri en í lindunum við Ytriflóa. Þetta hefur það í för með sér að 78% af þeim fosfór sem berst í vatnið með lindum rennur í Syðriflóa, en 64% af nitrinu kemur með lindarvatni í Ytriflóa.<sup>36</sup>

Miðað við heildarinnstreymi niturs, 279 tonn á ári, er hlutur blábaktería 71%, linda 24%, landbúnaðar 2%, og íbúa og ferðaþjónustu 1%. Ef niturbindingu blábaktería er sleppt og

<sup>35</sup> Jón Ólafsson 1979.

<sup>36</sup> Gunnar Steinn Jónsson 2016.

aðeins miðað við 80 tonna innstreymi, berast 84% af nitrinu með lindum, 7,5% kemur frá landbúnaði en 3,8% samtals frá íbúum og vegna ferðaþjónustu.

Matið á innstreymi næringarefna í 1. töflu er frá 2016 og sker sig ekki frá fyrra mati frá 1979.<sup>37</sup>

1. tafla. Mat á heildarákomu næringarefna í Mývatni.<sup>38</sup>

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	
Lofthorið á Mývatn (úrkoma og þurrákoma)	0,3		4	
Niturbinding blábaktería í Mývatni			199 <sup>1)</sup>	
<b>Heildarákoma árið 2000</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>279</b>	<b>279</b>

<sup>1)</sup> Mikill breytileiki er í blábakteríublóma milli ára og því getur þessi tala breyst mikið.

Mælingar á næringarefnum í vatni úr einstökum lindum benda til að grunnvatnsmengunar við Ytriflóa hafi þegar verið farið að gæta um 1969 og verið komin fram að fullu fyrir 1980 (8. mynd).<sup>39</sup> Þróun mengunarinnar eftir að kísilgúrvinnslu lauk (2004) er hins vegar óljós og hefur enn ekki verið túlkuð á fullnægjandi hátt (sjá 8. mynd).

Meginmassi lindarvatnsins er í suðurlindunum svo að yfirgnæfandi hluti fosfórsins berst með þeim í Mývatn, og er fosfóraukning í Ytriflóa því hlutfallslega lítil viðbót við heildina. Fosfóraukningin er þó næstum öll í Ytriflóa, en þar sem hann er nokkuð sjálfstætt stöðuvatn hvað rennsli varðar þarf að reikna ákomuaukninguna sérstaklega fyrir hann.<sup>40</sup> Vægi fosfórsins kann einnig að hafa aukist í Ytriflóa við það að rúmmál Ytriflóa hefur tvöfaldast við kísilgúrdælinguna, svo að vatnið í honum endurnýjar sig hægar (á 26 dögum í stað 13 áður).

Næringarefni berast úr vatninu eftir tveimur leiðum, annars vegar með afrennsli í Laxá og hins vegar setjast þau til á botni vatnsins. Megnið fer í Laxá en um 20% af fosfórnum og 26% af nitrinu falla til í botnsetinu. Stór hluti af efnunum berst aftur upp í vatnið eftir að lífveruleifarnar sem innihalda þau hafa rotnað og þannig geta næringarefnin tekið þátt í lífríkisferlunum mörgum sinnum áður en þau fljóta út með Laxá eða grafast í botnsetið til frambúðar. Mest af þeim næringarefnum sem lífríkið í Mývatni nýtir hverju sinni kemur því ekki með lindarvatninu, heldur úr setinu. Þetta er kallað *innri ákoma* og getur ráðið miklu um

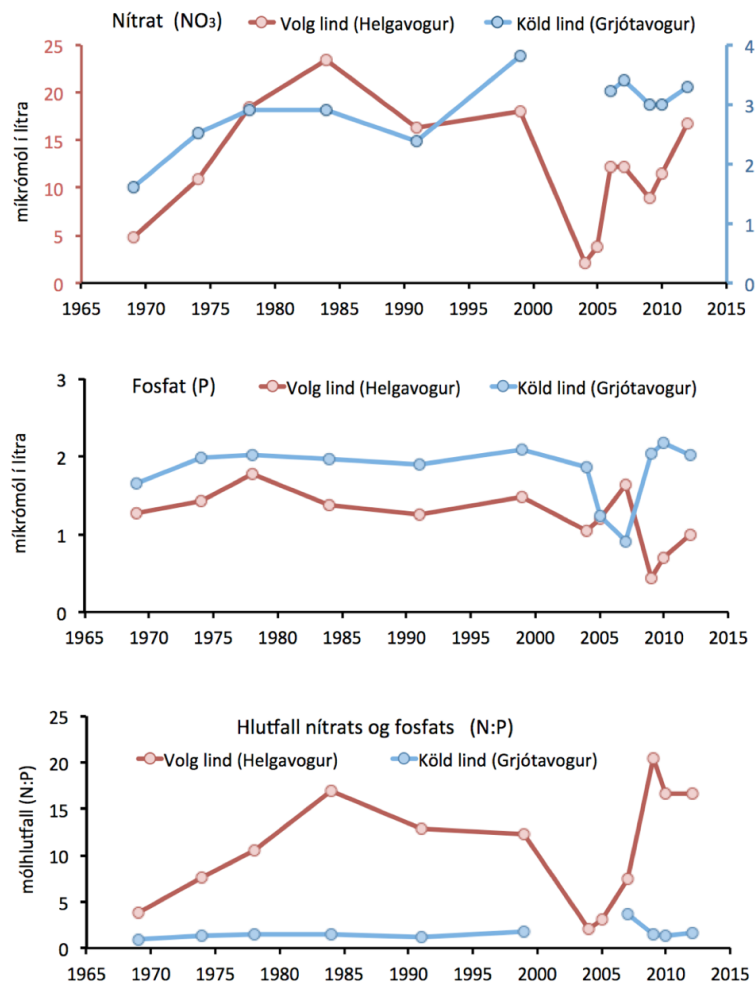
<sup>37</sup> Gunnar Steinn Jónsson 2016.

<sup>38</sup> Gunnar Steinn Jónsson 2016.

<sup>39</sup> Jón Ólafsson 1979, 1991.

<sup>40</sup> Jón Ólafsson (1991) reiknaði ákomuaukningu P í Ytriflóa um 30%.

atburðarás í lífríkinu á hverjum tímapunkti, meðan ytri ákoma (mestmegnis með lindarvatninu) ræður langtímaástandi. Innri ákoma næringarefna er mismikil og mjög háð ytri skilyrðum, einkum súrefnisstyrk við botninn.



8. mynd. Næringarefnin nitur (N) og fosfór (P) og hlutföll efnanna (N:P) í tveimur lindum á bökkum Mývatns 1968–2012. Lindin í Helgavogi er volg lind nærri Reykjahlíð með afrennsli í Ytriflóa; lindin í Grjótavogi er í suðausturhorni Mývatns; hún er köld og hefur afrennsli í Syðriflóa. Starfstími kísilgúrverksmiðjunnar var 1967 til 2004. Hlutfall N og P er miklu hærra í volga vatninu en því kalda (neðsta línuritið) og hefur verið túlkað sem mengun frá kísilgúrvinnslunni. Engar mælingar voru gerðar á lindarvatninu áður en vinnslan hófst. Óreglur eru í mæligildum frá og með 2004 og eru enn óútskýrðar. Í undirbúningi er ný úttekt á næringarefnum í grunnvatninu og stöðlun mæliaðferða.<sup>41</sup>

<sup>41</sup> Mæligildi frá Hafrannsóknastofnun (Unnsteini Stefánssyni, Jóni Ólafssyni og Rósu Ólafsdóttur), Orkustofnun (Halldóri Ármannssyni og Hrefnu Kristmannsdóttur) og Jarðvísindastofnun HÍ (Eydísi Salóme Eiríksdóttur) (Gagnagrunnur RAMÝ).



### Hvað eru blábakteríur?

Þær voru áður þekktar sem blágrænir þörungar, en reyndust vera ljóstillifandi bakteríur þegar betur var að gáð og kallast nú Cyanobacteria, eða blábakteríur. Þær geta náð miklum þéttleika í vötnum og er þá talað um blábakteríublóma. Þar til nýlega var talið að ein tegund myndaði blóma í Mývatni, *Anabaena flos-aquae*. Síðar hefur komið í ljós að tegundirnar eru í það minnsta fjórar. Til að flækja málið hefur verið skipt um nafn á ættkvíslinni í ljósi skoðunar á erfðaeftni og heitir hún nú *Dolichospermum*. Blábakteríur mynda keðjur og margar tegundir geta bundið nitur, og hafa til þess sérhæfðar frumur, en nitursamböndin berast eftir keðjunni til annarra frumna en líka beint út í vatnið. Margar tegundir eru eittraðar og framleiða ýmis eitur sem geta verkað á taugakerfi, lifur og nýru hryggdýra. Tegundirnar í Mývatni eru allar þekktir eiturfremleiðendur. Ekki hafa allir stofnar tegundar gen til að framleiða eitur og jafnvel þótt þeir hafi þau eru genin ekki endilega virk. Ekki er vitað hvort bakteríurnar hér á landi eru eittraðar, og engin dæmi eru þekkt um eitrun hér á landi. Blábakteríur eru yfirleitt ekki éttnar af neinum hryggleysingjum, með einni mikilvægri undantekningu, bitmýslirfum í Laxá. Blábakteríur eru fylgífiskar næringarefnaauðgunar í vötnum, algengt er að þær taki til við niturbindingu þegar þörungar í vatninu hafa gleypst allt tiltækt nitur. Blábakteríurnar verða þá einráðar og halda áfram að vaxa uns fosfór gengur til þurrðar eða þær þrýtur örendið vegna þess að hausta fer með rýrnandi birtu og vaxandi kulda.

(Myndin sýnir blábakteríur úr blóma í Ytriflóa Mývatns sumarið 2015. Vinstra megin er *D. circinalis/curva*, hægra megin er *D. flos-aquae*. Mynd: Árni Einarsson.)

## *Hvaða næringarefni þarf að minnka?*

Spurning er hvort hægt sé að snúa þróuninni í Mývatni til betri vegar með því að minnka flæði næringarefna frá mönnum og starfsemi þeirra. Þá er jafnframt spurt hvort nóg sé að minnka annað þeirra og þá hvort. Þessar spurningar byggjast á því að nitur og fosfór eru oftast talin setja lífrænni framleiðslu skorður.

Framboð af *fosfór* hefur almennt verið talið ráða lífrænni framleiðslu í vötnum, einkum framleiðslu þörungum og blábaktería.<sup>42</sup> Rannsóknir á vötnum víða um heim hafa bent til þess að fosfór frá mannabyggð og búskap sé meginorsök blábakteríublóma.<sup>43</sup> Þetta hefur leitt til takmörkunar á losun fosfórs hvarvetna. Losun *niturs* hefur ekki verið takmörkuð í sama mæli. Það hefur komið á óvart að aukin niturmengun<sup>44</sup> hefur víða leitt af sér ofauðgun þótt búið sé að takmarka fosfórlosun.<sup>45</sup> Jafnframt hafa tilraunir með áburðargjöf í vötn sýnt að nitur og fosfór saman valda oft meiri aukningu á þörungamagni en annað hvort efnið eitt og sér.<sup>46</sup>

Hin hefðbundna ársframvinda á grósku í Mývatni er talin sú, að kísilþörungar taka að vaxa á vorin þar til nitur gengur til þurrðar. Þá taka blábakteríur við, því að þær geta bundið nitur og fjölgað sér uns fosfórin klárast.<sup>47</sup> Á haustdögum losnar um næringarefnin þegar blábakteríurnar drepast og kemur þá annar kísilþörungatoppur.<sup>48</sup> *Það er því bundið árstíma hvort næringarefnanna, N eða P, ræður för.*

En þá er ekki er öll sagan sögð. Í Mývatni koma tímabil á nokkurra ára fresti þar sem vatnið er frekar tært og þörungar ríkja í svifinu. Á milli eru tímabil með mjög gruggugu vatni út af þéttum blóma af blábakteríum. Þegar blábakteríublómar kvikna ekki, hamlar niturskortur frumframleiðslunni fram undir haust. Vatnið er þá tært, en í því eru þó ýmsar gerðir svifþörungum sem lifa á því litla sem þó er tiltækt af næringarefnum (8. mynd). *Það er því bæði árstíða- og áramunur á framvindu þörungum- og bakteríusvifsins í Mývatni og sambandi þess við næringarefnin. Stundum ræður N förinni en annars P.*

Hlutfall N og P getur oft ráðið því hvort þörungar eða blábakteríur verða ríkjandi. Hlutfallslega mikið N miðað við P leiðir gjarnan til þörungavaxtar, en lítið af N miðað við P til blábakteríuvaxtar. Þetta er talin almenn vitneskja,<sup>49</sup> en enn hefur ekki náðst breið samstaða í vísindaheiminum um orsakir blábakteríublóma, m.a. um þátt niturs í ferlinu.

---

<sup>42</sup> T.d. Schindler 1977.

<sup>43</sup> Paerl o.fl. 2014, Schindler 1975, Smith 1983.

<sup>44</sup> Howarth o.fl. 2012.

<sup>45</sup> Paerl o.fl. 2014, einnig Lewis o.fl. 2011.

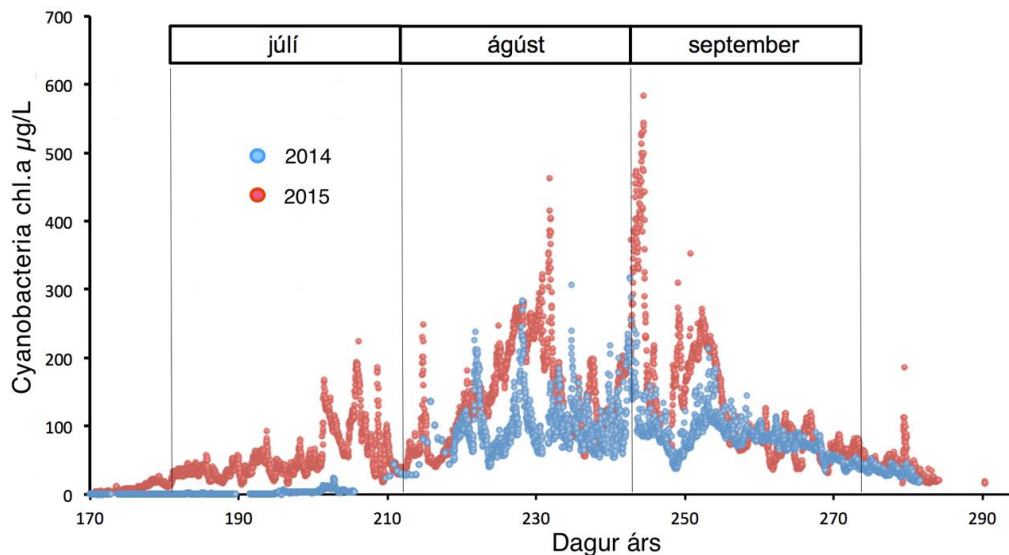
<sup>46</sup> Lewis og Wurtsbaugh 2008; Lewis o.fl. 2011. Sjá þó Wang og Wang 2009.

<sup>47</sup> Jón Ólafsson 1979.

<sup>48</sup> Pétur M. Jónasson og Hákon Aðalsteinsson 1979.

<sup>49</sup> Sjá þó dæmi frá Loch Neagh, sem er stórt, grunnt, mý- og fuglavatn á Norður-Írlandi þar sem nitur virðist hafa ráðið mestu um versnandi vatnsgæði þótt vatnasviðið væri auðugt að fosfór (Bunting o.fl. 2007).





9. mynd. Framvinda blábakteríublóma í Mývatni 2014 og 2015. Bæði árin var hann með almesta móti. Blóminn hófst snögglega í lok júlí 2014. Mælikvarðinn er magn a-blaðgrænu í míkrogrömmum í lítra.

Útreikningar með hliðsjón af aðstæðum í Mývatni sýna að á breiðu bili næringarefnahlutfalla getur tilviljun ráðið því hvort sviflægir grænþörungar eða blábakteríur ná yfirhöndinni í vatninu.<sup>50</sup> Ef grænþörungasvif nær að hefja leikinn á vorin gæti það hindrað blábakteríurnar að komast að, og öfugt. Breyting á aðstæðum þaðan í frá getur hins vegar snúið útkomunni við, t.d. ef stormur kemur straumum af stað. Kortlagning svifgróðurs í Mývatni árið 2012, en þá var ekki blábakteríublómi, sýnir til dæmis að blábakteríur voru samt í vatninu á vissum svæðum (10. mynd). Við þær aðstæður ættu blábakteríur hæglega að geta breiðst út um allt Mývatn, þótt ekki yrði af því í það sinn.

Taka þarf tillit til þess að *innri ákoma* næringarefna í vötn er mikil og botnleirinn geymir oft forða næringarefna sem hefur safnast þar upp vegna mengunar fyrri ára eða áratuga. Það gæti átt við Mývatn því að á dögum námuvinnsunnar barst mikið magn næringarefna í það. Þau efni voru áður bundin djúpt í setlögnum en losnuðu við vinnsluna og komust í lífkeðjuna.<sup>51</sup>

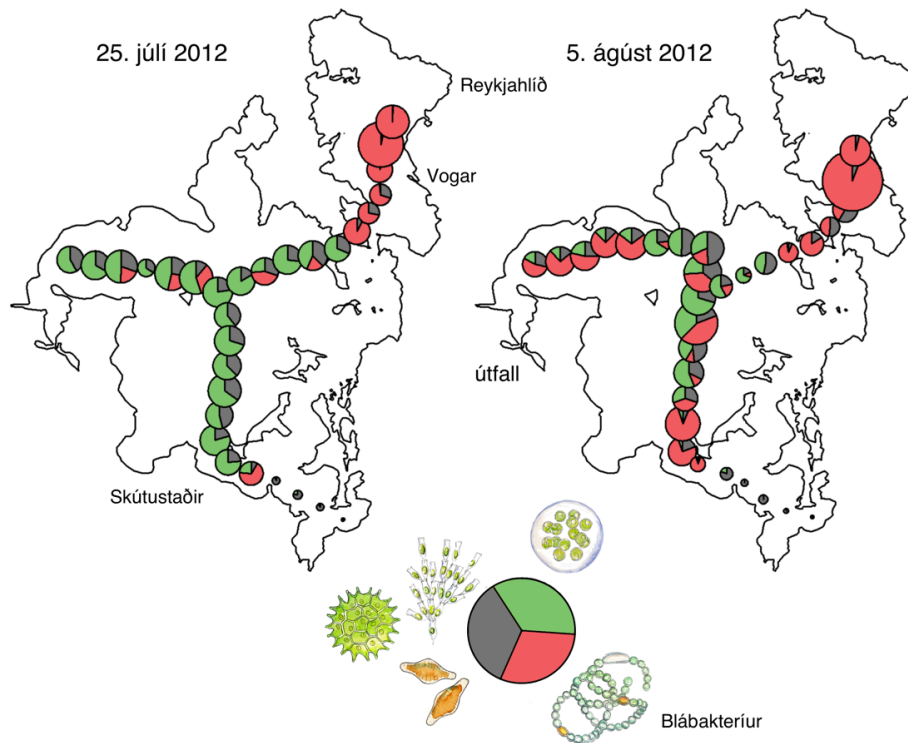
Fræðilega séð getur fosfórstyrkur verið langt fyrir ofan það sem vatnalífið hefur undan að nýta. Þá væri fosfór ekki takmarkandi næringarefni, og lítils háttar lækkun hefði engin áhrif. Mælingar benda þó til þess að fosfór geti verið takmarkandi í Mývatni,<sup>52</sup> en blábakteríublómar undanfarinna ára standa langt fram á haust og má vera að minnkandi birta og lækkandi hitastig hafi ráðið meiru um lok þeirra en skortur á fosfór (9. mynd). Hröð endurnýjun vatnsins og samkeppni um birtu þegar blóminn þekur vatnsyfirborðið gæti einnig stöðvað vöxt blómans í Mývatni áður en skortur á fosfór fer að segja til sín.<sup>53</sup>

<sup>50</sup> Anthony R. Ives, óbirt reiknilíkan.

<sup>51</sup> Jón Ólafsson 1979, 1991.

<sup>52</sup> Jón Ólafsson 1979, bls. 111.

<sup>53</sup> Anthony Ives, óbirt reiknilíkan.



10. mynd. Þegar lítið er af blábakteríum í Mývatni er unnt að sjá hvar þær þrífast helst. Þannig var sumarið 2012 þegar magn sviflífvera var kortlagt á sniðum eftir Mývatni þveru og endilöngu. Voru blábakteriur hlutfallslega flestar í norðausturhluta vatnsins (Ytriflóa) og við Skútustaði. Einnig voru þær áberandi við útfall vatnsins þar sem straumsins úr Ytriflóa gætir. Skýringar: Hlutföll blábaktería (rautt), *Oocystis* (grænþörungur, grænt) og annarra svifþörunga (grátt) í sýnum á rannsóknasniðum í Mývatni í júlí og ágúst sumarið 2012.<sup>54</sup>

Blómar blábaktería hafa komið með nokkuð reglulegu millibili og standa í tvö til þrjú ár í röð (2. mynd). Skyggni á tímabilunum milli blómanna hefur smám saman versnað. Síðastliðin 13 ár hefur meðalskyggni í júlí og ágúst í vatninu aldrei verið til botns í Syðriflóa. Á fyrri blómalausum tímabilum var vatnið mun tærara (2. mynd).

Blábakteriurnar hafa mikil áhrif á frumframleiðslu í Mývatni. Meðalframleiðsla plöntu- og bakteríusvifsins 1971–1976 var 118 g kolefni/fermetra/ári. Ef ekki væri um að ræða niturnám vegna blábaktería í vatninu væri meðalframleiðslan svipuð og í næringarsnaudum íslenskum vötnum, eða 20–30 g kolefni/fermetra/ári.

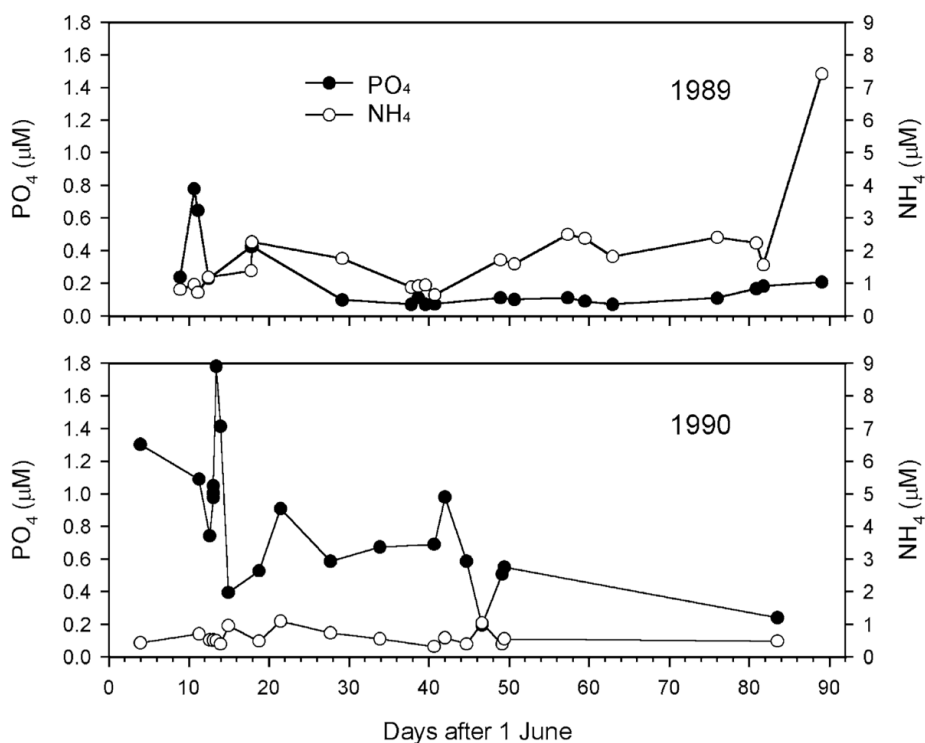
Mælingar sem gerðar hafa verið á styrk næringarefna í Syðriflóa og í útfalli vatnsins, teknar á tímabilinu maí til október árin 1971–2000, sýna að í 40% tilfella var styrkur niturs það lágur að hann takmarkaði vöxt þörunga. Þetta er hins vegar óalgengt hvað varðar fosfór þar sem

<sup>54</sup> Bartrons o.fl. 2015.

aðeins 5% sýnanna voru í svo lágum styrk að hann hefði takmarkandi áhrif á vöxt þörungna.<sup>55</sup> Mælingar árin 1989 og 1990 sýndu mikinn mun á hlutföllum niturs og fosfórs í vatninu eftir

því hvort blábakteríublómi var eða ekki. Seinna árið var ekki bakteríublómi og þá gekk nitur til þurrðar en ekki fosfór (11. mynd).<sup>56</sup>

Ljóst er að munur milli ára í næringarefnastyrk í Mývatni er tengdur blábakteríunum en er ekki tilkominn vegna þess að lindarvatnið hafi breyst. Vinnutilgátur fræðimanna um hinar miklu sveiflur blábakteríanna í Mývatni eru að mýlirfur og/eða hornsíli hafi í krafti fjöldans veruleg áhrif á framboð fosfórs í vatninu, og geti þannig „kveikt eða slökkt” á blábakteríublómanum. Þessar tilgátur verða ekki úndaðar frekar hér, en nýleg fækkun í hornsílastofninum gefur óvænt tækifæri til að rannsaka áhrif sílanna. Þetta þýðir ekki að næringarefnin í lindarvatninu skipti ekki máli, – hátt næringarstig og geta Mývatns til að halda uppi þéttum blábakteríublóma er einmitt vegna þeirra.



11. mynd. Næringarefni í Syðriflóa Mývatns 1989 og 1990. Blábakteríublómi myndaðist fyrra árið. Þá var styrkur P lægri en styrkur N, sem bendir til að P hafi gengið til þurrðar. Árið 1990 snerist dæmið við og gögnin bentu til N-takmörkunar.<sup>57</sup>

Áratuga mælingar á gegnsæi vatnsins benda til þess að tæru bakteríulausu tímabilin verði sífellt gruggugri (2. mynd). Það bendir til sífellt meiri grósku svifþörungna og má taka sem

<sup>55</sup> Gunnar Steinn Jónsson 2016.

<sup>56</sup> Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir 1991, Árni Einarsson o.fl. 2004.

<sup>57</sup> Gögn frá Sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir (1991).

vísbendingu um að niturmagn fari e.t.v. vaxandi á tæru tímabilunum.<sup>58</sup> Slíkt gæti þá annað hvort verið afleiðing beinnar niturmengunar eða aukinnar niturbindingar blábaktería (á tæru tímabilunum, sbr. 10. mynd, eða uppsafnað eftir síðasta blábakteríublóma).

Einföld mynd af því sem hér hefur verið dregið á gæti verið eftirfarandi: *Aukning niturs* í Mývatni myndi leiða til meiri svifþörungum og minni birtu á tæru tímabilunum (sem væru þá ekki svo tær lengur). *Bein fosfóraukning* í lindarvatninu myndi hafa í för með sér aukinn blábakteríuvöxt á þeim árum sem bakteríurnar ná sér á strik á annað borð, og það skilaði sér líka sem nituraukning í vatninu.

Þetta þýðir í stuttu máli, að ekki eru forsendur til annars en hreinsa bæði fosfór og nitur úr frárennsli. Bæði efnin gegna lykilhlutverki, á mismunandi hátt eftir tímabilum, og að auki þarf að hafa í huga mögulega samverkun þessara áburðarefna. Við allar ákvarðanir þarf að hafa í huga að hinir mikilvægu efna- og eðlisfræðilegu ferlar ofan í leirbotni stöðuvatna eru hvergi í heiminum þekktir til hlítar. Þeir eru síkvikir og sjaldan alveg fyrirsjáanlegir.

---

<sup>58</sup> Það gæti líka hugsanlega þýtt að svifkrabbadýrum hafi fækkað, en þau nærast á þörungunum og gætu náð að grisja þörungastofninn.

## **IV. Mögulegar aðgerðir til að draga úr ofauðgun næringarefna og bæta ástand Mývatns og Laxár**

### **Frárennsli**

Á sjö stöðum við Mývatn, þ.e. Dimmuborgum, Geiteyjarströnd, Grímsstöðum, Skútustöðum, Vogum, Jarðbaðshólum og Reykjahlíð, er fjöldi íbúa og/eða gesta nægilegur til þess að fjöldi persónueininga vegna frárennslis nái 50 persónueiningum, sem eru þau mörk sem sett eru í reglugerð um ítarlegri hreinsun frárennslis, þ.e. hreinsun á fosfór og nitri. Ýmist er um að ræða losun íbúaskólps eða losun frá atvinnustarfsemi, aðallega hótélrekstri.

Skútustaðahreppur á og rekur fráveitukerfi í Reykjahlíðarþorpi. Kerfið þjónustar íbúðabyggðina og aðra þjónustustarfsemi í þorpinu, þar með talin hótelin Reynihlíð og Reykjahlíð. Kerfið samanstendur í dag af lagnakerfi sem tengt er níu rotþróm sem taka við skólpi frá byggðinni og eru sumar af þessum rotþróm tengdar siturlögnum. Í Reykjahlíðarþorpi eru lögð á fráveitugjöld, skv. heimildum í lögum og reglugerðum. Annarsstaðar í sveitinni eru rotþrær í eigu og á ábyrgð rekstraraðila og íbúa. Frá árinu 2012 hefur eitt stórt hótél hafið starfsemi í Skútustaðahreppi, Hótél Laxá. Þar er til staðar þriggja þrepa hreinsibúnaður sem rekstraraðilar hótelsins eiga og reka.

Við Skútustaði er nokkur byggð og starfrækt bæði umtalsverð ferðaþjónusta og landbúnaður. Þar eru rekin tvö hótél ásamt tveim gistiheimilum. Þar eru einnig rekin kúabú, sauðfjárþú og matvælaframleiðsla/reykhús. Við Skútustaði eru rotþrær í eigu og á ábyrgð íbúa. Unnið er að lausn mála varðandi Sel-Hótél Mývatn og eru áform um að taka í notkun hreinsibúnað haustið 2016.

Í Vogum er nokkur byggð auk þess sem ferðaþjónusta hefur byggst þar upp undanfarin ár. Í Vogum er nokkur landbúnaður stundaður, m.a kúabú og sauðfjárþúskapur, og þar er einnig rekin ferðaþjónusta í Vogafjösi og Vogahraun rekur tjaldstæði og gistiheimili. Skólp í Vogum er losað í rotþrær.

Á Geiteyjarströnd er rekin ferðaþjónusta og einnig nokkuð umfangsmikil matvælaframleiðsla/reykhús. Skólp er losað í rotþrær.

Í Dimmuborgum er rekinn veitingastaður og almenningssalerni. Skólp er losað í rotþró.

Í Jarðbaðshólum í Bjarnarflagi eru Jarðböðin við Mývatn með starfsemi. Þar er rekinn baðstaður auk veitingastaðar. Skólp er losað í rotþró en affallsvatni úr baðlóninu dælt niður í holu, um 100 metra djúpa.

Vorið 2016 hófust framkvæmdir við hótélbyggingu í landi Grímsstaða. Þar verður hafður hreinsibúnaður sem rekstraraðilar munu eiga og reka

Fram kemur í minnisblaði Umhverfisstofnunar til Sveitarstjórnar Skútustaðahrepps, dags 7. 10.2014, að í þéttbýli og frá atvinnustarfsemi sem losar meira en 50 persónueiningar skal hreinsa skólp með ítarlegri hreinsun, þ.e. hreinsun á fosfór og nitri. Sveitarfélagið ber ábyrgð á uppbyggingu og rekstri fráveitu í þéttbýli og skal sjá til þess að hreinsun frá atvinnustarfsemi sem losar meira en 50 persónueiningar sé með fullnægjandi hætti í samræmi við lög um uppbyggingu og rekstur fráveitna nr. 9/2009. Krafan um ítarlegri hreinsun miðast

við að lækkun heildarstyrks fosfórs og niturs nemi að lágmarki 80% fyrir fosfór og 70% fyrir nitur samanborið við styrk efnanna í óhreinsuðu skólpi. Möguleiki er fyrir sveitarfélagið að gera mismunandi kröfur til skólphreinsistöðva ef markmiði um 75% heildarlækkun niturs og fosfórs í öllu skólpi sem koma skal til hreinsunar á svæðinu er náð, að undangenginni umsögn Umhverfisstofnunar. Sveitarfélagið gerir kröfur til þeirra sem hyggja á uppbyggingu reksturs sem losar meira en 50 persónueiningar að þeir komi sér upp hreinsibúnaði skólps sem uppfyllir framangreindar kröfur.

Gerð hefur verið skýrsla af verkfræðistofunni EFLU um hreinsibúnað í Reykjahlíð. Þar er gert ráð fyrir að íbúum fjölgi úr 200 í 300. Með ferðamönnum miðast hönnunin við 500 persónueiningar. Hefðbundin kostnaðaráætlun við hreinsistöðina og lagna- og dælukerfið hljóðar upp á 200 milljónir króna. Að teknu tilliti til reynslu frá mjög svo sambærilegum verkefnum hér á landi er það þó mat ráðgjafa að rétt sé að miða við að kostnaður við verkefnið endi á bilinu 250-325 milljónir króna. Áfangaskipta má framkvæmdum þannig að kostnaður dreifist á 5-10 ár en byggingu hreinsistöðvarinnar sjálfrar er ekki hægt að áfangaskipta nema að litlu leyti svo meirihluti kostnaðarins fellur til í upphafi. Rekstrarkostnaður kerfisins er fólgin í orkukostnaði, viðhaldskostnaði, launakostnaði og aðkeyptri þjónustu. Hann er metinn vera 5-8 milljónir króna á ári fyrstu 10 árin eða svo en aukist síðan í um 7-10 milljónir á ári þegar endurnýjun búnaðar byrjar að einhverju ráði.

Ekki hefur verið ráðist í hönnun eða kostnaðarmat á á framangreindum stöðum að koma upp sambærilegri veitu og í Reykjahlíð sem uppfylla á kröfur um þriggja þrepa hreinsun.

## **Landbúnaður**

Í starfsreglum Umhverfisstofnunar um góða búskaparhætti er umfjöllun um útskolun áburðarefna frá landbúnaði og aðstæður sem geta aukið útskolun. Útskolun fer eftir því hvenær áburði er dreift og hvort gróður er tilbúinn að nýta næringarefnin. Miklu máli skiptir hve mikið er borið á og þarf þá að taka tillit til mismunandi efnainnihalds ólíkra áburðartegunda. Fosfór skolast ekki eins auðveldlega af túnum og nitur því hann binst tiltölulega fast í jarðvegi. Ofbeit, einkum á haustin, og of þéttur jarðvegur leiða til aukinnar útskolunar á nitri.

Losun getur einnig orðið frá gripahúsum og haughúsum og öðrum geymslustöðum fyrir búfjáráburð. Hauggeymslur þurfa að vera nógu stórar til þess að rýma mestu hugsanlegu birgðir, velja þarf staðsetningu þeirra m.t.t. fjarlægðar frá yfirborðsvatni og þéttleiki þeirra þarf að vera nægilegur til að tryggja að ekki leki frá þeim út í umhverfið. Í reglugerð nr. 804/1999, um varnir gegn mengun vatns af völdum nitursambanda frá landbúnaði og öðrum atvinnurekstri, kemur fram að við gripahús skuli vera vandaðar og þéttar hauggeymslur og að stærð hauggeymslu þurfi að miða við að hægt sé að nýta hauginn sem áburð á skynsamlegan hátt þegar jörðin getur tekið við honum eða taka a.m.k. sex mánaða haug. Almennur frestur til þess að uppfylla þetta ákvæði á búum var gefinn til ársins 2009, en fresturinn gildi til ársins 2015 á kúabúum.

Aðgerðir til þess að draga úr losun áburðarefna frá landbúnaði gætu verið að:

- Útbúa leiðbeiningar fyrir bændur um áburðarnotkun og hugsanlega setja reglur um notkunina.
- Gera úttekt á ástandi haughúsa á búum við Mývatn, sem hægt væri að fylgja eftir með átaki í úrbótum þar sem það á við.

## V. Bætt vöktun, rannsóknir og upplýsingagjöf – mögulegar umbætur

Eftirfarandi eru tillögur sem miða að eflingu vöktunar, rannsókna og upplýsingagjafar um ástand Mývatns og Laxár og þróun mála varðandi lífríki og vistkerfi þar.

### 1. Lýsing ástands

- a. Unnið verði með hraði úr sýnum sem tekin hafa verið af lífríki Mývatns undanfarin ár en ekki hefur náðst að fullvinna vegna fjárskorts. Öllum lífríkissýnum verði síðan komið í varanlega geymslu.
- b. Næringarefni í grunnvatni verði kortlögð sem víðast í lindum og borholum (m.a. holum ofan við mannabyggðina), einnig í hliðstæðum kerfum annars staðar (Krákárlækjum, Sortulæk og lindum við Svartárvatn, Lón og Víkingavatn). Árstíðabreytingar verði kannaðar á völdum stöðum, einnig ofan byggðarinnar.
- c. Næringarefnastyrkur í vatnsbol Ytriflóa verði kortlagður í tíma og rúmi.
- d. Yfirlitsrannsókn verði gerð á blábakteríum í Mývatni og nærliggjandi vötnum, meðal annars verði eiturefni og geta bakteríanna til að framleiða þau könnuð.

### 2. Rannsóknir

- a. Rannsóknarými við Mývatn verði aukið og geta til að sinna tilraunum með vatn, set og lífverur.
- b. Losun næringarefna úr botnseti Mývatns verði rannsökuð sérstaklega, einkum áhrif mýlirfu- og þörungamottunnar á flæði þeirra.
- c. Rannsakað verði sérstaklega þörungasvif, blábakteríur og samskipti þeirra við næringarefni og dýrasvif (*Daphnia*) í árum sem blábakteríublómar eru ekki.
- d. Gert verði líkan af næringarefnaflæði í Mývatni þar sem flæði efnanna milli vatns og botns og áhrif fiska verði sérstaklega gaumgæfð.
- e. Niturbinding í Mývatni verði mæld yfir nokkurra ára tímabil.
- f. Gert verði reiknilíkan af vexti blábakteríublóma (“leirlosi”) í Mývatni.
- g. Ítarleg fyrirliggjandi gögn úr bleikjurannsóknum verði greind tölfraðilega.
- h. Ítarleg fyrirliggjandi gögn úr hornsílarannsóknum verði greind tölfraðilega.
- i. Hrip næringarefna í jarðvegi við Mývatn verði metið með tilraunum.
- j. Lífsskilyrði kúluskíts verði rannsökuð í vötnum þar sem hann finnst enn (t.d. Kringluvatni).

- k. Næringarefnaflæði tengt kvikfjárrækt og fiskvinnslu verði metið sérstaklega.
- l. Útbúa þarf rennslislykil til þess að meta rennsli úr Mývatni miðað við mælt rennsli við Helluvað.
- m. Mæla þarf rennsli einstakra lindasvæða í Ytri- og Syðriflóa vegna þess að mikill munur er á milli þeirra.
- n. Ákoma næringarefna í Ytriflóa verði metin sérstaklega og reynt að mæla flæði efna úr námuskurðunum.
- o. Gerðar verði 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.
- p. Reikna má með að fleiri varasöm efni en nitur og fosfór komi við sögu í frárennsli frá mannabyggð og starfsemi. Vert væri að afla fróðleiks um hver þau gætu verið, hættuna sem af þeim kynni að stafa og hvernig brugðist er við henni.
- q. Ítarleg fyrirliggjandi gögn um húsandarstofninn verði greind tölfræðilega, en sá stofn er mjög háður ástandi vatnakerfis Mývatns og Laxár, jafnt sumar sem vetur.

### **3. Vöktun**

- a. Komið verði á árlegri vöktun næringarefna í grunnvatni á völdum stöðum (með hliðsjón af kortlagningu efnanna og hugsanlegri staðsetningu skólpestöðvar) og í útföllum Mývatns og Grænavatns.
- b. Vöktun lífríkis verði efld þannig að unnt verði að gera mælingar úti á vatninu með fullnægjandi yfirferð og tíðni og að fullvinna megi sýni jafnóðum (næringarefni, ljós, þörungar, framleiðsla í svifi og á botni, svif- og botnkrabbar, mýlirfur). Vöktunin taki líka til Ytriflóa.
- c. Virkt eftirlit verði með núverandi og væntanlegum hreinsibúnaði. Æskilegt væri að setja upp rennslismæla á vatn við nokkrar skólphreinsistöðvar þéttbýliskjarna og helstu ferðaþjónustustaði (og stærstu hótél) og einnig mælibrunna til reglulegrar sýnatöku á frárennsli.
- d. Tekin verði upp vöktun urriða í Laxá og vöktun á riðastöðvum bleikju í Mývatni.
- e. Binding næringarefna í seti verði metin reglulega.
- f. 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 henni.
- g. Setja þarf upp loftgæðamæla til þess að mæla loftborna þurrákomu (svifryk, NO<sub>x</sub> og NH<sub>4</sub>) vegna langt aðborinnar mengunar, umferðar og starfsemi. Huga þarf einnig að H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>.
- h. Koma þarf á langtíma mælingum á efnainnihaldi í úrkomu.
- i. Stofna þarf vettvang þar sem hagaðilar koma saman til að fjalla um niðurstöður vöktunar.



## Heimildir

Árni Einarsson, Arnþór Garðarsson, Gísli Már Gíslason og A.R. Ives 2002. Consumer-resource interactions and cyclic population dynamics of *Tanytarsus gracilentus* (Diptera: Chironomidae). *Journal of Animal Ecology* 71: 832-845.

Árni Einarsson 2003. Vatnagróður í Ytriflóa Mývatns. Náttúruannsóknastöðin við Mývatn, skýrsla. 18. bls.

Árni Einarsson og Marianne Jensdóttir 2003. The lake balls. Náttúrufræðingurinn (Natural History Magazine, Reykjavík) 71, 34-39 (in Icelandic, English summary).

Árni Einarsson og Erla Björk Örnólfsdóttir 2004. Long-term changes in benthic Cladocera populations in Lake Myvatn, Iceland. *Aquatic Ecology* 38: 253-262.

Árni Einarsson, Gerður Stefánsdóttir, Helgi Jóhannesson, Jón S. Ólafsson, Gísli Már Gíslason, Wakana I., Guðni Guðbergsson og Arnþór Garðarsson 2004. The ecology of Lake Myvatn and the River Laxá: Variation in space and time. *Aquatic Ecology* 38: 317-348.

Árni Einarsson, Arnþór Garðarsson, Gísli Már Gíslason og Guðni Guðbergsson 2006. Populations of ducks and trout of the River Laxá, Iceland, in relation to variation in food resources. *Hydrobiologia* 567: 183-194.

Árni Einarsson 2010. Fæðuvefur Mývatns. Náttúrufræðingurinn 79: 57-67.

Árni Einarsson 2014. The lake balls of Mývatn. In memoriam. Náttúruannsóknastöðin við Mývatn. Skýrsla, 66 bls.

Arnþór Garðarsson, Árni Einarsson, Erlendur Jónsson, Gísli Már Gíslason, Haraldur Rafn Ingvason, Jón S. Ólafsson og Þóra Hrafnisdóttir 2000. Stofnvísitölur mýflugna í Mývatnssveit í tuttugu ár, 1977-1996. Náttúruannsóknastöðin við Mývatn, fjölrit 5.

Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson 2004. Resource limitation of diving ducks at Myvatn: food limits production. *Aquatic Ecology* 38: 285-295.

Arnþór Garðarsson, Árni Einarsson, Gísli Már Gíslason, Þóra Hrafnisdóttir, Haraldur R. Ingvason, Erlendur Jónsson og Jón S. Ólafsson 2004. Population fluctuations of chironomid and simuliid Diptera at Myvatn in 1977-1996. *Aquatic Ecology* 38: 209-217.

Arnþór Garðarsson 2006. Temporal processes and duck populations: examples from Mývatn. *Hydrobiologia* 567: 89-100.

Bartrons, M., Árni Einarsson, Nobre, R.L.G., Herren, C.M., Webert, K.C., Brucet, S., Sólveig R. Ólafsdóttir og Ives, A.R. 2015. Spatial patterns reveal strong abiotic and biotic drivers of zooplankton community composition in Lake Mývatn, Iceland. *Ecosphere* 6(6):105: 1-20.

Bengtson, S.-A. 1971. Variations in clutch-size in ducks in relation to the food supply. *Ibis* 113: 523-526.

Bernes, C. o.fl. 2015. What is the influence of a reduction in planktivorous and benthivorous fish on water quality in temperate eutrophic lakes? A systematic review. *Environmental Evidence* 4: 13.

Bunting, L., Leavitt, P.R., Gibson, C.E. McGee, E.J. og Hall, V.A. 2007. Degradation of water quality in Lough Neagh, Northern Ireland, by diffuse nitrogen flux from a phosphorus-rich catchment. *Limnol. Oceanogr.* 52: 354-369.

Gísli Már Gíslason 1991. Lífið í Laxá. Bls. 218-235 í: Náttúra Mývatns. Ritstj. Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.

- Gísli Már Gíslason 1994. River management in cold regions: a case study of the River Laxá, North Iceland. Bls. 464-483 í: *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles*. 2. Bindi. Ritstj. P. Calow og G.E. Petts. Blackwell, Oxford.
- Gísli Már Gíslason, Ásgrímur Guðmundsson og Árni Einarsson 1998. Population densities of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in a shallow lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 2244-2250.
- Gísli Már Gíslason og Vigfús Jóhannsson 1991. Effects of food and temperature on the life cycle of *Simulium vittatum* Zett. (Diptera: Simuliidae) in the River Laxá, N-Iceland. *Verh. int. Verien. Limnol.* 26: 2244-2250.
- Guðni Guðbergsson 2004. Arctic charr in Lake Myvatn: The centennial catch record in the light of recent stock estimates. *Aquatic Ecology* 38: 271-284.
- Guðni Guðbergsson 2014. Silungurinn í Mývatni. Yfirlit yfir rannsóknir og veiðitölur 1986–2013. Veiðimálastofnun, skýrsla VMST/14014.
- Gunnar Steinn Jónsson 2016. Mývatn – ákoma og afrennsli. Skýrsla tekin saman fyrir umhverfis- og auðlindaráðuneytið.
- Hauptfleish U. 2012. High Resolution Palaeolimnology of Lake Mývatn, Iceland. Doktorsritgerð, Háskóli Íslands Jarðvísindadeild..
- Hilt, S. o.fl. 2006. Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes – A guideline and state of the art in Germany. *Limnologica* 36: 155-171.
- Howarth R.W., Swaney D.P., Billen G. o.fl. 2012. Nitrogen fluxes from large watersheds to coastal ecosystems controlled by net anthropogenic nitrogen inputs and climate. *Front. Ecol. and the Environ.* 10: 37–43.
- Ives, A.R., Árni Einarsson, V.A.A. Jansen og Arnþór Garðarsson 2008. High-amplitude fluctuations and alternative dynamical states of midges in Lake Myvatn. *Nature* 452: 84-87.
- Jeppesen, E. o.fl. 2005. Lake restoration and biomanipulation in temperate lakes: relevance for subtropical and tropical lakes. Í M.V. Reddy (ritstj.) *Restoration and Management of Tropical Eutrophic Lakes*.
- Jón Ólafsson 1979. The chemistry of Lake Mývatn and River Laxá. *Oikos* 32: 82-112.
- Jón Ólafsson 1991. Undirstöður lífríkis í Mývatni. Í: Náttúra Mývatns. Ritstjórar Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson. Hið íslenska náttúrufræðifélag. Reykjavík. Bls. 141-165.
- Lewis, W.M. og Wurtsbaugh, W.A. 2008. Control of lacustrine phytoplankton by nutrients: Erosion of the phosphorus paradigm. *Internat Rev. Hydrobiol.* 93: 446-465.
- Lewis, W.M., Wurtsbaugh, W.A. og Paerl, H.W. 2011. Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus in inland waters. *Environ. Sci. Technol.* 45(24): 10300-5.
- Marianne Jensdóttir 2003. Green algal beds (Cladophorales) as a habitat for the benthic cladoceran *Eurycercus lamellatus*. Bls. 202 – 205 í: Ruoppa M. o.fl.. (ritstj.): How to assess and monitor ecological quality in freshwaters. *TemaNord* 2003:547.
- Marianne Jensdóttir 2005. Grænþörungabreiður (Cladophorales) sem búsvæði fyrir hryggleysingja í Mývatni. MS ritgerð líffræðiskor Háskóla Íslands. Reykjavík.
- Meijer, M.-L. o.fl. 1999. Biomanipulation in shallow lakes in The Netherlands: an evaluation of 18 case studies. *Hydrobiologia* 408/409: 13-30.
- Paerl o.fl. 2014. Controlling cyanobacterial blooms in hypertrophic Lake Taihu, China: Will nitrogen reductions cause replacement of non-N<sub>2</sub> fixing by N<sub>2</sub> fixing taxa?

Pétur M. Jónasson og Hákon Aðalsteinsson 1979. Phytoplankton production in shallow eutrophic Lake Mývatn, Iceland. *Oikos* 32: 113-138.

Schindler D.W. 1975. Whole-lake eutrophication experiments with phosphorus, nitrogen and carbon. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 19: 3221-3231.

Schindler, D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195: 260-262.

Sérfræðinganevnd um Mývatnsrannsóknir 1991. Áhrif Kísiliðjunnar hf. á lífríki Mývatns. Umhverfissráðuneytið, skýrsla.

Smith V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science* 221: 669-671. doi: 10.1126/science.221.4611.669

Smith V.H., Tilman G.D. og Nekola J.C. 1999. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196.

Wang H. og Wang, H. 2009. Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science* 19: 1445-1451.