

Mat á áhrifum starfsemi Kísiliðjunnar á vistkerfi Mývatns

**Skýrsla alþjóðlega matshópsins
sem skipaður var af iðnaðarráðuneytinu**

Hjörtur Pálsson þýddi úr ensku

Apríl 2000

*Mat á áhrifum starfsemi Kísiliðjunnar
á vistkerfi Mývatns*

*Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti
Apríl 2000*

ISBN 9979-871-40-7

Forsíðumyndin er hönnuð af Auglýsingastofu Reykjavíkur. Hún sýnir tímaglas með mynd af Mývatni að sumarlagi í efri hluta og sömu mynd speglaða í haustlitum í neðri hluta.

Formáli iðnaðarráðherra

Kísiliðjan hefur starfað í um aldarþriðjung. Ekki er nokkrum blöðum um það að fletta að verksmiðjan hefur gríðarlega efnahagslega þýðingu fyrir Mývatnssveit og nærliggjandi sveitarfélög. Allan starfstíma hennar hefur hins vegar staðið mikill styrk um reksturinn. Stafar það af því að Kísiliðjan vinnur hráefni sitt úr setlögum á botni Mývatns en ekki er vitað til þess að hliðstæð vinnsla fari fram annars staðar í heiminum. Mývatn er talið hafa myndast fyrir liðlega tvö þúsund árum. Vatnið er mjög grunnt, sólarljós nær alls staðar til botns og lífauðgi er mikil. Það sem einkennir lífið í vatninu öðru fremur er mikill vöxtur og viðgangur kísilþörungna.

Kísilgúrinn á því svæði sem núverandi námaleyfi tekur til endist ekki nema örfá ár til viðbótar. Því er brýnt að taka ákvörðun sem fyrst um framtíð verksmiðjunnar. Í því skyni samþykkti ríkisstjórnin síðasta vor tillögu iðnaðarráðherra um að fengnir yrðu erlendir vísindamenn til að yfirfara rannsóknir á lífríki Mývatns, meta áhrif kísilgúrtökunnar á lífríkið og meta áhættuna af því að taka kísilgúr úr Syðri-flóa.

Skýrsla erlendu vísindamannanna fylgir hér á eftir. Það er von mín að skýrslan verði gagnlegt innlegg í umræðu um framtíð Kísiliðjunnar.

Valgerður Sverrisdóttir.

Formáli höfunda

Skýrsla þessi, „Mat á áhrifum starfsemi Kísiliðjunnar á vistkerfi Mývatns“, var tekin saman af alþjóðlega matshópnum sem íslenska iðnaðarráðuneytið skipaði með bréfi 10. ágúst 1999. Skýrslan er byggð á margvíslegu aðgengilegu efni sem birt hefur verið um Mývatn og öðrum vísindalegum skýrslum og útgefnu efni sem tengist öllum meginþáttum viðfangsefnisins. Hópurinn hefur einnig haft aðgang að margs konar óbirtu efni og gagn af viðræðum við þá vísindamenn sem í hlut eiga. Fyrrihluta septembermánaðar 1999 var hópurinn í viku á Íslandi, lagði þá leið sína í Mývatnssveit og heimsótti Kísiliðjuna og ræddi við sveitarstjórnarmenn og íslenska vísindamenn sem stunda rannsóknir í Mývatni. Dr. Van Rijn frá Hollandi tók einnig þátt í störfum hópsins við mat á útreikningum á setflutningum.

Höfundar skýrslunnar eru sammála um niðurstöður sínar.

Í desember 1999

Dag Olav Hessen

sign

Arnfinn Langeland

sign

Lennart Persson

sign

Efnisyfirlit

FORMÁLI IÐNAÐARRÁÐHERRA	3
FORMÁLI HÖFUNDA.....	4
SAMANTEKT OG RÁÐLEGGINGAR.....	7
INNGANGUR	9
- MAT -.....	10
VERKEFNI 1. ATHUGUN Á SKÝRSLUM, VÍSINDARITGERÐUM OG ÖÐRUM UPPLÝSINGUM, ÞAR Á MEÐAL ÓÚTGEFNUM, FENGNUM MEÐ VIÐTÖLUM VIÐ ÞÁ SEM STUNDA MÝVATNSRANNSÓKNIR.....	10
1.1 HELSTU SKÝRSLUR OG RANNSÓKNIR	10
1.2 LÍFSAMFÉLÖG Í MÝVATNI.....	11
1.3 FUGLAR	12
1.4 RYKMÝ OG BOTNDÝR.....	12
1.5 BLEIKJA OG HORNSÍLI	13
1.6 SAMFÉLÖGIN Í VATNSLAGINU - ÞÖRUNGAR OG SVIFDÝR	14
1.7 NÆRINGARSÖLT.....	14
1.8 SET OG HÁGRÓÐUR	15
1.9 ÁGRIP AF HELSTU NIÐURSTÖÐUM ÚR 1. VERKEFNI.....	15
VERKEFNI 2. MAT Á ÞVÍ AÐ HVE MIKLU LEYTI NÚVERANDI VISTFRÆÐIRANNSÓKNIR SKÝRA SVEIFLURNAR Í LÍFRÍKI MÝVATNS.....	17
2.1 HELSTU EINKENNI.....	17
2.2 HUGSANLEGAR TILGÁTUR	18
2.3. SAMSPIL BOTNS OG VATNSLAGS.....	20
2.4 SVEIFLUR OG HUGSANLEG ORSAKASAMBÖND Í VATNSLAGI MÝVATNS.....	21
2.5 ORSAKIR ANABAENA-BLÓMA	22
2.6 ÁKOMA NÆRINGAREFNA.....	23
2.7 ÁHRIF Á DÝRASVIF OG HÆRRI ÞREP FÆDUVEFSINS.....	23
2.8. SVEIFLUR Í FISKSTOFNUM OG SAMBAND ÞEIRRA VIÐ FÆDUSTOFNA.....	24
2.9 ÁLYKTANIR UM HVORT OG AÐ HVE MIKLU LEYTI VISTFRÆÐIRANNSÓKNIR HINGAÐ TIL GETI SKÝRT SVEIFLURNAR Í LÍFRÍKI MÝVATNS	26
VERKEFNI 3. MAT Á ÁHRIFUM KÍSILGÚRVINNSLUNNAR OG REKSTURS VERKSMÍÐJUNNAR Á VISTKERFIÐ	28
3.1 BREYTINGAR Á BOTNI OG BOTNDÝRALÍFI	28
3.2 FLÆÐI NÆRINGAREFNA.....	30
3.3 FISKUR.....	30
3.4 FUGLAR	31
3.5 ÁLYKTANIR UM ÁHRIF DÆLINGAR Á ÝTRIFLÓA.....	32

VERKEFNI 4. RÁÐLEGGINGAR UM FRAMHALDSRANNSÓKNIR Á SVEIFLUNUM Í LÍFRÍKINU	34
4.1 VÖKTUN.....	34
4.2 TILRAUNIR	35
4.3 LÍKANASMÍÐ.....	36
VERKEFNI 5. MAT Á HÆTTUM SEM ÞVÍ FYLGJA AÐ HEFJA VINNSLU Í SYÐRIFLÓA.....	37
5.1 ALMENN VERNDUNARSJÓNARMÍÐ	37
5.2 MAT Á ÁHÆTTU.....	38
5.3 SAMANTEKT UM ÁHÆTTU AF ÞVÍ AÐ HEFJA VINNSLU Í SYÐRIFLÓA	39
HEIMILDIR.....	41

Samantekt og ráðleggingar

Iðnaðarráðuneytið tilnefndi alþjóðlegan hóp sérfræðinga til þess að meta áhrif af starfsemi Kísiliðjunnar á vistkerfi Mývatns. Sérfræðingarnir voru prófessorarnir Dag O. Hessen, Lennart Persson og Arnfinn Langeland. Þeir eru höfundar þessarar skýrslu og sammála um niðurstöður sínar. Auk þess fékk hópurinn ráðleggingar frá Leo van Rijn við mat á setflutningum. Hópurinn byggir niðurstöður sínar á fjölmörgum skýrslum og útgefnum heimildum, óbirtum gögnum, viðtölum við íslenska sérfræðinga og heimsókn til Íslands. Hlutverk matshópsins var greint í fimm verkefni og hópurinn leysti það samkvæmt því. Við höfum sérstaklega beint sjónum okkar að sveiflum og áhrifaþáttum í vistkerfinu og metið hugsanleg áhrif kísilgúrvinnslunnar í Ytriflóa, svo og áhrif mismunandi áætlaða um dælingu í Syðriflóa.

- Vistfræðirannsóknir í Mývatni hafa staðfest mjög athyglisverðar sveiflur þar sem allir meginþættir fæðukeðjunnar virðast koma við sögu. Nokkrar tilgátur hafa verið settar fram um eðli og orsakir sveiflnanna. Mat okkar er að núverandi vistfræðirannsóknir geri ekki kleift að fullyrða svo óyggjandi sé hvað stjórnir sveiflunum í vistkerfi Mývatns. Eigi að síður er vistfræðileg orðin nægileg til þess að benda má á hvers konar rannsóknir gætu skorið úr þessu. Ástæður þess að fyllri skilning skortir eru þær að:

- 1 Rannsóknir sem sérstaklega beindust að lykilatriðum í fæðukeðjunni hófust ekki fyrr en eftir 1990, og:
- 2 Þær tilgátur sem settar hafa verið fram um orsakatengsl hafa yfirleitt ekki verið sannprófaðar með tilraunum.

Nánara mat á mikilvægi þátta sem hafa áhrif á vistkerfi Mývatns sem er fjallað um hér í 2. verkefni krefst rannsókna sem fela í sér meiri sýnatöku en áður, tilraunir og gerð reiknilíkana. Þessar rannsóknir verða ræddar í 4. verkefni.

- Svo virðist sem sveiflurnar ráðist af eðlislægum stofnþáttum sem bæði eru fyrir hendi hjá slæðumýinu (*Tanytarsus*) og fiskinum og þarf tilgátan um hvora orsökina fyrir sig ekki endilega að útiloka hina. Augljós séreinkenni Mývatns eru tegundafátækt fiska og hin einstæða framleiðsla botngróðurs. Þetta gerir vatnið einstakt, borið saman við önnur vel rannsökuð grunn vötn á meginlandi Evrópu. Þótt nákvæm greining á tengslum í fæðukeðjunni sé utan þeirra marka sem þessari skýrslu eru sett ræður það ekki úrslitum um þær almennu ályktanir sem hér fara á eftir. Þá viljum við enn og aftur taka sérstaklega fram að sveiflur eins og sjá má í Mývatni eru engan veginn bundnar við það eitt, heldur eru miklar sveiflur í lífríki einkenni á mörgum grunnum vötnum.
- Þótt enn skorti á fullan skilning á fæðubrautum vatnsins teljum við samt sem áður að ekki sé unnt að tengja sveiflurnar kísilgúrnáminu á ótvíráðan hátt. Sú ályktun er einnig studd þeirri staðreynd að verulegar sveiflur hafa verið í Syðriflóa, og meðal ýmissa tegunda (t.d. hornsíla) hafa mestu sveiflurnar reyndar verið í Syðriflóa. Það virðist langsótt að sveiflur í Ytriflóa geti borist í gegnum grunnt Teigasundið og valdið greinilegum sveiflum í Syðriflóa.

Ekki er þar með sagt að dælingin hafi engin áhrif, og hún gæti vel verið komin á hættulegt stig í Ytriflóa, því fæst vistkerfi bregðast beint og krókalaust við ytri áhrifum. Við höfum áhyggjur af því að öll frekari dæling í Ytriflóa geti haft slæm áhrif á tegundir eins og álfir, jafnvægið milli hornsíla og bleikju og á jafnvægið milli botnframleiðslu og svifframleiðslu yfirleitt. Vegna þess að fuglalíf og gróður eru bersýnilega viðkvæm á svæðum sem enn eru ósnortin verður að gæta varúðar. *Þess vegna leggjum við til að frekari vinnslu verði hætt í Ytriflóa. Að minnsta kosti ætti að forðast að stækka núverandi vinnslusvæði*

Beita má ólíkum röksemdum í umræðum um hvort vernda eigi vatnið eða halda áfram kísilgúrvinnslu í Mývatni. Augljóst er að *varúðarreglan* skiptir miklu máli í sambandi við jafn viðkvæmt vistkerfi og Mývatn er. Við höfum þó ekki fest okkur frekar við þau álitamál í röksemdafærslunni sem helst verða að teljast pólitísku eðlis. Við ráðum mjög eindregið frá vinnslu á svæðum 3 og 4 vegna mats á setflutningum. Við álitum að ekki stafi hætta af því að grafa niður í fulla dýpt á svæði 1 vegna þess að þar er skýlt og flutningur sets inn á svæðið er tiltölulega lítill og ætti ekki að hafa teljandi áhrif á lífríkið í heild sinni. Á svæði 2 gætu setflutningar orðið talsverðir í vissum árum, sérstaklega eftir að fullri dýpt hefur verið náð (eftir meira en 25 ára vinnslu). Verði vinnsla heimiluð í Syðriflóa er niðurstaða okkar sú að *þótt óhætt sé að líkindum að nýta svæði 1 til fulls niður á 3,2 m höfum við meiri áhyggjur af því ef grafið verður niður á fullt dýpi á svæði 2. Þess vegna mælum við með því að ekki verði dýpkað um meira en 2 m á því svæði. Hverfa ætti frá hugmyndum um dælingu á svæðum 3 og 4.*

Eins og lögð hefur verið áhersla á í mörgum skýrslum er mikilvægtað *allri frekari vinnslu fylgi samfelldar rannsóknir* (sjá 4. verkefni). En hafa verður í huga að þótt engin áhrif verði merkjanleg af dælingum fyrstu árin er ekki þar með sagt að lokaáhrifin verði engin eftir að búið er að dýpka meira á stærri svæðum.

INNGANGUR

Með bréfi 10. ágúst 1999 skipaði iðnaðarráðuneytið alþjóðlegan matshóp til að meta áhrif af starfsemi Kísiliðjunnar á vistkerfi Mývatns.

Skipaðir matsmenn voru prófessorarnir:

Dag Olav Hessen, Háskólanum í Osló í Noregi,

Arnfinn Langeland, Norska vísinda- og tækniháskólanum í Þrándheimi í Noregi og

Lennart Persson, Háskólanum í Umeå í Svíþjóð.

Sérstökum stýrihóp var komið á laggirnar á Íslandi í samvinnu við Jón Kristjánsson fiskifræðing, sem var matshópnum til aðstoðar og ráðgjafar. Í stýrihópnum voru Benedikt Árnason, deildarstjóri í iðnaðarráðuneytinu, Ingimar Sigurðsson, skrifstofustjóri í umhverfisráðuneytinu og Árni Einarsson frá Rannsóknastöðinni við Mývatn. Matshópurinn naut einnig aðstoðar sérfræðings í setflutningum, Leo van Rijn frá Hollandi.

Iðnaðarráðuneytið skilgreindi hlutverk matshópsins þannig:

- Verkefni 1. Að kynna sér gaumgæfilega skýrslur, vísindagreinar og aðrar upplýsingar þeirra sem stunda rannsóknir á Mývatni, þ.á m. óbirt gögn í viðtölum.
- Verkefni 2. Að meta að hve miklu leyti núverandi vistfræðirannsóknir skýra þær sveiflur sem vart hefur orðið í lífríki Mývatns.
- Verkefni 3. Að meta áhrif námavinnslu og verksmiðjureksturs Kísiliðjunnar á vistkerfið.
- Verkefni 4. Að veita ráðgjöf um frekari rannsóknir á sveiflum í vistkerfinu.
- Verkefni 5. Að meta þá áhættu sem fólgin væri í því að flytja námavinnslusvæðið yfir í Syðriflóa.

Dagana 4.-11. september 1999 var hópurinn á Íslandi til að afla sér upplýsinga og fræðast um rannsóknir á fundum með vísindamönnum sem tekið hafa þátt í Mývatnsrannsóknum, starfsmönnum Kísiliðjunnar og sveitarstjórnarfólki í Mývatnssveit. Þá var safnað miklum upplýsingum, m.a. útgefnum vísindaritum og -greinum og óbirtum gögnum sem kynnt voru með óformlegum hætti. Til óbirtu gagnanna verður vísað sem persónulegra upplýsinga (pers. uppl.).

Í því sem hér fer á eftir höfum við ekki gert neina tilraun til að endurtaka eða ræða út í hörgul öll þau miklu og fjölpættu gögn sem orðið hafa til við Mývatnsrannsóknir, heldur munum við einbeita okkur að þeim þáttum sem okkur finnst mestu máli skipta vegna þess tiltekna verkefnis sem hópnum var falið. Aðrir hópar sérfræðinga hafa einnig komið að þessu máli, og til eru matsskýrslur og -greinargerðir almenns eðlis. Við höfum einnig sótt upplýsingar í þær heimildir og borið saman við önnur gögn. Í samanburði við þessar fyrri matsskýrslur höfum við lagt meiri áherslu en þar er gert á að athuga ferla í vatnslaginu (e. pelagic processes) og undirstöðuferla í fæðuvefnum.

- MAT -

Verkefni 1. Athugun á skýrslum, vísindaritgerðum og öðrum upplýsingum, þar á meðal óútgefnum, fengnum með viðtölum við þá sem stunda Mývatnsrannsóknir

1.1 Helstu skýrslur og rannsóknir

Hér á eftir gerum við grein fyrir helstu niðurstöðum úr skýrslum, vísindaritgerðum og persónulegum samtölum. Starfshópurinn hefur haft aðgang að fjölmörgum skýrslum, a.m.k. 10 um fugla, 6 um botndýr, 7 um fornvatnalíffræði, 9 um Laxá og 4 um fisk. Auk þess eru í tímaritinu OIKOS (32, 1979) 18 vísindagreinar um ýmsa umhverfis- og líffræðipætti í vistkerfi Mývatns. OIKOS-greinarnar eru byggðar á rannsóknum sem gerðar voru í upphafi áttunda áratugarins, og á grundvelli þeirra er unnt að gera sér glögga grein fyrir Mývatni eins og það var fyrir 25 árum. Sumar rannsóknirnar sem við vitnum til ná yfir 15 ára tímabil, þ.e. gögnin um rykmý og fugla.

Flestar rannsóknir hafa farið fram í Syðriflóa og hafa því ekki verið gerðar í þeim tilgangi að rannsaka muninn á flóunum tveimur, þeim syðri og þeim ytri. Fylgst hefur verið stöðugt með fiski frá 1986 en lokaniðurstöður hafa ekki verið birtar.

Hópurinn gat kynnt sér óbirtar niðurstöður í viðtölum þegar hann kom til Íslands í september sl.

Þrjár skýrslur kynnti hópurinn sér með sérstakri athygli: Skýrslu sérfræðinganeftndar frá því í júlí 1991, skýrslu Vatnaskila frá því 1998 og skýrslu Kísiliðjunnar frá því í september 1999 (Mat á umhverfisáhrifum).

Skýrsla sérfræðinganeftndar frá því í júlí 1991: Niðurstöður nefndarinnar, þ.á m. tilgátunnar sex um hvað ylli sveiflunum í lífríki vatnsins, voru að hluta til þýddar á norsku. Niðurstöður sýna að lykiltegundir eins og rykmý, bleikja (*Salvelinus alpinus*), *Daphnia* og bláþörungur (*Anabaena*) (leirlos) sveiflast býsna reglulega með 7-8 ára millibili. Þessi skýrsla sérfræðinganeftndarinnar var kynnt í júlí 1999. Í skýrslunni eru mörg línurit um næringarefni í vatninu, setinu og uppsprettum. Um tilgátur sérfræðinganeftndarinnar verður rækilega fjallað í verkefni 2 hér á eftir.

Skýrsla Vatnaskila 1998: Í henni er fjallað um strauma og setflutninga í vatninu, en hún var unnin af Verkfræðistofunni Vatnaskilum og kynnt í desember 1998. Tölulegar niðurstöður voru byggðar á líkaninu AQUASEA sem fyrirtækið hefur búið til. Það var notað til að spá fyrir um breytingar á setflutningum vegna fyrirhugaðs námareksturs í Syðriflóa. Samkvæmt útreikningunum jafngiltu auknir setflutningar vegna vinnslunnar 7-12% af þeim heildarflutningum sem eiga sér stað í vatninu ár hvert. Það var miklu minna en nemur þeim breytileika sem verður í setflutningum milli ára og rekja má til ólíkra veðurskilyrða. Setflutningasérfræðingurinn Leo van Rijn kvað skýrsluna gefa skýra mynd og vera reista á

fræðilega traustum grunni. Hann gerði athugasemdir við skýrsluna en þær breyta ekki meginniðurstöðum hennar.

Skýrsla Kísiliðjunnar frá því í september 1999. Þessi skýrsla var unnin af Kísiliðjunni og birt í september 1999. Þar eru tekin fyrir áhrif dælingar á botn og set í Ytriflóa og vistkerfi vatnsins. Vinnslan hófst 1967 og hefur staðið nokkurn vegin óslitið allar götur síðan, alls 32 ár. Núverandi námaleyfi gildir til ársloka 2010 og felur í sér brotnám sets af 48% af flatarmáli Ytriflóa. Hin augljósu áhrif eru dýpkun vatnsins og brotnám botnleðju sem fóstrar mikinn botngróður og er auðug að botndýrum. Samkvæmt skýrslu sérfræðinganeftardarinnar frá 1991, sem áður er getið, er meðaldýpi svæða sem dælt hefur verið af 2,7 m, misdýpi nokkurt og á þeim svæðum hefur grynnað með tímanum. Helstu breytingar á setflutningum hafa verið þær að fínt efni hefur skolast frá grynri svæðum niður á dýpri námasvæði. Nýmyndað set í Ytriflóa, sem áður fór út í Syðriflóa, fer nú niður á svæði sem dælt hefur verið af í Ytriflóa. Álitið er að eftir að dæling hófst sé flutningur efnis út úr Ytriflóa óverulegur. Í nýju skýrslunni frá 1999 eru sýnd sandsvæðin sem myndast hafa á ósnerta svæðinu vestast í Ytriflóavegna dælingar í flóanum norðaustanverðum. Í skýrslunni eru birtir útreikningar þar sem setmyndun í Mývatni er áætluð 18.000- 25.000 tonn á ári, þar af 55% kísilgúr, að gefinni þeirri forsendu að setmyndunin sé 2,1-2,8 mm á ári. Verksmiðjan hefur gert áætlanir um vinnslu á fjórum stöðum í Syðriflóa. Með því að taka tillit til nýmyndunar sets og þess sem Kísiliðjan fjarlægir með vinnslunni sýnist sem dýpið á svæði 1 aukist um 3,5-7,3 mm á ári, 1,4-3,0 mm á svæði 2 og 1,6-6,9 mm á svæðum 3 og 4. Í skýrslunni frá 1999 er einnig greint frá rannsóknum á helstu fuglategundum árabilið 1975-1998. Ekki var hægt að greina mun á því hve fuglalíf var mikið í Ytriflóa, Syðriflóa og Bolum. Þó virðist sem fuglar sæki í æti og haldi sig fremur á ósnertum svæðum í vestanverðum Ytriflóa heldur en á dýpkuðu svæðunum í NA-hlutanum.

Efnabúskapur vatnsins 1989 og 1990 er tekinn fyrir í skýrslunni, svo og uppleyst næringarefni í seti. Styrkur efna eins og Ca og Mn fór vaxandi frá 20 cm niður á um 150 cm dýpi í setinu en styrkur fosfats og ammóníaks minnkaði með dýpi.

1.2 Lífsamfélög í Mývatni

Margar vísindaritgerðir hafa verið gefnar út frá 1970. Einungis var farið gaumgæfilega yfir mikilvægustu niðurstöðurnar og þær sem mestu máli skiptu fyrir skilning á þeim öflum sem að verki eru í vistkerfinu og hvernig samspilinu þar er háttað. Vitnað er sérstaklega í vísindagreinar þar sem það á við.

Finna má greinargóða lýsingu á jarðsögu, efnafræði vatns og linda, plöntu- og dýrasvifi, botndýrum, fiski, fuglum og vistkerfinu yfirleitt í 32. hefti tímaritsins OIKOS frá árinu 1979. Flestar þær rannsóknir sem þar er byggt á eru frá árunum eftir 1970 og stóðu stutt (1971-1974). Fuglarannsóknir og rannsóknir á fullorðnum mýflugum (rykmýi) hafa staðið yfir samfleytt frá því á síðari hluta áttunda áratugarins. Gefin var út árið 1991 alþýðleg fræðibók á íslensku, Náttúra Mývatns, sem þeir ritstýrðu Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson.

Þótt mjög margar tegundir plantna, hryggleysingja og fugla hafi fundist á Mývatnssvæðinu eru það einungis nokkrar þeirra sem kalla má lykiltegundir í vistkerfinu. Í vatnslaginu eru bláþörungurinn *Anabaena*, svifdýrategundirnar *Daphnia longispina* (langhalafló) og *Eurycercus lamellatus* (kornáta), hornsíli (*Gasterosteus aculeatus*) og e.t.v. bleikja mikilvægir framleiðendur og neytendur lífræns efnis. Á botninum eru mikilvægustu tegundirnar kísilþörungar, *Cladophora* (kúluskítur), rykmýslirfur með lykiltegundinni *Tanytarsus gracilentus* (slæðumýi), hornsíli og bleikju. Mikilvægar plöntu-, hryggleysingja- og fiskætur eru ýmsar tegundir anda, t.d. rauðhöfðaönd, flórgoði, toppönd, húsönd, hrafnönd og duggönd.

1.3 Fuglar

Séreinkenni Mývatns eru hinar mörgu andategundir. Þess vegna hefur verið lögð mikil áhersla á fuglarannsóknir eftir 1970 og fuglar eru mest rannsökuðu dýrin í vistkerfi Mývatns. Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (1994 og 1997) komust að því eftir rannsóknir 1975-1989 að það væri háð framboði af helstu tegundum fæðudýra (rykmýi og bitmýi) hve mörgum ungum fimm staðbundnar andategundir kæmu á legg. Árin 1987, 1988 og 1990 var útbreiðsla anda á Ytriflóa kortlögð og borin saman annars vegar á svæðum sem dælt hafði verið af og hins vegar á svæðum sem ekki hafði verið dælt af. Duggendur og skúfendur virtust forðast fyrrnefndu svæðin en toppönd (*Mergus serrator*), sem aðallega lifir á hornsilum, virtist ekki gera það (Einarsson og Magnúsdóttir 1993). Oftast var kafað þar sem dýpi var innan við 2 m. Endur sáust einnig kafa þar sem dýpi var meira en 4 m. Rannsóknir 1993, 1995 og 1996 sýndu að rauðhöfðaönd (*Anas penelope*) og flórgoði (*Podiceps auritus*) héldu sig einkum á röskuðum botni á grunnu svæðunum vestast í Ytriflóa (Kísiliðjan, september 1999). Gögn um eggjatöku og silungsveiði frá síðustu aldamótum fram undir 1960 sýndu miklar sveiflur, bæði í eggjatekju og silungsveiði (Guðmundsson 1979, Garðarsson og Einarsson, í vinnslu). Þegar mikið var af húsönd, duggönd og hrafnönd 1910-1920 var lítil silungsveiði.

1.4 Rykmý og botndýr

Mývatn dregur nafn af hinu geysilega magni af mýi. Rykmýið hefur verið ítarlega rannsakað frá því snemma á áttunda áratugnum (Arnþór Garðarsson o. fl. 1995). Miklar og reglubundnar stofnsveiflur hafa verið í ríkjandi tegund við vatnið, *Tanytarsus*, undanfarin 16 ár (1977-1992) og tvisvar sinnum á tímabilinu, 1983 og 1988, hefur stofninn nánast hrunið. Gögnin um mýið eru byggð á rannsókn fullorðinna mýflugna sem hafa veiðst í flugugildirur sem standa á landi við vatnsbakkann. [Innskot þýðanda: Flugan verpir eggjum í vatnsborðið, þau klekjast út og lifir lifir á botninum, nokkra mánuði, allt upp í eitt, jafnvel tvö ár, þá klekst hún í yfirborðinu, lifir í nokkra daga, verpir og hringnum er lokað.] Á hverju ári koma tvær kynslóðir af *T. gracilentus* upp úr vatninu. Rannsóknir Arnþórs Garðarssonar o. fl. (1995) sýndu að stórir stofnar *Tanytarsus* og annarra mýteygunda einnig voru á ferðinni þegar vatnið var tært. Saman fór að mýstofninn var lítill þegar vatnið var gruggugt, mikið um *Anabaena*, hornsílastofninn, *Gasterosteus aculeatus*, var stór og mikið af bitmýi, *Simulium*, í Laxá. Líkamsstærð *Tanytarsus* var í öfugu hlutfalli við stofnstærð flugnanna 1-3 kynslóðum fyrr, sem bendir til þess að tegundin

hafi áhrif á sitt eigið lífsrými (Einarsson o. fl. handrit) Magnið af bitmýi (*Simulium*) í Laxá var í réttu hlutfalli við magn bláþörungna (*Anabaena flos-aquae*) í Mývatni (Gíslason 1994).

Botnsýni frá árunum 1972-1976 leiddu í ljós að mikið var af botndýrum, að meðaltali 64,500 dýr/ m² (Lindegaard og Jonasson 1979). Þrjár tegundir, *T. gracilentus*, *Chironomus islandicus* og *Tubifex tubifex*, voru í miklum meirihluta, 79,4, 9,3 og 7,2 % af heildinni hver tegund. Sýni frá tveimur stöðum, sem tekin voru í ágúst 1990, sýndu að mýlirfur voru fleiri á svæðum sem dælt hafði verið af en á hinum (Einarsson og Magnúsdóttir 1993). Hið hálfbotnlæga krabbadýr *Eurycercus lamellatus* (kornáta) er algeng og mikilvæg tegund í botndýrasamfélaginu. Samkvæmt rannsóknum sem Hákon Aðalsteinsson gerði (1979) voru *E. lamellatus* og *Acroperes harpae* miklu algengari í Syðriflóa en Ytriflóa. Sennilegt er að mismunurinn stafi af meira afráni fiska í Ytriflóa.

Gögn frá því í seinni tíð um hve botndýr sitja þétt í seti eru mjög fátækleg ef undan er skilið tímabilið 1972-1976.

1.5 Bleikja og hornsíli

Bleikjan er mikilvægasti nytjafiskurinn í Mývatni. Veiðiskýrslur frá 1900 sýna að meðalveiði hefur verið um 30.000 fiskar á ári (G. Guðbergsson 1994). Mest var ársveiðin á þriðja áratugnum þegar hún fór í 100.000 fiska. Veiðin virðist vera að sveiflast í kringum lægra meðaltal árin 1970-1998, borið saman við meðalveiðina 1930-1969.

Erfitt er samt að bera saman árlega bleikjuveiði á tímabilinu 1900-1998 þar sem aðferðir og sókn hafa breyst. Veiðin hefur að mestu verið borin uppi af stórum fiski (40-50 cm) vegna þess hve stórriðin net hafa verið notuð. Þess vegna eru aflatölur ekki til marks um breytingar á stærð og samsetningu bleikjustofnsins. Auk bleikjunnar veiðast um 2.000 urriðar (*Salmo trutta*) á hverju ári. Stærðarsamsetning bleikjustofnsins, fæða bleikjunnar og meðalíferð (afli á sóknareiningu) hefur allt verið rannsakað frá 1986 (G. Guðbergsson 1994, pers. uppl. frá síðustu árum). Stofnstærðaráætlanir sýndu að mjög mikið var af fiski 1987 og 1988 en lítið 1990-1992. Áætlað var að hlutfallslegt fiskmagn væri 3-16 kg á hektara (10.000 m²). Aðalfæðan er hornsíli, langhalafær, rykmý, kornáta og vatnabobbar. Bleikjustofninn í Ytriflóa og Syðriflóa virðist hafa sveiflast á svipaðan hátt á rannsóknartímabilinu 1986-1987 með hámrörkum árin 1987 og 1995.

Vöktunarrannsóknir á hornsílum, sem gerðar voru 1989-1995 (Gíslason o.fl. 1998) hafa sýnt sambærilegar sveiflur í báðum flóum. Niðurstöður stofnmælinga gáfu til kynna mjög stóran hornsílastofn í Ytriflóa, en lítinn stofn í Syðriflóa, en það er ekki í samræmi við vöktunarrannsóknirnar. Óbirtar niðurstöður úr vöktunarrannsóknunum á hornsílum frá árunum 1989-1998 gefa tilefni til að álykta að sveiflur séu svipaðar í báðum flóum, en meira virðist af sílum í Ytriflóa og sveiflur þar minni (Einarsson, pers. uppl.). Niðurstöðurnar benda til þess að hornsílum hafi fækkað mjög 1993, að minnsta kosti í Syðriflóa. Þar eð rannsóknargögn eru ósamstæð er torvelt að rekja eitthvert ákveðið og reglubundið tengslaferli milli hinna ólíku þátta vistkerfisins. Um það efni verður nánar fjallað í verkefni 2.

Rannsóknir á fæðu hornsíla 1989 og 1990 sýndu að botnlæg krabbadýr, *Daphnia longispina*, rykmýslirfur og púpur, þar á meðal *Tanytarsus*, voru mikilvægustu tegundirnar (Gíslason o.fl. 1998).

1.6 Samfélögin í vatnslaginu - þörungar og svifdýr

Meðalframleiðni plöntusvifsins í Syðriflóa skv. rannsóknunum 1972-1976 var 118 g C /m² á ári og 75 g C /m² á ári í Ytriflóa. Þetta er mikil framleiðni (Jonasson og Aðalsteinsson 1979). Aðgengi þörunganna að P (fosfór) virðist ráða framleiðninni. Af plöntusvifinu komu kísilþörungarnir fyrstir á vorin og aftur á haustin, gullþörungar snemmsumars og á haustin, en *Anabaena flos-aquae* ríkti yfir sumarið. Margar tegundir hjóldýra fundust í svifinu (Aðalsteinsson 1979), en einungis tvær tegundir krabbadýra voru algengar í svifi, *Daphnia longispina* og *Cyclops cf. abyssorum*.

Óbirt nýleg gögn um þörungablóma og *D. longispina* og *Eurycercus lamellatus* eru til úr Syðriflóa; *Daphnia* 1995-1998, *Eurycercus* 1990-1998 og þörungablóma 1971-1990 (Einarsson, pers. uppl.). Þrátt fyrir að gögnunum hafi ekki verið safnað reglulega má lesa úr þeim sveiflur milli ára, þannig að *Daphnia* (langhalaflo) og *Eurycercus* (kornáta) virðast sveiflast í takt og öfugt við bláþörunginn *Anabaena*.

1.7 Næringarsölt

Frá því að hinar umfangsmiklu mælingar á næringarsöltum (nitri, fosfór, kísil) og ákomu þeirra fóru fram á seinni hluta áttunda áratugarins (Ólafsson 1979) hafa mælingar verið stopullar. Framleiðnin í Mývatni er greinilega mikil miðað við það að næringarsölt eru í meðallagi. Það stafar líklega af því að setlög þyrlast oft upp og næringarsölt eru því fljót að komast aftur í umferð. Styrkur ólífræns P er á bilinu 0,1-0,3 µM. Uppleyst ólífrænt N er einnig lágt, oftast minna en 1 µM á sumrin (Ólafsson 1979). Athyglisverðast er ákomuhlutfall N:P, sem er nálægt því að vera 1,0 en það er heppilegt fyrir bláþörungana sem geta unnið N úr loftinu. Því miður eru ekki til niðurstöður úr neinum samfelldum mælingum á næringarsöltum í vatnslagi flóanna tveggja. Mælingar frá áttunda áratugnum, svo og nýlegri mælingar, benda þó til þess að uppleyst næringarsölt berist í vatnið við dælinguna. Í skýrslu Sérfræðinganeftdar 1991 var dregin sú ályktun að ákoma N og P hefði aukist eftir 1969, mest í Ytriflóa (úr 0,98 upp í 1,27 g P/m² á ári og úr 1,64 upp í 5,3 g N/m² á ári). Í Syðriflóa varð hins vegar óveruleg aukning. Sé miðað við vatnið allt jókst P-álagið úr 1,45 í 1,47 g P/m² á ári tímabilið 1969-1990. Á sama tímabili jókst niturákoma úr 1,02 upp í 1,84 g N/m² á ári. Þessar tölur eru byggðar á rannsóknum sem gerðar voru á árunum 1969, 1971-76, 1978, 1984, 1989 og 1990.

Í nýlegri skýrslu ("Dissolved nutrients in the Kísiliðjan drainage") var áætlað að hve miklu leyti mætti rekja aukninguna til starfsemi Kísiliðjunnar. Þar var komist að þeirri niðurstöðu, sérstaklega hvað varðar nitur, að ákoma annars staðar frá, afrennsli af túnum og ákoma vegna niturvinnslu *Anabaena*, væri langtum meiri en sú sem rekja mætti til námavinnslunnar. Taka ber tölur um aukningu næringarsalta vegna starfsemi Kísiliðjunnar með varúð en hún hefði vissulega

getað haft sín áhrif, sérstaklega að því er varðar P. Þar sem aukið N-magn kæmi öllum þörungum til góða, þá er það sennilega hagstæðast fyrir *Anabaena* þegar P eykst. Hærra N:P-hlutfall væri óhagstætt fyrir hina niturbindandi *Anabaena*.

Þótt við sjáum ekki að vaxandi ákoma næringarefna í Ytriflóa hafi aukið á óstöðugleika ber að leitast við að halda henni í lágmarki.

1.8 Set og hágróður

Borkjarnar úr seti í Syðriflóa sýna sögu vatnsins langt aftur í aldir og þróunarsögu dýralífs og gróðurs frá því að vatnið varð til fyrir 2300 árum. Leitt hefur verið í ljós að magn *Cladophora* jókst síðast á tímabilinu (Einarsson 1982, Einarsson o. fl. 1993 og Einarsson og Hafliðason 1988). Það er skýrt með því að smám saman hafi frumframleiðslan færst úr vatnslaginu niður á botninn um leið og vatnið grynnaði vegna setmyndunar. Þetta er stutt þeim rökum að meira fannst af *Daphnia longispina* og *Tanytarsus gracilentus* í dýpri lögum setsins, frá um 9 m dýpt í 3 m frá núverandi setyfirborði. Því ofar sem dró í setinu, þeim mun meira bar á *Eurycercus lamellatus*, en *Lepidurus arcticus* var var óreglulega dreifður um allan kjarnann. Leðjunni má skipta í þrjá flokka: i) nýja og gamla *Cladophora* með ásetuþörungum, ii) *Tanytarsus*-lag, þéttskipað lírfuhúsum og lírfum og, iii) hreina leðju með eða án grots (Gardarsson og Snorrason 1993).

Litlar rannsóknir hafa farið fram á þeim breytingum sem verða við það að gróður er numinn á brott með dælingu. Á það við bæði um það þegar gróður er numinn brott af svæðum sem dælt hefur verið af og hann fer aftur að láta á sér kræla þar. Niðurstöður af kortlagningu hágróðurs eru einungis til frá árunum 1977 og 1990 (Skýrsla, september 1999). Þær sýndu að *Cladophora sp.* (kúluskítur) var ríkjandi á botni Syðriflóa en *Potamogeton sp.* (nykra) og *Myriophyllum sp.* (mari) voru ríkjandi í Ytriflóa. Lítil partur af NV-hluta svæðisins sem raskað hafði verið var án botngróðurs. Kísilþörungar á botni valda um 67% af heildarframleiðni í vatninu, plöntusvif 18% og kúluskítur um 15% (Jonasson 1979).

1.9 Ágrip af helstu niðurstöðum úr 1. verkefni

Kísilgúrvinnslan hefur staðið í 32 ár, 1967-1999. Augljós áhrif eru þau að fjarlægð hafa verið set með ríkulegum botngróðri og dýralífi og vatnið hefur verið dýpkað með því að grafa í botninn. Miklar rannsóknir hafa verið gerðar á lífríki Mývatns. Það sem mest hefur verið rannsakað eru fuglar og mý (fullorðnar flugur). Kísilþörungar og bláþörungar (*Anabaena*) eru mikilvægir framleiðendur í vatnslaginu, langhalafær, kornáta, hornsíli og bleikja eru mikilvægir neytendur. Plöntusamfélagið á botni einkennist af kúluskít, nykru og mara sem eru mikilvægir framleiðendur. Kísilþörungum á botni eru að þakka um 67% af heildarframleiðni í vatninu, plöntusvifi 18% og kúluskít um 15%. Rykmýslirfur eru ríkjandi botndýr, og eru lírfur slæðumýs, *Tanytarsus*, þar í sérflokki. Bleikja og hornsíli eru mikilvægir neytendur bæði á botni og í vatnslagi. Þegar á heildina er litið eru sveiflur afdrifaríkar fyrir Mývatn. Stofnbreytingar einkennast af sveiflum á 7-8 ára fresti í flestum þrepum fæðukeðjunnar, og gegnir *Tanytarsus gracilentus* þar meginhlutverki.

*Mat á áhrifum starfsemi Kísiliðjunnar
á vistkerfi Mývatns*

*Iðnaðar- og viðskiptaráðuneyti
Apríl 2000*

Verkefni 2. Mat á því að hve miklu leyti núverandi vistfræðirannsóknir skýra sveiflurnar í lífríki Mývatns

Í þessum kafla beinum við sjónum að sveiflunum í lífríkinu og að hve miklu leyti núverandi rannsóknir geta skýrt þær. Við matið gerum við ráð fyrir tveimur kenningum um orsakir sveiflanna í þeim tilgangi að geta skilgreint mikilvæg tengsl í ferlinu sem menn sjá í vatninu. Tekið skal fram að það er utan verksviðs okkar og ekki á okkar færi við núverandi aðstæður að skýra til fulls alla þá þætti í fæðukeðjunni sem koma við sögu. Þess vegna beinum við fremur sjónum að því sem unnt er að segja nú um lífríki Mývatns og að því um hvað sé brýnt að afla aukinnar þekkingar til að geta skilgreint helstu áhrifavaldana. Eins og ljóst mun verða eru gögnin sem athuganir okkar eru byggðar á mjög misítarleg. Ítarleg gögn, byggð á langtímarannsóknum, eru til um rykmý, sérstaklega *Tanytarsus*, en mun ófullkomnari gögn um svifþörungum svo dæmi sé tekið. Ekki ber að líta á það sem hér er sagt um skort á gögnum um tiltekna hlekki fæðukeðjunnar sem gagnrýni á þær Mývatnsrannsóknir sem stundaðar eru. Mikið af því rannsóknastarfi hefur ekki beinst að þáttum sem stjórna samverkun í vistkerfinu, enda hefur ekki verið veitt fé í þeim tilgangi. Hinn mikli fjöldi rannsókna á fuglasamfélögunum við Mývatn eru vitaskuld tengdar því hve fuglalífið er þar einstaklega mikið og fjölbreytt, en fuglalíf við Mývatn er líklega fremur afleiðing samþættingar annarra þrepa í vistkerfinu en orsök. Ekki er vafi á því að fuglarnir hafa áhrif með því að skilja út áburðarefni (ammoníak og fosfór) og éta fisk, en okkur þykir ólíklegt að þeir stjórni sveiflunum sem sjást í Mývatni.

2.1 Helstu einkenni

Vistfræðirannsóknir á Mývatni frá 1970 hafa staðfest margar greinilegar breytingar í vistkerfi vatnsins. Athyglisverðastar eru stofnbreytingar á slæðumýi, *Tanytarsus*, en stofnstærð þess sveiflast með 4-8 ára millibili (Arnþór Garðarsson o.fl. 1995). Auk þess benda gögn til þess að stofnstærðir ýmissa annarra þátta fæðukeðjunnar *Anabaena*, svifætna (langhalaflóar, *Daphnia*), hornsíla og bleikju, tengist sveiflunum í slæðumýinu (G. Gíslason 1994 og Á. Einarsson, óbirt gögn). Þá hefur sýnt sig að breytingar í fæðukeðjunni í Laxá tengjast sveiflum í Mývatni (G. Gíslason 1994). Þótt nokkuð vanti upp á gögnin hefur verið sýnt fram á eftirfarandi samband milli slæðumýs og annarra þátta fæðukeðjunnar: Stofn *Tanytarsus* hrynur á sama tíma og mikið er af bláþörungum *Anabaena*, lítið af langhalaflóum, *Daphnia* (og botnlægum krabbadýrum) og mikið af hornsílum og bleikju. Þótt gögn um flesta þætti fæðukeðjunnar séu ófullnægjandi eða nái yfir takmarkaðan tíma (hornsílagögn eru til frá 1990) kemur sér að okkar dómi verst hin algjöra gagnþurrð varðandi stofnbreytingar í yngstu bleikjuárgöngunum, sumargömlum og árgömlum fiski (sjá síðar). Gögnin um hornsílin benda líka til þess að stofn þeirra hafi minnkað 1993-94 án þess að vart yrði breytinga í öðrum stofnum (*Daphnia* t.d.) (Á. Einarsson, óbirt gögn).

2.2 Hugsanlegar tilgátur

Rannsóknir í Mývatni hafa ekki verið fólgnar í tilraunum. Þess vegna er einungis unnt að byggja tilgátur um orsakir sveiflna í fæðukeðjunni, miðað við núverandi þekkingu, á fræðilegum grunni, og tilrauna er þörf til að prófa gildi mismunandi þátta sem koma við sögu. Til skýringar á sveiflunum munum við hér á eftir ræða tvær andstæðar tilgátur og það sem annaðhvort styður þær eða veikir miðað við þau gögn sem til eru. Fjallað verður um rannsóknir og tilraunir sem gera þyrfti til að meta á gagnrýninn hátt hugsanlegar orsakir sveiflnanna í verkefni 4 hér á eftir.

Ekki er gert ráð fyrir að önnur tilgátan útiloki hina, enda margt sameiginlegt með þeim, en með því að gera ráð fyrir því er hins vegar unnt að setja fram skýrari spurningar um það en ella hvað stjórnir hverju. Einnig munum við, jafnframt því sem við fjöllum um tilgáturnar tvær, benda á helstu og þýðingarmestu eyðurnar í þá þekkingu sem nú er fyrir hendi.

- **Fyrri tilgátan** byggist á þeirri hugmynd að stofnsveiflur í *Tanytarsus* stjórnist af gagnkvæmu sambandi dýranna og því sem þau hafa úr að móða og að útkoman úr því samspili hafi áhrif á aðra þætti fæðukeðjunnar.
- **Seinni tilgátan** byggist á þeirri hugmynd að sveiflurnar séu tengdar stofnsveiflum efst í fæðukeðjunni (hjá bleikju og hornsflum), sem aftur hafi áhrif á aðra þætti neðar í fæðukeðjunni.

Í báðum þessum tilgátum kemur *Tanytarsus* mikið við sögu.

Í **hinni fyrri** er það samspilið milli *Tanytarsus* og lífsskilyrða þess sem skapar skilyrði fyrir sveiflurnar. Frumorsök atburðarásarinnar er seinkunarbundin, þéttleikaháð dánartala í flugustofninum sem fræðilega hefur verið sýnt fram á að geti leitt til þeirrar atburðarásar sem sjá má (Á. Einarsson, pers. uppl.).

Á það skal bent að hér er um að ræða atburðarás sem einungis hefur verið sýnt fræðilega fram á að gæti staðist en hefur ekki verið prófuð með tilraunum. Ekki eru til nein gögn um möguleika *Tanytarsus* til að afla sér fæðu Einu vísbendingarnar um að þéttleikaháðir þættir gætu verið að verki eru gögn sem sýna að neikvæð, seinkunarbundin tengsl eru milli líkamsstærðar fullorðinna flugna og stofnstærðar þeirra (Á. Einarsson o.fl., handrit).

Ef undanskildar eru rannsóknir Péturs Jónassonar (1979) einskorðast flugugögnin við sýni af fullorðnum flugum, veiddum í gildrur, en engin gögn eru til um vöxt eða afföll hjá lirfum. Þar sem það er á lurfustiginu sem gert er ráð fyrir að þéttleikaháð áhrif geti verið að verki er nauðsynlegt við gagnasöfnun að taka mið af þessu í framtíðinni, svo unnt sé að skera úr um hvort þéttleikaháð áhrif séu til staðar.

Áhrif slæðumýs á aðra þætti vistkerfisins í Mývatni hafa verið tengd rörunum sem lurfurnar búa til [og lifa í meðan þær eru á botninum, innskot þýðanda]. Með tilraunum í rannsóknastofu hefur verið sýnt fram á að því fleiri sem lurfurnar eru á hverja flatareiningu, því meira viðnám veiti botnsetið ölduhreyfingu. Tilgátan er þess vegna sú að hrun í lurfustofninum leiði til eyðingar

Þessara röra eða lirfuhúsa og þá aukist líkur á því að öldugangur nái að róta upp seti og grugga með því vatnið.

Þótt þessi tilgáta geti staðist og megi jafnvel teljast líkleg, þá eru ekki enn sem komið er til nein gögn, byggð á tímaröðum á vettvangi, sem sýna tengsl milli slæðumýs (*Tanytarsus*) og styrkleika sets á einhverjum tilteknum tímum og ekki heldur til nein gögn sem sýna hve fljótt lirfuhúsinn brotna niður eða eyðast eftir að lirfan hefur yfirgefið þau og flogið burt úr vatninu fullsköpuð. Þess vegna er nauðsynlegt að kanna þetta tvennt með vettvangsrannsóknum og tilraunum, svo unnt sé að mæla þetta hugsanlega samhengi milli slæðumýs og styrkleika setsins.

Breytingar á botnseti og aukið grugg hafa svo verið tengd því að meira verður vart en ella við bláþörunga (leirlos) og stofnar krabbablóa á og yfir botni hrynja, eins og nánar verður lýst hér á eftir. Samkvæmt fyrri tilgátu eru áhrifin á dýrin aftar í fæðukeðjunni auðskýrð. Fækkun svifdýra veldur hungri og auknum afföllum hjá hornsílum. Það kemur heim við það að í árum þegar lítið er um svifdýr hafa menn séð hornsíli yfirgefa vatnið í stórum stíl og ganga niður í Laxá. Unnt er að tengja fækkun svifdýra og hornsíla við fækkun bleikju. Það er bending um hve hornsílin geta verið mikilvæg fæða bleikjunnar að tveggja og þriggja ára bleikja fer að horast áður en henni fækkar verulega. Þetta eru þeir aldursflokkar bleikju sem að líkindum geta ekki étið hornsíli. (G. Guðbergsson, óbirt gögn).

Áþreifanlegar sannanir fyrir því að hornsíla- og bleikjustofnarnir hafi drepist úr hungri eru af skornum skammti ef frá er talin staðfesting á því að fyrir hrunið horaðist tveggja og þriggja ára bleikja.

Fullkomin gögn vantar um vöxt eftir aldri, holdafar og afföll bæði hornsíla og bleikju til þess að unnt sé að meta hvaða þátt fæðuskortur á í sveiflum beggja þessara tegunda.

Loks er því við að bæta að það sem takmarkar skilning okkar á tengslum milli bleikju, hornsíla og svifkrabbadýra er að nær ekkert er vitað um bleikjuna tvö fyrstu æviár hennar.

Önnur tilgáta er sú að dýr sem eru á hærri þrepum fæðuvefsins hafi veruleg áhrif á þrepin fyrir neðan sig (top-down control), en sú kenning hefur bæði verið studd á fræðilegan hátt og með tilraunum. (Carpenter og Kitchell 1993).

Auk þess hefur verið sýnt fram á, fræðilega og með tilraunum, að samspil milli stærðarflokka fiska getur valdið stofnsveiflum, svipuðum þeim sem sjást í Mývatni, annaðhvort vegna samkeppni milli aldurs-/stærðarflokka eða samblands af slíkri samkeppni og áti stærri fiska á þeim minni (Hamrin og Persson 1986. Persson o.fl. 1988, Persson o.fl. 2000, Claessen o.fl. 2000).

Þessi kenning tekur til flestra þátta sem getur í hinni fyrri, þar sem gert er ráð fyrir því að *Tanytarsus* og samspil þess við eigið lífsrými stjórni sveiflunum, en fiskurinn (bleikja eða hornsíli) er settur í hlutverk stjórnaða. Ástæða þess að sú kenning kemur til álita er:

(a) vitneskjan sem nýjar vistfræðirannsóknir hafa leitt í ljós um sveiflur sem orsakast af samskiptum stærðarflokka fiska, og

(b) sú staðreynd að stofnstærðarbreytingar hornsíla stangast á við fyrri kenninguna (*Tanytarsus*-kenninguna).

Prisvar hefur orðið fall í hornsílaafli í gildrum á síðasta 10 ára tímabili (árin 1990, 1994 og 1998), en einungis tvisvar (1990 og 1998) hefur aflabresturinn tengst hruni í stofni slæðumýs og svifkrabba. Þess vegna vaknar sú spurning hvort það hafi verið breytingar í afráni bleikju á hornsíli sem hafi valdið hruninu 1994. Stærðarháð afföll hafa sést í bleikju, og bendir það til stærðarháðra áhrifa en eins og áður hefur verið sagt, þá vantar okkur gögn um fyrstu tvo aldursflokka bleikjunnar til þess að geta metið skýringargildi þessarar seinni tilgátu.

Bleikja getur haft áhrif á hornsílin á tvennan hátt: Með því að styggja þau burt af búsvæðunum og með því að éta þau (Langeland 1982).

Beitaráhrif hornsíla á svifkrabba í vötnum þar sem bleikja og hornsíli eru saman eru vel þekkt úr norrænum vötnum (Langeland 1982, Dahl-Hansen 1998).

Beitaráhrif fisks á rykmý, sérstaklega slæðumý, eru lítt þekkt. En mýflugan á öllum stigum, þ. á m. slæðumý, eru hugsanleg bráð, bæði hornsíla og bleikju á fyrsta ári (Ranta-Aho 1983, Gíslason o.fl. 1998).

2.3. Samspil botns og vatnslags

Með mörgum rannsóknum hefur verið sýnt fram á sterk tengsl milli þess sem gerist á botni og í vatnslagi í grunnnum vötnum og að sveiflur geta orðið í því hvort vegur þyngra frumframleiðsla á botni eða í vatnslagi (sbr. Schaffer o.fl. 1993, Jeppesen o.fl. 1997). Á því skeiði sveiflunnar sem frumframleiðsla í vatnslagi er ríkjandi einkennist ástandið af gruggi, lítilli birtu í vatninu og því að vatnablómi er algengur (oft bláþörungur). Á hinn bóginn einkennist tímabilið þegar botnlæga frumframleiðslan er ríkjandi af tæru vatni, góðum vexti háplantna og miklum þéttleika dýrasvifs sem lifir á svifþörungum (vatnaflóa). Fiskur sem nærast á dýrasvifi er ásamt næringarefnaauðgi sá drifkraftur sem veldur tímabilaskiptingunni í þessum næringarauðugu suðrænu vötnum með fjölbreytt fiskasamfélag. Greining slíkra orsakavalda er undirstöðuatriði ef skilja á orsakasamhengi innan vistkerfisins, einkum þó ef unnt er að greina keðjuverkanir. Fjölmargra afturvirkra áhrifa gætir þegar þessar breytingar eiga sér stað. Gisin þekja háplantna eða botnþörungna hlýtur að auka líkur á meira uppróti botnsets en ella af völdum vinda en það gæti dregið enn frekar úr birtu við botn og flýtt því að ferlar í vatnslagi verði ríkjandi. Fæðunám fiska sem lifa á groti gæti einnig aukið grugg (sjá Jeppesen 1998).

Sveiflur í lífríki Mývatns virðast að nokkru leyti koma heim við þessa lýsingu þar sem ferlar í vatnslagi og á botni ríkja á víxl eins og ástandinu hefur svo oft hefur verið lýst í öðrum grunnnum vötnum. Þó má vera að orsakasamhengið sé ólíkt því sem gerist í grunnnum, næringarríkum vötnum á meginlandi Evrópu, sem oft hefur verið lýst, og mörg einstæð sérkenni Mývatns gera ferlana í þessu vistkerfi ólíka ferlum sem lýst hefur verið í vötnum þar sem

skiptast á stöðugleikatímabil þegar ýmist eru ríkjandi ferlar í vatnslagi eða ferlar á botni. Mývatn einkennist ekki af tímabilum þar sem ríkir stöðugleiki, heldur virðist innbyggð í kerfið sterk tilhneiging til snöggra umskipta milli tímasteiða þar sem ferlar á botni og ferlar í vatnslagi eru ríkjandi. Þetta gæti bæði stafað af því hve ólíkt fiskasamfélag er annars vegar í Mývatni og hins vegar í vötnum á meginlandi Evrópu (þ.e. engar tegundir vatnakarpa eru í Mývatni og óvenju mikill þéttleiki botndýra sennileg afleiðing þess). Í Mývatni eru botnþörungar (kísilþörungar og kúluskítur) ríkjandi, sem er einnig frábrugðið því sem almennt gerist í sveifluvötnum á meginlandi Evrópu þar sem hágróður er ríkjandi á botni. Eins og áður getur er *Tanytarsus* aðalbotndýrategundin í Mývatni og þær 4-7 ára sveiflur sem verða í þessari tegund gætu verið aðalorsök annarra sveiflna í vistkerfinu. Ef ekki kemur til verulegt afrán fiska á þessari tegund má vera að stofnstærðarsveiflur ráðist af tengslum innan tegundarinnar þar sem hámarkstalan getur verið allt að 188.000 einstaklingar/m² og farið á nokkrum árum niður í lágmark svo að einungis eru nokkrir einstaklingar á hvern fermetra (sjá kafla 2.8). Langtímarannsóknir á *Tanytarsus* og öðrum mýtegunum í Mývatni (Einarsson o.fl., í handriti) hafa líka sýnt að einstaklingsstærð breytist í öfugu hlutfalli við þéttleika meðal ríkjandi mýtegunna (þ.m.t. *Tanytarsus*), sem styður kenningu um fæðutakmörkun þegar fjöldinn er mestur. Að auki hefur komið í ljós að sumar mýtegundir sveiflast í takt, hvað varðar vöxt og fjölda, en aðrar ekki, og því hafa Árni Einarsson o.fl. útilokað áhrif ólífrænna þátta, svo sem hitafars og annarra lífrænna þátta (afráns) en að framan getur, sem helstu orsakavalda sveiflnanna í *Tanytarsus*-stofninum. Ef fækkun *Tanytarsus* leiðir til þess að dregur úr viðnámi yfirborðssetlaga við blöndun af völdum vinda, þá er fundin líkleg skýring á því hvað hrindi af stað „vatnslagsskeiði“ (e. pelagic phase). Aukið grugg bætir skilyrði fyrir *Anabaena*-blóma, sem virðist samstíga hruni í *Tanytarsus*-stofninum.

2.4 Sveiflur og hugsanleg orsakasambönd í vatnslagi Mývatns

Langtímarannsóknir í Mývatni benda reyndar til áberandi sveiflna í dýrasvifi. Slíkar breytingar koma fram bæði í botngildrum og sýnum úr vatnslaginu og virðast vera í takt a.m.k. hvað verðar helstu tegundir vatnaflóa, *Daphnia longispina* (langhalafló) og *Eurycercus lamellatus* (kornátu). Þetta eru jafnframt þær tegundir dýrasvifsins sem eru mikilvægust fæða fiska og fugla. Árin 1995 og 1996 var stofn *Daphnia* stór en árið 1997 var stofninn í mikilli lægð. Árið 1998 fór stofninn aftur hægt vaxandi. Þetta mynstur kom fram í sýnum frá öllum sýnatökustöðum í Syðriflóa. Eins sýndu botngildirur (1990-1998) lítinn þéttleika af *Eurycercus* árið 1997 og að hluta til 1998 en meiri þéttleika árin þar á undan. Lægðir í stofnum dýrasvifs og hrun í *Tanytarsus* virðast fara saman. Mjög mikið hrun varð í stofni *Tanytarsus* árin 1983, 1987/88 og 1997/98, þar sem síðasta tímabilið fór saman við minnkun dýrasvifs. Mesti þörungablómi *Anabaena* á síðari árum var í báðum flóunum á árunum 1987-89, en einnig eru til gögn um fremur mikinn lífþunga mörg sumur áttunda áratugarins og árið 1984. Þótt finna megi einhverja fylgni mismunandi þátta vistkerfisins í hámarki og lægðum veldur sá tími sem getur liðið áður en svörun kemur fram því að slíkt mynstur samsvarana þarf ekki að endurspeglar orsakasambengi innan kerfisins. Þörungablómi getur orðið mjög skömmu eftir að einhverrar breytingar verður

vart í umhverfinu en svörun dýrasvífs er nokkru hægari og hliðrast yfirleitt svo mánuðum nemur. Fiskur er á hinn bóginn háður árgöngum og svörunartími hans mælist í árum. Hagstæð umhverfisskilyrði sem leiða til sterkra árganga koma ekki fram í netaveiði fyrr en eftir 2-4 ár. Á hinn bóginn getur alvarlegur fæðuskortur komið fljótt fram í versnandi holdafari („þyngdarstuðli“) og hækkandi dánartölu. Samkvæmt fyrirbyggjandi gögnum virðis *Anabaena*-blómi tengjast gruggi og mjög óhagstæðum skilyrðum fyrir fisk. Uppsveiflur í *Daphnia* er ekki unnt að tengja *Anabaena* á ótvíræðan hátt en árin 1972, 1976, 1978, 1980 og 1981 voru talin „góð“ *Daphnia*-ár en 1979 „slæmt“ (óbirt gögn). Þetta grófa mat á stöðu *Daphnia* sýnir lítið sambengi við þéttleika *Anabaena* en í þessum grófu athugunum er ekki tekinn með í reikninginn stað- eða tímabundinn munur. Þegar einungis er tekið tillit til stofnstærðar *Daphnia* (og *Eurycercus*) virðist mest vera af *Anabaena* og minnst af vatnaflóm og *Tanytarsus* á sama tíma, sem bendir til þess að þarna geti verið um orsakasambengi að ræða.

2.5 Orsakir *Anabaena*-blóma

Anabaena-blómi er engin nýlunda í Mývatni. Árni Einarsson (1982) komst að því í greiningu sinni á borkjörnum úr seti Mývatns að slíkur blómi hefur verið algengur í sögu Mývatns. Þörungablómi hefur verið skráður nær árlega síðan rannsóknir voru fyrst gerðar á lífríki Mývatns snemma á öldinni (Aðalsteinsson 1979) þótt mikill munur sé á því milli ára hve öflugur blóminn er. Þekktur er fjöldi þátta sem að öllu jöfnu hefur jákvæð áhrif á þróun blóma bláþörungna í stöðuvötnum (Faafeng og Hessen 1993, Hessen 1997, Elser 1999, Hyenstrand 1999). Ber þar fyrst að nefna að (tiltölulega) mikil ákoma P (fosfórs) virðist oft skipta mjög miklu máli fyrir vöxt og viðgang flestra tegunda bláþörungna en hlutfall níturs og fosfórs (N:P-hlutfall) er einnig mjög mikilvægt. Lágt hlutfall N:P bætir ávallt stöðu bláþörungna sem geta bundið N (eins og *Anabaena*). Jafnframt getur saur dýrasvífs og einkum fiska komið bláþörungum vel, bæði vegna hagstæðs hlutfalls næringarefna (Hessen 1997) og einnig vegna þess að næringarefnin losna í skömmtum (Hyenstrand 1999). Hátt hlutfall ammoníaks á móti nítatri virðist hagstætt bláþörungum (sbr. Hyenstrand 1999). Það er verulegur ókostur við gögnin frá Mývatni að ekki hefur verið safnað reglubundum upplýsingum um tegundasamsetningu og líffunga jurtasvífs né styrkleika næringarefna á nógu löngu tímabili. Fyrirbyggjandi gögn benda þó til þess að hlutfall N:P sé yfirleitt lágt, reyndar furðu lágt. Þau benda flest til þess að hlutfallið sé yfirleitt um 1:1 miðað við þyngd, sem er miklu lægra en það hlutfall N:P sem talið er ákjósanlegast fyrir flestar tegundir jurtasvífs (Redfield-hlutfall), það er 7. Þannig er forsenda ójafnvægis í N:P-hlutfalli greinilega fyrir hendi í Mývatni, sem bendir til þess að aukin ákoma á fosfórmagni, P, leiði fljótt til yfirburða *Anabaena* yfir aðrar tegundir plöntusvífs. Fosfórmagn getur aukist þegar upprót eykst af botni og/eða botngróður á erfitt með að binda P. Augljóslega er meginmunur á grunnum og djúpum vötnum að þessu leyti vegna hugsanlegra áhrifa hágróðurs, botnþörungna eða gruggs vegna setrasks í grunnum vötnum. Þó er það svo af fyrrgreindum ástæðum að undirstöðuatriði í líkani Scheffers o. fl. (1993), þar sem gert er ráð fyrir að jafnvægisstaða náist við tvenn mismunandi skilyrði, virðast ekki skýra vel sveiflur í vistkerfi Mývatns. Grundvallarkennisetningin samkvæmt þessu líkani (sem er stutt miklum

gögnum víða að, sjá Jeppesen 1998) er mikil fylgni milli rýnis (mælt sem Secchi-dýpi) og þess dýpis sem setur þrífum hágróðurs mörk. Aukinni næringarefnaákomu fylgir ávallt minnkandi rýni vegna aukins magns svifþörunga. Þegar svo er komið að rýnið minnkar umfram einhver ákveðin mörk hverfur botngróður og kerfið er þar með komið á nýtt stig (nýtt jafnvægisástand ríkir) þar sem svifþörungar einir nýta næringarefnin og botnrót minnkar rýnið enn frekar. Þetta ferli getur því aðeins gengið til baka og komist aftur á það stig sem einkennist af hágróðri og tæru vatni, að dregið sé mikið úr næringarefnaákomu, þar sem P verður að fara langt niður fyrir þau mörk sem giltu í kerfinu þegar vatnið hætti að vera tært og byrjaði að gruggast. Hugsanlegt er að hrun í *Tanytarsus*-stofninum geti tengst því að Mývatn byrjar að gruggast. Hrunið getur aukið á upprót sets og losun næringarefna, sem leiðir til blóma *Anabaena*. Það rýrir síðan enn frekar vaxtarskilyrði botngróðurs. Athyglisvert er hve frumframleiðsla á botni Mývatns gegnir miklu hlutverki. Mat sem fram fór í rannsóknunum 1972-73 (Jónasson 1979) bendir til að frumframleiðsla á botni í báðum flóum sé 10 sinnum meiri en samanlögð frumframleiðsla svifþörunga, þar sem botnlægir kísilþörungar standa undir um 70% allrar frumframleiðslu. Það er því augljóst að botnlæg frumframleiðsla situr nær ein að þeim fosfór sem kemur úr seti í „venjulegum“ sumrum ef ekki kemur til hrun í stofni *Tanytarsus* og mikil fosfóraukning með því gruggi sem því fylgir.

2.6 Ákoma næringarefna

Það að *Anabaena* hefir nú verið til staðar í 2000 ár bendir ekki til þess að rekja megi blóma þessa þörungs til ofauðgi næringarefna upp á síðkastið. Þó er það svo að aukin ákoma P gæti bætt skilyrði fyrir *Anabaena* en aukning N myndi fremur rýra vaxtarskilyrði þörungsins. Í þessu sambandi er það meginspurning að hve miklu leyti næringarefnaákoma frá Kísiliðjunni eykur P í því formi sem lífverur geta nýtt sér. Um þessa spurningu var einnig fjallað í rannsóknunum 1972-73 þegar Ólafsson (1979) áætlaði nýlega ákomuaukningu N 38 % og P 3%. Í nýlegri rannsókn („Uppleyst næringarefni í frárennsli Kísiliðjunnar“) var áætlað að hluti Kísiliðjunnar í aukningu næringarefna í Mývatni, vegna frárennslis af gúr sem dælt hefur verið upp, væri ekki meiri en 37% af N-aukningunni og 32% af P-aukningunni.

Til að setja aukningu N í samhengi er rétt að geta þess að niturnám *Anabaena* getur í sumum árum farið yfir 8 g N/m², sem er sex sinnum meira en áætluð aukning vegna frárennslis Kísiliðjunnar (1,35 g N /m²). Einnig lítur út fyrir að ákoma N vegna áburðarnotkunar geti orðið meiri en sú sem stafar af framleiðsluferli verksmiðjunnar. Meginspurningin varðar þó P, en ekki N, og 32% hlutdeild í aukningu P (að mestu í formi sem plöntur geta nýtt sér) getur augljóslega stuðlað að *Anabaena*-blóma. Eigi að síður álitum við að meginorsakir *Anabaena*-blóma tengist lotukenndri losun P úr seti og þar með meira magni af því en endranær.

2.7 Áhrif á dýrasvif og hærri þrep fæðuvefsins

Anabaena er léleg fæða fyrir dýrasvif, einkum þau sem sía vatnið til að afla sér fæðu, eins og *Daphnia*. Stærð og lögun þörungsins gera dýrasvifinu erfitt fyrir við fæðuöflun og jafnframt er næringargildi bláþörunga yfirleitt lágt *Daphnia* ræður illa við að nýta sér *Anabaena* ef þéttleiki er

mikill, eins og fram hefur komið í fjölda rannsókna (sjá Gulati o.fl. 1990, Jeppesen o.fl), og þetta hefur einnig verið staðfest með greiningu á fæðu dýrasvifs í Mývatni (Jónasdóttir, óbirt handrit). Áhrif mikils þéttleika *Anabaena* á *Daphnia* eru ekki augljós en gögn þau sem til eru benda til þess að þau séu neikvæð fyrir vatnaflærnar í Mývatni. Ítarlegar rannsóknir á samspili dýrasvifs og plöntusvifs 1972-73 (Aðalsteinsson 1979) sýndu þó greinilega að ekki fóru endilega saman hnignun *Daphnia* og vöxtur *Anabaena*. Ef önnur fæða er nægileg getur *Daphnia* haldið áfram að þrífast, jafnvel þegar þéttleik *Anabaena* er mikill. Í Haugatjern, sem er næringarríkt vatn með mikla fiskframleiðslu (*Coregonus* sp.), eru þörungategundirnar *Anabaena flos-aquae* og *Staurastrum luetkemulleri* í sambyli við *Daphnia galeata*, sem er mikilvæg fæðutegund fiska (Reinertsen o.fl. 1989). Vegna þess hvernig *Anabaena* er í laginu og hefur lítið næringargildi væru skilyrði fyrir *Daphnia* slæm ef þetta væri eina tegund svifþörungna í kerfinu.

Mikill þéttleiki hefur áreiðanlega neikvæð áhrif á *Daphnia* en svo virðist þó sem þéttleiki (stórra *Daphnia* geti hindrað blóma *Anabaena* annaðhvort með beinum hætti (beit) eða óbeinum hætti (hringrás næringarefna). Ekki eru til nægilega samfelld gagnasöfn um *Daphnia* frá nógu löngum tíma til þess að kanna orsakasambönd milli *Anabaena* og fækkunar *Daphnia*. Þótt þetta samband í Mývatni sé ekki nægilega vel rannsakað teljum við að mikill blómi *Anabaena* hafi neikvæð áhrif á *Daphnia*. Sveiflur sem sýna hvenær mest er og minnst af tveimur mikilvægum fæðudýrum fugla og fiska, *Daphnia* og *Eurycercus*, eru að mestu leyti í takti, en það gæti verið af mismunandi ástæðum. Versnandi birtuskilyrði og minnkandi vöxtur *Cladophora* og botnlægra kísilþörungna geta einnig orðið til þess að *Eurycercus* eigi erfiðara uppdráttar en ella. Venjulega fer saman fækkun í stofni *Tanytarsus* og flestra mýteygunda, og allt kerfið skilar lítilli framleiðslu á öllum þrepum fæðuvefsins. Það er hins vegar ekki á verksviði höfunda þessarar skýrslu að fara nánar út í ferla innan vistkerfisins.

2.8. Sveiflur í fiskstofnum og samband þeirra við fæðustofna

Það er einkennandi fyrir stofna fiska að stærð einstaklinga er mjög breytileg og getur munurinn numið mörgum stærðargráðum. Hið sama á reyndar við um flesta aðra hluta fæðuvefja í vatni, þ.m.t. dýrasvif og tegundir hryggleysingja af stærra taginu (Werner 1988). Þessi breytileiki þýðir að stærðarháð tengsl rándýra og fæðustofna þeirra og samkeppni sem hefðbundnar vistfræðikenningar ná ekki til verða mikilvæg. Þetta gildir t.d. um áhrif stærðar á sjálfsafrán og samkeppni milli árganga (McCauley o.fl. 1988, Persson o.fl. 1998, Claessen o.fl. 2000). Sýnt hefur verið fram á að samkeppni milli árganga fiska sem nærast á svifi getur valdið mislögnum sveiflum (Hamrin og Persson 1986, Townsend o.fl. 1990, Auvinen 1994). Sýnt hefur verið fram á að sjálfsafrán ásamt samkeppni milli árganga hefur valdið sveiflum á 7-8 ára fresti í tveimur tegundum vatnakarpa, *Perca fluviatilis* og *Perca flavescens* (Sanderson o.fl. 1999, Persson o.fl. 2000). Það gildir bæði um samkeppni milli árganga og sjálfsafrán að það eru gagnkvæm áhrif innan fiskstofna sem stjórna breytingum í þeim og tengdum sveiflum í fæðustofnum, eins og svifdýrum, en ekki „klassísk“ tengsl rándýrs og bráðar. Tilraunaniðurstöður og athuganir á náttúrulegum vistkerfum benda til þess að bæði hornsíli og bleikja hafi burði til að grisja stofna dýrasvifs (Dahl-Hansen 1995, Langeland 1995). Sveiflur í

stofnum bleikju og hornsíla geta því vel verið orsök tengdra sveiflna í þéttleika dýrasvifs. Enda þótt gögn sem fyrir hendi eru séu ekki nógu ítarleg benda vöktunarrannsóknir bæði á bleikju og hornsílum til þess að miklar sveiflur séu í stofnum þeirra í Mývatni. Tilraunaveiðar árin 1986-1998 sýna að átta ár liðu milli toppa (1987, 1995) í hámarksaflla á sóknareiningu (Guðbergsson, pers. uppl.). Rétt er að benda á að þessar sveiflur, þ.m.t. sveiflur í fæðustofnum eins og *Daphnia*, eru langt frá því að vera einsdæmi í Mývatni og hafa verið skráðar í vötnum þar sem framleiðsluskilyrði eru mjög ólík (Dahl-Hansson 1995, Cryer o.fl. 1986, Hamrin og Persson 1986, Persson o.fl. 2000). Eins og áður er getið hefur verið safnað gögnum sem sýna sveiflur í holdafari og dánartölu bleikju í Mývatni sem benda til breytinga á fæðuframboði. Sveiflurnar eru háðar stærð bleikjunnar (Guðbergsson, óbirt gögn; gögn um breytingar á holdafari hornsíla voru ekki til). Enda þótt gögnin séu ófullnægjandi og túlkun þeirra því takmörkunum háð, er hugsanlegt að fækkun hornsíla 1993/1994, sem tengdist ekki fækkun dýrasvifs, hafi getað stafað af afráni bleikju. Við munum þó ekki fara nánar út í tengsl bleikju, hornsíla og fæðustofna þeirra í dýrasvifinu, aðallega vegna þess að gögn skortir um bleikju á fyrsta og öðru ári og að hluta til einnig á þriðja ári. Því verður öll túlkun mikilli óvissu háð.

Það er grundvallarforsenda kenningarinnar um að tengsl sem mótast af stærð fiska á efsta stigi fæðukeðjunnar stjórni þeim sveiflum sem eru í lífríki Mývatns, að bleikja og/eða hornsíli geti haft áhrif á hve mikið er af *Tanytarsus*. Gögn um fæðu bleikju benda til þess að *Tanytarsus* sjáist sjaldan í fæðu bleikju (Guðbergsson, óbirt gögn, pers. uppl.), en hins vegar getur fæða hornsíla að stórum hluta verið *Tanytarsus* (Gíslason o.fl. 1998). Í rannsókn á fæðuvali bleikju á fyrsta ári kom í ljós að litlar og stórar mýlirfur og strandbundin krabbadýr voru mikilvæg fæða (Rantha-Aho 1983). Gögn um magainnihald fiska eru þó ekki nógu ítarleg til að komast að niðurstöðu um hæfileika hornsíla og bleikju til að stjórna og/eða tempru *Tanytarsus* og er tilrauna þörf til að kanna það mál. Ef samfélag fiska getur ekki nýtt sér með skilvirkum hætti fæðustofna eins og *Tanytarsus* í botni er það einsdæmi og gagnstætt því sem þekktist um samfélög fiska á meginlandi Evrópu þar sem mikil áhrif botnlægs fisks á botndýr eru vel þekkt (Scheffer o.fl. 1993, Jeppesen o.fl. 1997). Ástæða þess að svo kynni þessu samt að vera farið í Mývatni er tegundafæð fiskasamfélaga á Íslandi og að afkastamiklar botndýraætur, sem eru til staðar á meginlandi Evrópu, einkum vatnakarpattegundir, eru ekki til á Íslandi. Sé gert ráð fyrir því að hornsíli geti ekki stjórnað *Tanytarsus*-magninu hlýtur að vera hugsanlegt að stofnstærðarsveiflur helstu tegunda í lífríki Mývatns ráðist einkum af tvennu: tímahliðrun í þéttleikaháðum breytingum í *Tanytarsus* annars vegar og stærðarháðum tengslum í stofnum fiska hins vegar. Það er í samræmi við þessa túlkun að mikill lífbungi *Anabaena* virðist nátengdur litlum þéttleika *Tanytarsus* en hins vegar er þéttleikasamband milli *Anabaena* og *Daphnia* ekki eins ljóst. Þessi túlkun stendur og fellur með því að þau tvenn orsakatengsl sem lýst var í kafla 2.2. séu virk. Það er þó ljóst að meiri rannsókn er þörf til að kanna þetta.

2.9 Ályktanir um hvort og að hve miklu leyti vistfræðirannsóknir hingað til geti skýrt sveiflurnar í lífríki Mývatns

Vistfræðirannsóknir í Mývatni hafa staðfest mjög athyglisverðar sveiflur þar sem allir meginþættir fæðukeðjunnar virðast koma við sögu. Nokkrar tilgátur hafa verið settar fram um eðli og orsakir sveiflnanna. Mat okkar er, að núverandi vistfræðirannsóknir geri ekki kleift að fullyrða svo óyggjandi sé hvað stjórn sveiflunum í vistkerfi Mývatns. Eigi að síður er vistfræðipekking orðin nægileg til þess að benda má á hvers konar rannsóknir gætu skorið úr þessu. Ástæður þess að fyllri skilning skortir eru þær að:

- 1 Rannsóknir sem sérstaklega beindust að lykilatriðum í fæðukeðjunni hófust ekki fyrr en eftir 1990, og;
- 2 Þær tilgátur sem settar hafa verið fram um orsakatengsl hafa yfirleitt ekki verið sannprófaðar með tilraunum.

Nánara mat á mikilvægi þátta sem hafa áhrif á vistkerfi Mývatns sem er fjallað um hér í 2. verkefni krefst rannsókna sem fela í sér meiri sýnatöku en áður, tilraunir og gerð reiknilkana. Þessar rannsóknir verða ræddar í 4. verkefni. Sjá má ýmislegt sameiginlegt því ferli sem sést í allmörgum grunnum, næringarríkum vötnum, þar sem ástand þeirra getur ýmist verið þannig að þau eru gruggug og svifþörungur allsráðandi í framleiðslunni eða tær og botnlægur gróður aðalframleiðandi.

Ekki virðist unnt að segja að Mývatn einkennist á víxl af tvenns konar stöðugleika í samræmi við kenninguna um grunn, næringarrík vötn, heldur af samhangandi sveiflum. Til þess að skýra sveiflurnar settum við hér fyrr í kaflanum fram tvær tilgátur sem útiloka ekki endilega hvor aðra.

Þá höfum við sérstaklega bent á eyður í skilningi á vistkerfi Mývatns.

Hvað varðar *næringarsölt - þörungasvif - dýrasvif* þá vantar bæði langtímamælingar og tilraunir varðandi samband næringarefna og svifþörungur og samband *Anabaena* og *Daphnia*.

Langtímavöktun Mývatns hefur leitt af sér nokkrar raðrannsóknir sem eru einstakar, sérstaklega hvað varðar fuglalíf og rykmý, sem e.t.v. eru þeir tveir þættir vistkerfisins sem mestan áhuga vekja í Mývatni. Þá eru einnig til gögn um fleiri þætti vistkerfisins sem menn mega vera stoltir af

En að frátöldum hinum miklu rannsóknum á síðari hluta áttunda áratugarins skarast rannsóknargögn um hina ýmsu þætti því miður ekki nóg – auk þess sem almennt skortir tilraunir - til þess að unnt sé að fullyrða fyrirvaralaust hvernig hlutirnir tengjast, hvert orsakasamhengið sé milli þeirra og hvað stjórn sveiflunum.

Raðgögnin hafa fætt af sér tilgátu sem skýrir sveiflurnar í *Tanytarsus*. En *Tanytarsus*-gögnin eru hins vegar að mestu leyti byggð á veiðum á fullorðnum flugum í gildrum á landi, og nauðsynlegt er að bæta við rannsóknum á flugulirfum í botni svo að unnt sé að mæla þau

Þéttleikaháðu áhrif sem samkvæmt tilgátunum eiga sér stað á lírfustigi. Einnig er nauðsynlegt að bæta við vettvangsrannsóknnum og tilraunum sem beinast að meintu sambandi þéttleika *Tanytarsus* og samsetningar botnleðjunnar.

Tiltæk gögn um hin mismunandi þrep fæðukeðjunnar eru þannig ófullnægjandi ná yfir stutt tímabil og á það við um gagnþurrð varðandi stofnbreytingar í yngstu bleikjuárgöngunum, sumargömlum og árgömlum fiski.

Nákvæmari gögn vantar um aldursháðan vöxt, afföll og þrif, bæði bleikju og hornsíla, svo meta megi hvort og hvernig sultur getur haft áhrif á stofnstærð þessara tegunda. Ennfremur veldur nær algjör skortur á gögnum um bleikju tvö fyrstu æviárin því að við getum ekki skilið til fulls tengslin milli svifdýra, hornsíla og bleikju.

Loks erum við þeirrar skoðunar að rannsóknir, sérstaklega á bleikju, ættu að tengjast betur rannsóknnum á vegum RAMÝ en okkur fannst að bleikjurannsóknirnar væru tiltölulega einangraðar frá öðrum rannsóknnum í Mývatni.

Svo virðist sem sveiflurnar ráðist af eðlislægum stofnþáttum sem bæði eru fyrir hendi hjá slæðumýinu (*Tanytarsus*) og fiskinum og þarf tilgátan um hvora orsökina fyrir sig ekki endilega að útiloka hina. Augljós séreinkenni Mývatns eru tegundafátækt fiska og hin einstæða framleiðsla botngróðurs. Þetta gerir vatnið einstakt, borið saman við önnur vel rannsökuð grunn vötn á meginlandi Evrópu. Þótt nákvæm greining á tengslum í fæðukeðjunni sé utan þeirra marka sem þessari skýrslu eru sett ræður það ekki úrslitum um þær almennu ályktanir sem hér fara á eftir. Þá viljum við enn og aftur taka sérstaklega fram að sveiflur eins og sjá má í Mývatni eru engan veginn bundnar við það eitt, heldur eru miklar sveiflur í lífríki einkenni á mörgum grunnum vötnum (t.d. Jeppesen 1998), og finna má miklar sveiflur í stærð fiskstofna í dýpri næringarsnaudum (oligotrophic) vötnum (Hamrin og Persson 1986, Dahl-Hansen 1998, Sanderson o. fl. 1999, Persson o.fl. 2000).

Verkefni 3. Mat á áhrifum kísilgúrvinnslunnar og reksturs verksmiðjunnar á vistkerfið

Fæstar rannsóknir á vistkerfi Mývatns hafa haft það að markmiði að rannsaka áhrif kísilgúrvinnslunnar á lífríkið. Rannsóknarverkefnið hafa að mestu verið bundin við Syðriflóa. Ein aðferð til að rannsaka áhrif dýpkunar er að bera svæði sem raskað hefur verið í Ytriflóa saman við óröskuð svæði í Syðriflóa á tímabilinu frá því að vinnsla hófst árið 1967 en það var ekki gert markvisst fyrr en upp úr 1990. Niðurstöður rannsókna þar sem mismunurinn er borinn saman hafa yfirleitt ekki verið birtar en voru kynntar hópnum í heimsókn til Íslands í september sl. Þetta voru vöktunarrannsóknir á bleikju (G. Guðbergsson, pers. uppl.), fuglum (Kísiliðjan, september 1999), hornsílum, helstu tegundum krabbaflóa, s.s. *Daphnia* og *Eurycercus*, og bláþörungnum *Anabaena* (Á. Einarsson, pers. uppl.).

3.1 Breytingar á botni og botndýralífi

Bein og augljós áhrif kísilgúrnámsins eru þau að næringarríku seti er dælt upp ásamt þeim lifandi plöntum og botndýrum sem þar eru, svo og dýpkun vatnsins. Talsverður hluti lífræns sets sem verður til í Ytriflóa flyst niður á dýpkudu svæðin svo að á svæðunum í kring verður eftir næringarminni sandkenndur botn.

Um stækkun vinnslusvæðanna og breytingar á flóanum hennar vegna hefur verið fjallað í öðrum skýrslum og verður því ekki farið út í það hér. Hin beinu áhrif á rótfastan gróður á svæðunum sem dælt hefur verið af eru ótvíræð af augljósum ástæðum. Því miður hefur verið grafið oftan en einu sinni á flestum stöðum svo að erfitt er að gera sér grein fyrir því hvort gróður á svæðunum nær sér aftur. Aðallega eru það þrjú atriði tengd námagreftinum sem skipta máli:

1. Flutningur á lífrænu seti niður í námagryfjunnar (í daglegu tali nefnt setflutningar) leiðir til þess að þau dýr sem éta set hafa þar úr mestu að moða og framleiðsla þeirra flyst þangað.
2. Búsvæði botnþörunga, aðallega kísilþörunga og kúluskíts, færast á meira dýpi.
3. Breytingar á flæði næringarefna og breytingar á fæðuvefnum.

Um **fyrsta atriðið** er það að segja að lítið liggur fyrir af mælinga- og rannsóknargögnum um þessi áhrif [þ.e. áhrif breyttra setflutninga á dýralíf, innskot þýðanda], en nokkrar athuganir staðfesta að þetta eigi sér stað, og setflutningalíkön styðja það einnig. Sýni frá því í ágúst 1990 sýndu að meira var af rykmýslirfum á svæðum sem dælt hafði verið af en á tveimur sýnatökustöðum á svæðum sem ekki hafði verið dælt af (43.470 og 63.300 dýr/m² á fyrrnefndu svæðunum, en 990 og 11.740 dýr/m² á tveimur stöðum á botni utan dælingarsvæðanna; Árni Einarsson og M.L. Magnúsdóttir 1993). Þar eð rykmýslirfur lifa á seti eru þær notaðar við flokkun vatna með tilliti til framleiðslu þeirra á lífrænu efni (Aagaard 1986). Samkvæmt því ættu að vera betri búsvæði fyrir mýlirfur niðri í gryfjunum en á grunnum svæðum sem ekki hefur verið dælt af, eins og áður nefnd gögn benda til.

Að því er við best vitum eru þó ekki til gögn sem sýna á óyggjandi hátt að lífþyngd sé minni eða botndýralíf fábreyttara á botni sem ekki hefur verið raskað með vinnslu þótt minna sé þar af lífrænu seti.

Annað atriðið skiptir miklu máli. Ef dælingin yrði til þess að dýpið á stórum svæðum færi niður fyrir jafnvægismörk ljóstillífunar yrði það til þess að heildarframleiðnin myndi minnka, því hún fer að 2/3 hlutum fram á botninum (P. Jónasson 1979). Því miður vantar yfirleitt rannsóknir á birtuferlum og á því hvaða dýpi ráði úrslitum um hvernig kísilþörungum og *Cladophora* reiðir af en Pétur Jónasson, Hákon Aðalsteinsson (1979) og Jón Ólafsson (1979) gera því skóna að það sé aðallega birtan sem takmarkar framleiðni kísilþörungna við botn. Það fer að sjálfsögðu eftir því hve vatnið er mikið gruggað hve dýptin hefur mikil áhrif. Borkjarnarannsóknir, sem ná til ástandsins fyrir á öldum (Á. Einarsson 1982), benda eindregið til þess að neðri mörk stórblóma í *Cladophora* séu við um 1 m í seti (4 m vatnsdýpi). Útbreiðsla lykiltegunda botnþörungna með tilliti til dýpis, sem Arnþór Garðarsson o.fl. athuguðu (1985), sýndi að kjördýpi flestra tegunda var 0,5-2,0 m, nema kúluskíts (colonial *Cladophora*) sem mest er af þar sem flóinn er dýpstur. Hundung (1979) mældi jákvæða ljóstillífun á rúmlega 2,5 m dýpi og fann hámark í súrefnisframleiðslu á 1,5-2,0 m dýpi. Engin sambærileg gögn eru til um botnlæga kísilþörungna sem eru jafnvel enn þýðingarmeiri. En sé tekið mið af rannsóknum sem Hákon Aðalsteinsson og Pétur Jónasson (1979) gerðu á framleiðni á mismunandi dýpi, þá er hún mest á 1-2 m dýpi en mestan hluta framleiðslutímabilsins mældist framleiðni lífræns efnis jafnvel niður fyrir 3 m dýpi. Með því að gera ráð fyrir að kísilþörungar séu fremur aðlagðir lítilli birtu heldur en hitt er ekki óvarlegt að álykta að þeir geti þolað meira en 3 m dýpi en framleiðnin verður þá minni en þar sem bjartara er.

Eins og bent hefur verið á í fjölmörgum skýrslum leiðir dýpkunin ein sér að líkindum til þess að botnlæg framleiðni minnkar en svifræn framleiðni eykst að sama skapi. Ástæðan er sú að með auknu dýpi fá svifþörungarnir greiðari aðgang að næringarsöltum. Þetta gæti orðið til þess að meira yrði af svifdýrum en áður og hornsílum fjölgaði í kjölfarið ásamt öndum sem lifa á hornsílum.

Þess vegna er ekki víst að framleiðni minnki beinlínis við að vatnið dýpki, heldur færist hún frá botninum og upp í vatnið (sjá einnig lið 3.3 hér á eftir). Borkjarnarannsóknir styrkja þessar ályktanir en þar kemur fram að meira bar á vatnsflónni *Daphnia* fyrir á öldum þegar vatnið var dýpra en henni fækkaði smám saman þegar vatnið grynnaði (Einarsson 1982).

Gert er ráð fyrir að stækka um 0,55 km² það svæði í Ytriflóa sem þegar hefur verið dýpkað (7% af flatarmáli flóans). Átlunin er að nema 13% af því svæði sem eftir er og eykur það enn við þau 48% (3 km²) sem þegar hafa verið grafin. Háplöntur hafa horfið af dýpkuðu svæðunum og ekki komið aftur, annaðhvort vegna endurtekinnar dælingar eða hreinlega vegna þess að dýpið hefur vaxið. Augljóslega gæti þetta haft áhrif á fæðuöflun álfta og anda eins og athuganir hafa þegar bent til, því að sumar tegundir kjósa fremur að halda sig utan svæða sem dælt hefur verið af (sjá 3.4 hér á eftir).

Sjá má athyglisvert mynstur í fortíðarrannsóknunum. Í fyrsta lagi virðast sveiflur í *Tanytarsus*-stofninum ekki hafa staðið mjög lengi (síðustu 200 ár) og ekki hafa byrjað fyrr en vatnið var orðið tiltölulega grunnt. Í öðru lagi hefur *Daphnia* farið fækkandi eftir því sem vatnið grynntist, og hinar áberandi *Cladophora*-þekjur eru einnig „ný“ fyrirbrigði og af augljósum ástæðum tengd grynnskun vatnsins.

Með nokkurri varfærni má því segja að dýpkun vatnsins sé afturhvarf til fortíðar um nokkur hundruð ár. Sú röksemdafærsla að dælingin komi í veg fyrir að vatnið fyllist og verði að mýri hefur komið fram í nokkrum skýrslum. Að okkar mati eiga þessi rök við um grunnu svæðin í Ytriflóa. Dýptarmælingar í Syðriflóa 1955, 1993 og 1999 sýna að sums staðar hefur dýpið ekkert breyst en annars staðar hefur vatnið grynnað um 90 cm.

Miðað við núverandi sethraða og að frekari grynnskun myndi flýta þróuninni, þá er bersýnilegt að dælingin hefur tafið fyrir því að Ytriflóa fyllist og yrði að mýri á stórum svæðum. En jafnframt gæti sú dýpkun sem orðin er hafa valdið því að búsetuskilyrði fugla hafi versnað þar verulega.

Sú ályktun sem draga verður, þótt gögnin séu rýr, er að dýpkun Ytriflóa, bæði með tilliti til þess hve djúpt hefur verið grafið og á hve stóru svæði, hlýtur óhjákvæmilega að valda breytingum á samspili þátta í fæðukeðjunni. Einkum höfum við áhyggjur af því að breytingin á botnframleiðninni og framleiðninni í vatnslaginu og samspilinu þar á milli kunni að hafa breytt flóanum í síðri bústað fyrir fugla en áður var (sjá lið 3.5 um ástæður þess að ekki er unnt að benda ótvírætt á neikvæð áhrif á fuglalífið)

3.2 Flæði næringarefna

Ein óbeinu áhrifin sem kísilgúrdælingin hefur haft eru þau að næringarefni sem skolast úr leðjunni berast aftur í vatnið. Þegar vatninu og næringarríkum gúrnunum (sjá Ólafsson 1979) er dælt í safnþrær Kísiliðjunnar fer talsvert af ólífrænum næringarefnum niður í sprungur og grunnvatn. Þetta er tekið fyrir að hluta til í lið 2.6 en ýmsir útreikningar hafa verið gerðir varðandi þennan þátt. Þótt útreikningar byggist á mörgum gefnum forsendum, þá bendir einfaldur jafnvægisreikningur til þess að dælingin geri drjúgan hluta ólífrænna næringarefna sem áður voru bundin í setinu aðgengilegan að nýju. Ekki er um að ræða viðbót við næringarefni sem flytjast til vatnsins, heldur tilflutning og auðveldari aðgang en áður var að næringarsöltum. Þetta eykur ekki aðeins frumframleiðni, heldur getur það valdið því að frumframleiðnin færist frá botninum upp í efri lög vatnsins. Unnt er að draga úr þessari ákomu á tiltölulega einfaldan hátt með því að veita vatninu á gróin svæði á landi og láta plönturnar þar binda N og P.

3.3 Fiskur

Gögn eru til um árlega bleikjuveiði frá 1900-1998 (Guðbergsson, pers. uppl.). Aflinn hefur aðallega verið stór fiskur (40-50 cm), bæði vegna lágmarksstærðar fiska sem hirða má og möskvastærðar neta sem notuð hafa verið. Bleikjuafllinn á árunum 1970-1998 var að meðaltali minni (18.000 fiskar á ári) en tímabilið 1930-1969 (30.000 fiskar á ári). Árin 1905-1917 var hann um 20.000 fiskar en óx verulega um 1920, í nærri 100.000. Aflinn hefur verið mjög

breytilegur síðasta áratuginn vegna náttúrlegra breytinga á stofnstærð og stofnsamsetningu en einnig vegna breytinga á veiðiaðferðum og sókn. Frá 1986 hefur verið fylgst með stærðardreifingu bleikjustofnsins, fæðunámi hans og hlutfallslegum afla miðað við sókn (G. Guðbergsson, pers. uppl.). Það sýnir sig að stofninn sveiflast á svipaðan hátt í Syðri- og Ytriflóa og að ekki er munur milli flóanna í afla á sóknareiningu og ekki heldur á holdafari bleikjunnar á þessum tveim stöðum. Árin 1987 og 1995 voru aflahámörk í rannsóknaveiðunum án þess að það kæmi fram í veiði bænda. Þær niðurstöður benda til þess að allt eins megi skýra almenna aflaminnkun eftir 1969 með breytingum á veiðiaðferðum og sókn eins og með fækkun í silungsstofninum.

Helstu riðastöðvar bleikjunnar eru í Syðriflóa og því hefur kísilgúrvinnslan ekki áhrif á þær. Hornsíli, rykný, krabbafló (*Daphnia*), kornáta (*Eurycercus*) og vatnabobbar voru mikilvæg fæðudýr bleikju 1986-1998. Hornsíli voru mikilvæg fæða í báðum flóum 1987-88 og 1997-98 en þau voru aðalfæða bleikju á dýpkuðu svæðunum í Ytriflóa allt tímabilið 1986-98. Þetta er í samræmi við rannsóknir á hornsílum 1989-98 sem hafa sýnt að meira er af þeim í Ytriflóa.

Ályktað er að aflagögn um bleikjuveiði hafi enn ekki sýnt neinar breytingar, hvorki í tíma né á milli flóanna, sem unnt er að tengja námavinnslunni í Ytriflóa. Ekki er heldur hægt að neita því að minnkun árlegs afla eftir 1969 megi í meginatriðum skýra með breytingum á veiðiaðferðum og sókn. Ýmis gögn benda til þess að meira sé af hornsílum í Ytriflóa en Syðriflóa og að hlutfall bleikju og hornsíla hafi breyst vegna námavinnslunnar í Ytriflóa (sérstaklega vegna þess að dýpi hefur aukist).

3.4 Fuglar

Gögn um fugla bera af öðrum langtímaupplýsingum um stofnstærðir í Mývatni. Upplýsingar, fengnar vegna eggjatekju 1900-1957, sýna að orðið hafa talsverðar sveiflur (Garðarsson og Einarsson, í vinnslu).

Miklar og áberandi sveiflur hafa sést í nokkrum stofnum (húsandar, hávellu og hrafnsandar) 1910-1930. Rannsóknir á fuglastofnum eftir að kísilgúrvinnslan hófst leiða yfirleitt hvorki í ljós almenna fjölgun né fækkun. Enginn munur hefur fundist á því eftir svæðum (Syðriflóa, Ytriflóa og Bolum) hve þéttskipað var þar af hinum algengu tegundum skúföndum, duggöndum, toppöndum, rauðhöfðum og flórgoðum (Kísiliðjan 1999). Rannsóknir á búsvæðavali hafa þó sýnt að tegundir eins og rauðhöfði, flórgoði og álft halda sig meira á þeim svæðum í Ytriflóa sem ekki hefur verið raskað, árin 1992, 1993, 1995 og 1996. Svipað gilti um duggönd og skúfönd 1987-88 og 1990 (Einarsson og Magnúsdóttir 1993). Í ágúst 1990 voru duggendur og skúfendur að nýta sér bæði þau svæði sem dælt hafði verið úr og hin, og svipað gilti um toppönd sem aðallega nærast á hornsílum. Dýpkunin og brott nám gróðursins virðast hafa skapað verri skilyrði fyrir tegundir sem aðallega éta gróður, svo sem rauðhöfða og svani, en aðrar tegundir eins og toppönd, duggönd og flórgoði geta einnig nýtt sér svæði þar sem dýpkað hefur verið. Litlar upplýsingar eru til um fágætar tegundir. Vera má að breytt skilyrði á búsvæðum þessara

tegunda hafi getað haft óbein, neikvæð áhrif á þær vegna vaxandi samkeppni um fæðu eða varpsvæði.

Þótt lítið sé til af gögnum frá því áður en námavinnslan hófst er líklegt að vinnslan hafi takmarkað búsvæði nokkurra fuglategunda, sérstaklega þeirra sem lifa á gróðri. Þegar á allt er lítið er þó ekki unnt að fullyrða með vissu að námavinnslan hafi haft neikvæð áhrif á fuglalíf við Mývatn.

3.5 Ályktanir um áhrif dælingar á Ytriflóa

Okkur er kunnugt um að vísindamenn hafi talið þá skoðun frekar ólíklega og jafnvel hafnað henni að unnt væri að tengja sveiflur í vistkerfi Mývatns við starfsemi Kísiliðjunnar. Samt höfum við oftsinnis séð þess háttar röksemdafærslu beitt í þeim rituðum plöggum sem við höfum fengið til yfirlestrar. Við höfum þó ekki getað fundið þessu neina stoð í fyrirliggjandi gögnum og teljum réttara að tengja sveiflurnar innri þáttum sem tengjast fæðuvefnum, eins og nánar er útskýrt þar sem fjallað er um verkefni 2.

Gögn þar sem bornar eru saman sveiflur hinna ýmsu tegunda, sem hafast við niðri í vatninu í Ytriflóa annars vegar og Syðriflóa hins vegar, eru fátækleg (e. meagre) en hornsílagögn gefa til kynna að sveiflurnar séu meiri í Syðriflóa ef eitthvað er (Einarsson, óbirt gögn).

Með þeim mikilvæga fyrirvara að gögn vantar getum við ekki fullyrt að unnt sé að skrifa sveiflurnar á reikning kísilgúrvinnslunnar.

Aðeins hefur á óyggjandi hátt verið sýnt fram á áhrif vinnslunnar á fáa þætti lífríkisins. Nauðsynlegt er þó að taka það fram sérstaklega að skortur sönnunargagna jafngildir því ekki að engin séu áhrifin.

Einföld en eigi að síður mikilvæg staðreynd í þessu sambandi er sú að til þess að geta greint áhrif sem í raun eru til staðar hefði þurft að gera viðeigandi mælingar.

Svo sem fram kemur í verkefni 2 var starfsemi Kísiliðjunnar ekki fylgt eftir frá byrjun með markvissum rannsóknum í þeim tilgangi að kanna áhrif starfseminnar á lífríkið. Þetta finnst okkur vera mikill galli þegar meta skal áhrif vinnslunnar. Okkur þykir mjög líklegt að áhrif séu til staðar, sérstaklega hvað varðar samband framleiðslu á botni og í vatnslaginu þar fyrir ofan, en að ekki hafi verið unnt að greina þau vegna þess að markvissar rannsóknir hefur vantað.

Í ljósi þess hve stór hluti botnlagsins í Ytriflóa hefur verið fjarlægður þætti okkur raunar óeðlilegt ef áhrif væru ekki til staðar og leggjum þess vegna til að vinnslu verði hætt svo fljótt sem unnt er svo að Ytriflóa geti náð sér.

Önnur skýring á því hvers vegna ekki hefur verið sýnt fram á nein veruleg áhrif, t.d. á fuglalífið við Mývatn er sú að námavinnslan hefur eingöngu verið bundin við Ytriflóa hingað til og þess vegna hefur Syðriflóa sem er miklu stærri jafnað metin og dregið þannig úr áhrifunum. Það hlutverk Syðriflóa ætti að hafa í huga þegar meta skal hvort teygja eigi námavinnsluna yfir í Syðriflóa (sjá verkefni 5).

Þótt enn skorti á fullan skilning á fæðubrautum vatnsins teljum við samt sem áður að ekki sé unnt að tengja sveiflurnar kísilgúrnáminu á ótvíræðan hátt. Sú ályktun er einnig studd þeirri staðreynd að verulegar sveiflur hafa verið í Syðriflóa, og meðal ýmissa tegunda (t.d. hornsíla) hafa mestu sveiflurnar reyndar verið í Syðriflóa. Það virðist langsótt að sveiflur í Ytriflóa geti borist í gegnum grunnt Teigasundið og valdið greinilegum sveiflum í Syðriflóa. Ekki er þar með sagt að dælingin hafi engin áhrif, og hún gæti vel verið komin á hættulegt stig í Ytriflóa, því fæst vistkerfi bregðast beint og krókalaust við ytri áhrifum. Við höfum áhyggjur af því að öll frekari dæling í Ytriflóa geti haft slæm áhrif á tegundir eins og álfur, jafnvægið milli hornsíla og bleikju og á jafnvægið milli botnframleiðslu og svifframleiðslu yfirleitt. Vegna þess að fuglalíf og gróður eru bersýnilega viðkvæm á svæðum sem enn eru ósnortin verður að gæta varúðar. Þess vegna leggjum við til að frekari vinnslu verði hætt í Ytriflóa. Að minnsta kosti ætti að forðast að stækka núverandi vinnslusvæði.

Verkefni 4. Ráðleggingar um framhaldsrannsóknir á sveiflunum í lífríkinu

Þegar fjallað var um verkefni 2 var dregið á mörg atriði sem þarf að rannsaka til að auka skilning á þeim kröftum sem eru að verki í lífríki Mývatns. Rannsóknarverkefni sem tæki til allra hugsanlegra áhrifaþátta væri vitaskuld besta lausnin að dómi vísindamanna. Við gerum okkur þó ljóst að ekki er unnt að koma til móts við allar þarfir, og þess vegna höfum við sett fram rannsóknaráætlun sem ætti að vera framkvæmanleg með tiltölulega litlum kostnaði og einskorðast við nauðsynlegustu mælingar sem auðvelt er að gera með hæfilegu átaki. Við gerum okkur ljóst hve Mývatn er einstakt og mælum eindregið með því að stjórnvöld veiti aukið fé til þess að ljúka við núverandi rannsóknir. Einnig gerum við ráð fyrir að Kísiliðjan, sem áhrifavaldur í Mývatni, haldi áfram að kosta rannsóknarverkefnið að stórum hluta. Tekið skal fram að með því að auka við þær verulegu langtímarannsóknir sem hafa verið gerðar og stundaðar eru í Mývatni yrði ekki einungis auðveldara að sjá umhverfisáhrif fyrir, heldur fengjust þá einnig mjög mikilvægar grundvallarvísindaniðurstöður. Þó að rannsóknaraðferðir skarist nokkuð höfum við skipt verkefninu í þrjá flokka.

4.1 Vöktun

- 1 Setsýni, til að fylgjast með magni sets (aukinni þykkt þess) og lífrænu innihaldi, verði tekin á nokkrum stöðum í hvorum flóa. Nauðsynlegt er að taka setsýnin svo að fylgjast megi með áhrifum kísilgúrtökunnar.
- 2 Taka ætti sýni mánaðarlega til mælinga á köfnunarefni (heildarmagni N, nítrati og ammoníaki), fosfór (heildarmagni P og orto-P), kísil og gruggi (gegnsæi) á a.m.k. þremur stöðum í hvorum flóa. Til að geta skilið myndun þörungablóma, sérstaklega *Anabaena*, og þær breytingar sem af ýmsum ástæðum verða á vatnasviði Mývatns er nauðsynlegt að þekkja styrk og hlutfall næringarsalta.
- 3 Taka ætti svifsýni mánaðarlega á þremur stöðum í hvorum flóa. Tilgangurinn er m.a. sá að geta metið tengslin milli næringarsalta og þróunar þörungasvifs, samband dýra- og þörungasvifs og samskipti dýrasvifs og fiska sem lifa á svifi.
- 4 Taka ætti botnsýni mánaðarlega á þremur stöðum í hvorum flóa til að rannsaka botnþörunga og botnkrabba. Fylgjast þarf sérstaklega með því hvernig botnþörungur nema botninn eftir dælingu í Ytriflóa. Þá þarf að kortleggja hágróður á 2-3 ára fresti, m.a. til þess að rannsaka hvort og hvernig hann kemur aftur í Ytriflóa.
- 5 Safna ætti rykmýslirfum á botni, sérstaklega *Tanytarsus*, til að fylgjast náið með þéttleikaháðum vexti og dánartölu á hinum ýmsu stigum lírfuskeiðsins á mismunandi tímabilum stofnsveiflunnar. Söfnuninni má haga eftir því hve örar breytingar verða á þéttbýli lírfanna en söfnunina teljum við nú eitt mikilvægasta verkefnið í Mývatnsrannsóknum, svo og

það að flétta botndýrarannsóknirnar saman við frekari rannsóknir á sambandi setgerðar og þess hve *Tanytarsus*-lirfurnar standa þétt.

- 6 Nóg er nú gert til þess að safna hornsílasýnum. Án þess að auka sýnatökuna mætti bæta við athugunum á magainnihaldi og mælingum á líkamsástandi (til að greina hungur).
- 7 Nauðsynlegt er að auka sýnatöku og rannsóknir á yngstu árgöngum bleikju (0+, 1+ og 2+) til að skilja stofnfræði og stofnbreytingar hennar í tengslum við fæðuframboð. Rannsaka þarf betur hvort og hvernig ýmsir aldursflokkar bleikju nýta sér hornsíli sem fæðu. Það er álit okkar að yfirleitt þurfi að stunda bleikjurannsóknirnar í nánari samvinnu við vísindamenn háskólans. Til dæmis virðast gögn vísindamanna við háskólann um dýrasvif og hornsíli ekki hafa verið fullnýtt við greiningu á því hvað ræður stofnstærð bleikjunnar. Okkur sýnist einnig að við greininguna mætti nota sér betur þau gögn um vöxt og ástand bleikju sem þegar hefur verið safnað

Almennt má segja að í rannsóknum á hinum ýmsu þáttum vistkerfis Mývatns ætti að felast samanburður á því sem gerist í flóunum tveimur og samanburður á svæðum sem dælt hefur verið af og þeim sem ekki hefur verið raskað með vinnslu.

4.2 Tilraunir

Unnt er að benda á margs konar tilraunir sem gera má til að prófa hvort mismunandi tilgátur um áhrifavalda í vistkerfinu standist. Hér fer á eftir stuttur listi yfir nokkur rannsóknarverkefni sem koma til greina.

- 1 Rannsaka má samspil á milli *Daphnia* og stórra keðja af *Anabaena* með tilraunum í lokuðum búrum (plastpokum) í vatninu sjálfu eða í rannsóknastofu. Með því að fjölga *Daphnia* smám saman má meta áhrif *Anabaena* á þær á um tveim vikum. Einnig má athuga hvernig *Daphnia* þrífast í sambýli við *Anabaena* með því að gera þynningartilraunir (haft er mismikið af *Anabaena*) í rannsóknastofu.
- 2 Unnt er að gera tilraunir sem leiða í ljós hve mismunandi næringarefnahlutföll skipta miklu máli fyrir þroskun *Anabaena*. Ýmislegt var gert seint á áttunda áratugnum til að meta áhrif af N, P og N:P-hlutfalli en prófa þarf meira, sérstaklega hvaða gildi P hefur fyrir *Anabaena*. Þetta má einnig prófa með pokatilraunum í vatninu sjálfu og í rannsóknastofu. Tilraunir 1 og 2 gætu varpað ljósi á lykilsamskipti í fæðuvef vatnslagsins.
- 3 Búið er að gera tilraunir með hvernig *Tanytarsus*-lirfur binda botnset. Mikilvægt er að halda þeim áfram og rannsaka betur hvort og hvernig eiginleikar setsins eru tengdir rörunum (lirfuhúsunum) og hversu hratt lirfuhúsin brotna niður eftir hrun í *Tanytarsus*-stofninum.
- 4 Það er lykilatriði að vita hvort hornsíli geta haft áhrif á þéttleika mýlirfa, sérstaklega *Tanytarsus*. Unnt er að svara spurningunni með tilraunum, loka hornsílin inni með eða halda þeim frá lirfum þar sem mismikið er um hornsílin. Það má gera með því að nota tiltölulega stór búr (minnst 2 m í þvermál) sem hafa bein tengsl við botninn.

4.3 Líkanasmíð

Eftir samtöl okkar við vísindamenn við háskólann er okkur ljóst að fátt er um sérfræðinga [í stærðfræðilegri líkanagerð, innskot til skýringar] á Íslandi eins og víða annars staðar. Þó er líklegt að líkanasmíð myndi fylla í eyður og flýta fyrir skilningi á eðli vistkerfis Mývatns. Okkur er kunnugt um að vísindamennirnir eru í samvinnu við amerískan sérfræðing um vistfræði *Tanytarsus*-stofnsins og mælum með að henni verði haldið áfram og hún aukin.

Verkefni 5. Mat á hættum sem því fylgja að hefja vinnslu í Syðriflóa

5.1 Almenn verndunarsjónarmið

Unnt er að meta áhættuna frá tveimur sjónarmiðum: Með því að taka tillit til æskilegra verndunarsjónarmiða eða þeirrar staðreyndar að vinnsla hefur verið og er enn stunduð. Bæði sjónarmiðin eiga jafnan rétt á sér. Í grundvallaratriðum á iðnaður sem hefur jafn bein áhrif á umhverfið og kísilgúrvinnslan ekki heima í jafn viðkvæmu vistkerfi og Mývatn er. Rökin fyrir þeirri skoðun eru að hluta til tengd því grundvallarsjónarmiði að halda beri slíkum vistkerfum eins „náttúrlegum“ og unnt er en sumpart tengist þetta varúðarreglunni; slík starfsemi gæti haft ófyrirsjáanleg áhrif. En Mývatn er jafnframt auðlind samfélagsins á svæðinu, bæði hvað varðar fiskveiðar og kísilgúrvinnslu. Í ljósi þeirrar staðreyndar er grundvallarspurningin sú, hvort slík starfsemi sé sjálfbær, þ.e. hvort unnt sé að halda henni áfram án þess að eiga á hættu að vistkerfið spillist. Okkur finnst rétt að ítreka mikilvægi varúðarreglunnar þegar um mál sem þetta er að ræða, ekki einungis vegna lífkerfisins í Mývatni nú, heldur einnig með tilliti til þess hvernig það nýtist komandi kynslóðum til hressingar og uppbyggingar. Þannig kann að mega sjá fyrir að kísilgúrvinnslu verði haldið áfram í hæsta lagi 20-50 ár en vistkerfis Mývatns bíður meira en þúsund ára framtíð.

Samt sem áður túlkum við það svo að okkar hlutverk í þessu sambandi sé að meta það sem staðreynt verður fremur en heimspekileg og siðferðileg sjónarmið, m.ö.o. að meta áhrif af starfsemi Kísiliðjunnar nú og síðar. Því er það ekki á okkar verksviði að taka afstöðu til grundvallarsjónarmiða og pólitískra viðhorfa sem iðnaðarstarfseminni tengjast.

Vandamálið sem fylgir því að veita dælingarvatninu aftur niður í jarðveginn er að næringarsöltin (líffræðilega virkt nitur og fosfór) geta borist aftur út í vatnið með grunnvatnsrennsli. Þessi næringarsölt sem voru áður bundin í setinu geta þannig orðið aðgengileg þörungunum á ný og aukið frumframleiðnina, sérstaklega meðal svifþörunganna. Áður hefur verið fjallað um útreikninga á efnatilflutningi af völdum dælingarinnar. Því miður er ekki unnt að vísa í niðurstöður neinna skipulegra langtímarannsókna á næringarsöltum í vatnslaginu síðustu 20 árin. Þótt til séu niðurstöður dreifðra punktamælinga, sem benda til aukinnar ákomu næringarefna, verður að túlka þær með varúð vegna þess hve næringarefnamagn er í eðli sínu sveiflukennt. Samt höfum við enga ástæðu til að draga í efa að talsvert af næringarefnum komi aftur með skolvatninu þó að óvíst sé hversu mikið það er nákvæmlega.

Til eru færar leiðir til þess að hindra þennan efnaflutning. Með því að dæla vatninu á gróin svæði við verksmiðjuna (þar sem undir er gamalt set) er líklegt að gróðurinn myndi binda áburðarefnin og safna þeim í jarðveginn. Einnig má nota efnafræðina og fella þau út með áli. Verði veitt leyfi til áframhaldandi vinnslu, mælum við með því að gert verði að verksmiðjan dragi úr næringarefnainnihaldi (sérstaklega fosfórs) í affallsvatni.

5.2 Mat á áhættu

Ekkert bendir til þess að kísilgúrvinnslan hafi valdið verulegu tjóni hingað til en af ástæðum sem taldar voru upp í verkefni 3 teljum við áhættusamara að halda áfram vinnslu í Ytriflóa en að hefja vinnslu á mjög takmörkuðu svæði í Syðriflóa. Helstu áhyggjur okkar af vinnslu í Syðriflóa eru bundnar tilflutningi á gömlu og nýmynduðu seti en hið sama kom reyndar einnig fram hjá sérfræðinganeftdinni 1991. Hætta er á að ferskasta setið, sem einnig er fínkornóttast og lífrænast, flytjist niður á dýpkuð svæði, líkt og í Ytriflóa, og skilji eftir næringarsnautt, sandkennt og mestmegnis ólífrænt set. Þótt þetta yrði til þess að botndýraframleiðni ykist á dýpkuðu svæðunum af því að stöðugt flyttist þangað fóður, þá yrði það einnig til þess að framleiðsla á öðrum svæðum hið næsta minnkaði að sama skapi. Þetta gæti orðið afdrifaríkt í Syðriflóa ef tiltölulega lítið svæði yrði til þess að framleiðni minnkaði á öllum öðrum svæðum. Ekki hefur þó verið sýnt fram á það að svo örloagaríkar breytingar hafi orðið í Ytriflóa. Breytingar á setflutningum vegna vinnslu gætu einnig haft áhrif á lykiltægundir meðal botnþörungum eins og *Cladophora*-kúlur.

Þótt uppi hafi verið áætlanir um nota aðra tækni við dælinguna en hingað til, þá er enn ekkert sem bendir til þess að hún henti vel eða valdi minni skaða en sú aðferð sem nú er notuð. Varðandi setflutningana sem greinilega verða að teljast meginvandamálið, þá eru þeir afleiðing af dýpkun, óháð aðferðinni sem notuð er.

Sérfræðinganeftdin (1991) skilgreindi ekki nákvæmlega vandamálin sem því fylgja að hefja dælingu í Syðriflóa. Þeirri nefnd var einnig falið að athuga annan vinnslukost, dælingu á þremur stöðum, samtals 2,9 km², í Bolum eingöngu, á svæði sem dygði til vinnslu í 65 ár miðað við fulla nýtingu allra svæðanna.

Í nýjustu áætlunum um stækkun vinnslusvæðisins er gert ráð fyrir að dælt verði af fjórum svæðum í Syðriflóa. Tveir kostir hafa einkum verið taldir koma til greina í þessu sambandi. Í fyrsta lagi framhald dælingar í 2-3 ár í Ytriflóa (sem við mælum ekki með) ásamt dælingu á tiltölulega skýldum svæðum í Bolum, svæðum 1 og 2. Flatarmálið yrði 1,26 km² og myndi duga í hartnær 30 ár, yrði svæði 1 dýpkað að meðaltali um 4,5 m og svæði 2 um 6,5 m.

Í öðru lagi er gert ráð fyrir að dæla áfram í Ytriflóa á svæðum 1 og 2, en bæta jafnframt við tveimur svæðum, 3 og 4, sunnan við Teigasund. Ástæðan fyrir seinni áætluninni er ekki ljós, því Kísiliðjan hefur ekki stungið upp á henni. Okkur líst afar illa á þennan seinni kost fyrir margra hluta sakir og ráðum eindregið frá því að hann verði tekinn. Það myndi auka hættuna á skaða vegna breytinga á setflutningum og setmyndun og nálægðin við Teigasund gæti valdið enn meiri áhrifum en ella í Ytriflóa.

Verkfræðistofan Vatnaskil gerði tvönnu sérstaka útreikninga sem tengjast hugsanlegum áhrifum dælingar á setflutninga í Syðriflóa. Fyrri útreikningarnir, sem gerðir voru 1991, voru byggðir á einfölduðum forsendum og verða þeim ekki gerð nánari skil hér. Síðara líkanið frá 1998 byggðist á mun betri gögnum um veður, og í því var einnig tekið tillit til þess að dýpkunin á sér stað smám saman (fjögur þrep með 0,8 m dýptaraukningu í hverju þrepi). Ein helsta niðurstaðan

úr þeirri rannsókn var sú að gruggun væri háðari veðurfari en áhrifum dælingarinnar. Sama á einnig við um setflutninga milli Bola og Syðriflóa sem dælingin hefur ekki mikil áhrif á. En setmyndun mun samt aukast vegna dælingarinnar. Eftir 25 ár verður árleg setmyndun orðin 22 þúsund lestir eða um 10% af árlegum setflutningum. Lögð skal áhersla á að þessir útreikningar gilda fyrir öll fjögur svæðin.

Sjálft setflutningalíkanið og niðurstöður útreikninga voru yfirfarið og samþykkt af dr. Leo van Rijn.

Líkanið sýnir greinilega hve vindurinn hefur tiltölulega mikil áhrif á öllum svæðunum. Þótt vindáhrifin séu lítil á svæði 1 öll árin (mælingar frá 1988, 1990 og 1992) er mikill munur milli ára á áhrifunum sem dælingin hefur á setflutninga á svæðum 2, 3 og 4. Í fyrstu skýrslunni, sem byggð var á endurbættum útreikningum frá 1998, var því spáð að vinnsla á svæðum 1 og 2 myndi auka setflutning inn á Boli um 5-10.000 lestir á ári en það eru 3% af því seti sem árlega fer á hreyfingu eða 25-50% af því sem myndast árlega. Ef svæði 3 og 4 væru líka tekin með myndi setflutningurinn tvöfaldast. Í fyrri skýrslunni um setflutninga segir að af þessum fjórum hugsanlegu vinnslusvæðum sé svæði 2 líklegast til að hafa áhrif á óröskuðu svæðin í Syðriflóa.

Okkur er því miður ekki falið að meta aðra kosti, t.d. að dæla eingöngu á svæði 1. Samkvæmt líkanareikningum má áætla að setflutningar vegna vinnslu á svæði 1 einu hefðu árlega numið 1.500-3.000 lestum á árunum 1988-1992. Við fáum ekki séð að það hefði umtalsverð áhrif á vistkerfi Mývatns. Áhættan eykst við að dæla einnig á svæði 2 en þó helst í þeim árum þegar vindafar er óhagstætt. Því miður er spá líkansins við aukið dýpi (0,8, 1,6, 2,4 og 3,2 m) byggð á mismunandi veðurfari svo að erfitt er að gera beinan samanburð á áhrifum vinds og dýpkun gryfjunnar. Samt sem áður er ljóst að aukið dýpi eykur að jafnaði setmyndun. Erfitt er að meta vistfræðilegar afleiðingar setflutninga sem stafa af vinnslu á svæðum 1 og 2 í sameiningu en ólíklegt þykir að þeir leiði til mikilla breytinga á botngerð, þannig að botninn breytist úr fínum og næringarríkum botni í grófan og snauðan botn í dýpri hlutum Syðriflóa. Ef svæði 3 og 4 eru tekin með munu setflutningar til dýpkaðra svæða ekki aðeins aukast verulega, heldur munu rofáhrifin einnig ná til tiltölulega víðáttumikilla svæða. Við leggjumst því, sem fyrr segir, gegn vinnslu á þessum tveimur svæðum (3 og 4).

5.3 Samantekt um áhættu af því að hefja vinnslu í Syðriflóa

Beita má ólíkum röksemdum í umræðum um hvort vernda eigi vatnið eða halda áfram kísilgúrvinnslu í Mývatni. Augljóst er að varúðarreglan skiptir miklu máli í sambandi við jafn viðkvæmt vistkerfi og Mývatn er. Við höfum þó ekki fest okkur frekar við þau álitamál í röksemdafærslunni sem helst verða að teljast pólitísks eðlis. Við ráðum mjög eindregið frá vinnslu á svæðum 3 og 4 vegna mats á setflutningum. Við álitum að flutningur sets inn á svæði 1 muni aukast svo lítið, jafnvel eftir að fullri dýpt hefur verið náð, að hann mundi ekki hafa teljandi áhrif á lífríki vatnsins í heild. Á svæði 2 gætu áhrif setflutninga orðið talsverð í vissum árum, einkum eftir að dælt hefði verið niður í fulla dýpt (eftir meira en 25 ára vinnslu). Verði vinnsla heimiluð í Syðriflóa er niðurstaða okkar sú að þótt óhætt sé að líkindum að nýta svæði 1

til fulls niður á 3,2 m höfum við meiri áhyggjur af því vegna hættu á auknum setflutningum ef grafið verður niður á fullt dýpi á svæði 2. Þess vegna mælum við með því að ekki verði dýpkað um meira en 2 m á því svæði. Hverfa ætti frá hugmyndum um dælingu á svæðum 3 og 4. Ekki er heldur mælt með frekari dælingu í Ytriflóa.

Eins og lögð hefur verið áhersla á í mörgum skýrslum er mikilvægt að allri frekari vinnslu fylgi samfelldar rannsóknir (sjá 4. verkefni). En hafa verður í huga að þótt engin áhrif verði merkjanleg af dælingum fyrstu árin er ekki þar með sagt að lokaáhrifin verði engin eftir að búið er að dýpka meira á stærri svæðum

Heimildir

- Aagaard, K. 1986. The chironomid fauna of Norwegian lakes, with a discussion on methods of community classification. *Holarctic Ecology* 9: 1-12.
- Adalsteinsson, H. 1979. Zooplankton and its relation to available food in Lake Myvatn. *Oikos* 32: 162-194.
- Auvinen, H. 1994. "Intra- and interspecific factors in the dynamics of vendace (*Coregonus albula* (L.)) populations". PhD thesis, University of Helsinki, Finland.
- Carpenter, S.R. and Kitchell, J.F. (eds)1993. *The Trophic Cascade in Lakes*. Cambridge University Press.
- Claessen, D., De Roos, A.M. and Persson, L. 2000. Dwarfs and giants – cannibalism and competition in size-structured populations. *American Naturalist* (in press).
- Cryer, M., Peirson, G. and Townsend, C.R. 1986. Reciprocal interactions between roach, *Rutilus rutilus*, and zooplankton in a small lake: Prey dynamics and fish growth and recruitment. *Limnol. Oceanogr.* 31, 1022-1038.
- Dahl-Hansen, G.A.P. 1995. Long-term changes in crustacean zooplankton – the effects of a mass removal of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), from an oligotrophic lake. *Journal of Plankton Research* 17:1819-1833.
- Einarsson, A. 1982. The paleolimnology of Lake Myvatn, northern Iceland: Plant and animal microfossils in the sediment. *Freshw. Biol.* 12: 63-82.
- Einarsson, A. and Haflidasson, H. 1988. Predictive paleolimnology: Effects of sediment dredging in Lake Myvatn, Iceland. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 860-869.
- Einarsson, A. and Magnúsdóttir, M. L. 1993. The effect of sediment dredging on the distribution of diving ducks at Lake Myvatn, Iceland. *Biological Conservation* 66: 55-60.
- Einarsson, A. 1982. The paleolimnology of Lake Myvatn, northern Iceland: plant and animal microfossils in the sediment. *Freshwater Biology* 12: 63-82.
- Einarsson, A., Gardarsson, A. and Gislason, G. M. Long term variation in body size and abundance in *Tanytarsus gracilentus* and some other chironomids at Lake Myvatn, Iceland (manuscript in prep.).
- Einarsson, A., Oskarsson, H. and Haflidason, H. 1993. Stratigraphy of fossil pigments and *Cladophora* and its relationships with deposition of tephra in Lake Myvatn, Iceland. *Journal of Paleolimnology* 8: 15-26.
- Elser, J.J. 1999. The pathway to noxious cyanobacteria blooms in lakes: the food web as the final turn. *Freshw. Biol.* 42: 537-543.
- Expert-group July 1991. Report from the Specialist-group on Lake Myvatn ecosystem from July 1991.

- Faafeng, B. and Hessen, D.O. 1993. Nitrogen and phosphorus concentrations and N:P ratios in Norwegian Lakes: perspectives on nutrient limitation. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 465-469.
- Gardarsson, A. and Einarsson, A. 1994. Responses of breeding duck populations to changes in food supply. *Hydrobiologia* 279/280: 15-27.
- Gardarsson, A. and Einarsson, A. 1997. Numbers and production of Eurasian wigeon in relation to conditions in a breeding area, Lake Myvatn, Iceland. *Journal of Animal Ecology* 66: 439-451.
- Gardarsson, A. and Einarsson, A. Monitoring waterfowl at Myvatn, Iceland. (In prep.)
- Gardarsson, A. and Snorrason, S. S. 1993. Sediment characteristics and density of benthos in Lake Myvatn, Iceland. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 452-457.
- Gardarsson, A., Olafsson, J. S., Hrafnisdóttir, T., Gislason, G. M. and Einarsson, A. 1995. Monitoring chironomid numbers at Myvatn, Iceland: the first sixteen years. National library of Australia Cataloguing-in-Publication. Chironomids: From genes to ecosystem (Ed. Cranston, P.) CSIRO Publications, Australia.
- Gislason G. M. 1994. River management and cold regions: a case study of the river Laxa, North Iceland. *The River Handbook. Hydrological and ecological principles Vol. 2* (Eds. Calow, P. and Petts, G. E.) pp. 464-483. Blackwell, Oxford.
- Gislason, G. M., Gudmundsson, A. and Einarsson, A. 1998. Population densities of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in a shallow lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 2244-2250.
- Gudbergsson, G. 1994. Populasjonssvingninger hos røye i Myvatn, Nordøst-Island. *Fauna* 47: 230-235.
- Gudmundsson, F. 1979. The past status and exploitation of the Myvatn waterfowl populations. *Oikos* 32: 232-249.
- Hamrin, S. F. and L. Persson. 1986. Asymmetrical competition between age classes as a factor causing population oscillations in an obligate planktivorous fish. *Oikos* 47: 223-232.
- Hessen, D.O. 1997. Stoichiometry in food webs - Lotka revisited. *Oikos* 79: 195-200.
- Hunding, C. 1979. The oxygen balance of Lake Myvatn, Iceland. *Oikos* 32: 139-150.
- Hyenstrand, P. 1999. Factors influencing the success of pelagic cyanobacteria. Dr. thesis. Uppsala University.
- Jeppesen, E. 1998. The Ecology of Shallow Lakes – trophic interactions in the pelagial. Ministry of Environment and Energy, National Environmental Res. Institute, NERI Rep. 247. 358 pp.
- Jonasson, P.M. 1979. The Lake Myvatn ecosystem, Iceland. *Oikos* 32: 289-305.
- Jonasson, P.M. and Adalsteinsson, H. 1979. Phytoplankton production in shallow eutrophic Lake Myvatn. *Oikos* 32: 113-138.

- Kisilidjan September 1999. Evaluation report prepared by Kisilidjan factory presented 8. September 1999.
- Langeland, A. 1982. Interactions between zooplankton and fish in a fertilized lake. *Holarctic Ecology* 5: 273-310.
- Langeland, A. 1995. Næringsopptak hos planktonetende fisk. Pages 44-47 in R. Borgström, B. Jonsson and J.H. L. Abée-Lund (eds). *Ferskvannsfisk ökologi, kultivering og utnytting. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Fiskeforsterkningstiltak i norske vassdrag"* (FFT).
- Lindgaard, C. and Jonasson, P.M. 1979. Abundance, population dynamics and production of zoobenthos in Lake Myvatn, Iceland. *Oikos* 32: 202-227.
- McCauley, E., Murdoch, W.W. and Watson, S. 1988. Simple models and variation in plankton densities among lakes. *Am. Nat.* 132, 383-403.
- Ólafsson, J. 1979. The chemistry of lake Myvatn and Laxa. *Oikos* 32: 67-81.
- Persson, L. 1988. Asymmetries in competitive and predatory interactions in fish populations, pp. 203-218 in B. Ebenman and L. Persson (eds). *Size-structured Populations - Ecology and Evolution*. Springer Verlag.
- Persson, L., Byström, P. and E. Wahlström. 2000. Cannibalism and competition in Eurasian perch: Population dynamics of an ontogenetic omnivore. *Ecology* (in press).
- Persson, L., Leonardsson, K., De Roos, A. Gyllenberg, M. and B. Christensen. 1998. Ontogenetic scaling of foraging rates and the dynamics of a size-structured consumer-resource model. *Theoretical Population Biology* 54: 270-293.
- Ranta-Aho, K. 1983. Rødingens (*Salvelinus alpinus* L.) yngelbiologi och ekologi i sjön Myvatn. Oppdragsrapport 1983.
- Reinertsen, H., Jensen, A., Koksvik, J.I., Langeland, A. and Olsen, Y. 1989. Effects of fish removal on the limnetic ecosystem of a eutrophic lake. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 47: 166-173.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.-L., Moss, B. and Jeppesen, E. (1993) Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends. Ecol. Evol.* 8: 275-279.
- Townsend, C.R., Sutherland, W.J. and Perrow, M.R. 1990. A modelling investigation of population cycles in the fish *Rutilus rutilus*. *J. Anim. Ecol.* 59, 469-485.
- Vatnaskil December 1998. Report on lake circulation and sediment transport prepared by Vatnaskil Consulting Engineering of December 1998.
- Werner, E.E. 1988. Size, scaling and the evolution of life, in "Size-structured populations: ecology and evolution" (B. Ebenman and L. Persson, Eds.), pp. 60-81. Springer, Heidelberg.
- Sanderson, B.L., T.R. Hrabik, J.J. Magnuson and D.M. Post. 1999. Cyclic dynamics of a yellow perch (*Perca flavescens*) population in an oligotrophic lake: evidence for the role of intraspecific interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1534-1542.
- Örnólfsdóttir, E.B. 1998. Vöktun krabbadýra á botni Mývatns. Fjölrit no. 1.