
Áhrif næringarefna á
tegundasamsetningu og fjölda
svifþörunga í Hvalfirði

Agnes Eydal

Hafrannsóknastofnunin

Reykjavík 2003

Efnisyfirlit

Ágrip	bls. 5
<i>English summary</i>	bls. 5
1. Inngangur	bls. 7
1.1 Árstíðabundin framvinda svifþörunguna	bls. 7
1.2 Lagskipting sjávar og svifþörungarnir	bls. 7
1.3 Næringarsölt og svifþörungarnir	bls. 7
1.4 Eiturþörungar	bls. 7
1.5 Eiturþörungar við Ísland	bls. 8
1.6 Markmið verkefnis	bls. 8
2. Efniviður og aðferðir	bls. 9
2.1 Rannsóknarsvæði og sýnataka	bls. 9
2.2 Mæliaðferðir og meðhöndlun gagna	bls. 10
3. Niðurstöður	bls. 11
3.1 Næringarefni	bls. 11
3.1.1 Nítrat	bls. 11
3.1.2 Ammóníum	bls. 11
3.1.3 Uppleyst lífrænt köfnunarefni (DON).....	bls. 12
3.1.4 Fosfat.....	bls. 13
3.1.5 Kísill.....	bls. 14
3.2 Hiti	bls. 15
3.3 Selta.....	bls. 15
3.4 Ljós.....	bls. 15
3.5 Blaðgræna	bls. 16
3.6 Tegundir	bls. 16
3.6.1 Kísilþörungar.....	bls. 16
3.6.2 Skorupörungar.....	bls. 18
3.6.3 <i>Phaeocystis pouchetii</i>	bls. 20
3.6.4 Kalksvifþörungar.....	bls. 20
3.7 Eiturþörungar	bls. 20
4. Umræða.....	bls. 21
4.1 Framboð næringarefna og áhrif þeirra á framvindu svifþörunguna	bls. 21
4.1.1 Nítrat, ammóníum og DON.....	bls. 21
4.1.2 Fosfat.....	bls. 24
4.1.3 Kísill.....	bls. 24
4.2 Áhrif ljóss og lagskiptingar á framvindu svifþörunganna.....	bls. 25
4.3 Eiturþörungategundir	bls. 27
4.3.1 <i>Dinophysis</i> spp	bls. 27
4.3.2 <i>Pseudo-nitzschia</i> spp.....	bls. 28
5. Lokaorð	bls. 29
5.1 Hugmyndir að frekari rannsóknum	bls. 29
6. Þakkir	bls. 30
7. Heimildarskrá.....	bls. 31
8. Viðauki.....	bls. 35

ÁGRIP

Agnes Eydal 2003. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörunganna í Hvalfirði. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 99:1-44.*

Rannsókn var gerð á áhrifum næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörunganna í Hvalfirði árið 1997 (6. febrúar–11. nóvember). Sýnum var safnað á þremur stöðvum og tveimur dýpum á hverri stöð, tvær stöðvar voru innarlega í firðinum og ein stöð í mynni fjarðarins. Svifþörungar voru greindir og taldir úr sýnunum, næringarefnastyrkur var mældur og einnig hiti, selta og ljósmagn. Kræklingasýnum var safnað á stöðvunum inni í firðinum til mælinga á hugsanlegu þörungaeitri. Rannsóknin leiddi í ljós að vorkoma gróðurs í firðinum hófst síðari hluta mars og gróðurtímabilinu var að mestu lokið í lok september. Leysingar urðu síðari hluta mars og mörkuðu upphaf gróðurtímabils svifþörunganna. Framvinda svifþörungasamfélaga í Hvalfirði var á margan hátt áþekkt því sem þekktist annars staðar við landið og á öðrum norðlægum slóðum. Fyrstu svifþörungar að vorinu voru kísilþörungar sem náðu mestum fjölda kringum mánaðarmótin apríl-maí. Í kjölfar vorhámarks kísilþörunganna varð blómi *Phaeocystis pouchetii* af ætt Prymnesiophyceae. Yfir hásumarið ríktu einkum smávaxnir kísilþörungar, *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, en auk þeirra var farið að bera á vexti skorupörunganna. Skorupörungar náðu hámarki í byrjun ágúst. Að loknu gróðurhámarki skorupörunganna varð uppblöndun í sjónum og í kjölfar hennar haustblómi bæði kísilþörunganna og skorupörunganna. Þau næringarefni sem einkum virtust hafa áhrif á framvindu gróðursamfélaga í firðinum eru köfnunarefni og kísill. Á stöðvunum inni í firðinum var framboð kísils meira en á stöðinni í mynni fjarðarins og virðist kísillinn hafa stuðlað að vexti kísilþörunganna á kostnað skorupörunganna, sem áttu auðveldar uppdráttar úti í mynninu. Framboð köfnunarefnis, á hvaða formi sem það var, hafði áhrif á það hvaða tegundir urðu ríkjandi. Svifþörungar sem geta framleitt þörungaeitur voru sérstaklega skoðaðir og mælt var DSP-eitur í kræklingi sem tegundir af ættkvíslinni *Dinophysis* framleiða. Niðurstöður þörungaeitursmælinga í kræklingi gáfu til kynna að kræklingurinn væri óneysluhæfur frá lokum júlí og fram yfir miðjan október.

ABSTRACT

Agnes Eydal 2003: *Impact of nutrients on phytoplankton succession in Hvalfjörður.* *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 99:1-44.*

Research on the impact of nutrients on phytoplankton succession in Hvalfjörður was carried out from February 6th till November 11th 1997. Samples were taken at three stations and two depths on each station. Two stations were situated in the inner part of the fjord and one at the mouth of the fjord. The growth season started in late March when freshwater runoff was most intense and lasted until late September. The phytoplankton succession was similar to that known from other fjords in Iceland and elsewhere in the North Atlantic. Diatoms were the main species in the spring bloom with a maximum in the beginning of May, followed by *Phaeocystis pouchetii* bloom in the middle of May. During summer the main species were the diatoms, *Skeletonema costatum* and *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. Dinoflagellates started to increase in number in June and peaked in the beginning of August. In late August the sea was again mixed after being stratified during most of the summer and there was a maximum of both diatoms and dinoflagellates. The nutrients that had the most influence on the phytoplankton succession are silicate and nitrogen. At the two innermost stations silicate-concentration was fairly high during almost the whole growth season and that seems to have favored the growth of diatoms. At the mouth of the fjord silicate concentrations were lower and that seems to have favoured dinoflagellates in competition with diatoms. The different concentrations of nitrate, ammonium and DON during the growth season had effect on which species dominated the plankton at different times. Phytoplankton toxin DSP was measured in blue mussels and the results showed that the mussels were toxic from late July till the middle of October.

1. INNGANGUR

1.1 Árstíðabundin framvinda svifþörungur

Árstíðabundin framvinda svifþörungur í sjó er mjög flókið vistfræðilegt fyrirbæri. Það eru þættir eins og ljós, hiti, selta, framboð næringarefna, lagskipting og ýmsir líffræðilegir þættir eins og vaxtarhraði, mismunandi hæfileiki tegunda til að taka upp ólík form næringarefna, flothæfni þeirra, beitarálag og fleira, sem hefur áhrif á framvindu svifþörungur í sjó (Smayda 1963, McIntire 1977, Malone & Neal 1981, Taylor 1987).

1.2 Lagskipting sjávar og svifþörungarnir

Lagskipting sjávar ásamt ljósmagni eru þeir þættir sem einkum ráða því hvenær vorgróðurtímabilið hefst. Vindáttir hafa áhrif á innstreymi ferskvatns á Faxaflóasvæðið, langvarandi suðlægir vindar bera mikið af ferskvatni með strandstraumnum réttisælis fyrir Reykjanesið og inn á flóann. Mikið innstreymi ferskvatns á innanverðan Faxaflóa hefur í för með sér að það myndast seltuskiptalag. Norðlægir vindar hafa aftur á móti þveröfug áhrif og geta valdið því að lagskipting verður síðar en ella. Þar sem breytileiki í vindátt er mjög mikill eru breytingar á innstreymi ferskvatns frá ári til árs einnig mjög miklar (Unnsteinn Stefánsson og Guðmundur Guðmundsson, 1978).

Þórunn Þórðardóttir (1976, 1986) komst að þeirri niðurstöðu að í innanverðum Faxaflóa hefjist vöxtur svifþörungagróðurs yfirleitt í einhverjum mæli síðari hluta mars. Þetta er þó háð innstreymi ferskvatns á svæðið og myndunar lagskiptingar sem er breytilegt frá ári til árs eins og fram hefur komið. Þegar lagskipting hefur myndast á innanverðum Faxaflóa raskast hún ekki svo auðveldlega, en helst nokkuð stöðug því tiltölulega skjólsælt er á svæðinu. Þórunn komst einnig að því að í innanverðum Faxaflóa er framleiðni að jafnaði há yfir allt gróðurtímabilið, en er þó talsvert breytileg frá ári til árs (Þórunn Þórðardóttir 1994).

1.3 Næringarsölt og svifþörungarnir

Plöntur þurfa fjöldan allan af næringarefnum til vaxtar og viðhalds, flest þessara efna eru oftast til staðar í nægjanlegu magni. Styrkur sumra er þó mjög breytilegur eftir árstíðum, eins og styrkur fosfats (PO_4^{3-}), nítrats (NO_3^-) og kísils (Si) (Parson o.fl. 1977, Dring 1982).

Þörungur hafa mismunandi næringarefnabörf eftir hópum og tegundum. Þegar gengur á forða mikilvægra næringarefna samhliða gróðuraukningu eða hlutfall þeirra skekkist verulega í sjónum, getur það leitt til miklla breytinga á tegundasamsetningu þörungasamfélagsins (Dring 1982). Það getur t.d verið mjög mismunandi eftir hópum kísilþörungur hve þörfin fyrir kísil er mikil, svo viðkomandi hópur dafni (Werner 1977, Egge og Aksnes 1992).

Ólíkir svifþörungahópar geta nýtt sér mismunandi uppsprettur köfnunarefnis og fosförs bæði ólífrænar og lífrænar. Framboð næringarefna er því einn þeirra þátta sem stjórna því hvaða hópar ríkjá í svifinu. Sumir hópar geta nýtt sér ammóníum (NH_4^+) sem köfnunarefnisgjafa, aðrir lífræn köfnunarefnissambönd og sömuleiðis geta ákveðnir hópar nýtt sér lífræn fosförsambönd (Smayda 1963, Darley 1977, Dring 1982). Einnig stunda margar tegundir skorubörungur frumuát (phagotropy) og afla sér þannig nauðsynlegra næringarefna (Carlson og Granéli 1998, Granéli og Carlson 1998, Hansen 1998). Breytilegar umhverfisáðstæður hafa þannig áhrif á þá hópa svifþörungur sem eru ríkjandi í svifinu á mismunandi árstímum.

Þórunn Þórðardóttir og Unnsteinn Stefánsson (1977) sýndu fram á að í lok vorblóma svifþörunganna var köfnunarefni (N) uppuríð í yfirborðslaginu í Faxaflóa, en að fosfór (P) var nánast alltaf til staðar þó ekki væri nema í litlu magni. Köfnunarefniskortur virðist því fyrst og fremst takmarka vöxt svifþörungur á þessu svæði á sumrin en ekki fosförskortur. Þessi niðurstaða fékkst einnig úr mælingum á næringarefnaframboði á stöð við mynni Hvalfjarðar (Unnsteinn Stefánsson o.fl., 1987)

Samfélag svifþörungur er samsett af fjölbreytilegum tegundum sem sýna mjög mismunandi viðbrögð við breytileika umhverfisins (Pearl og Harrington 1999). Því verða stöðugar breytingar á tegundasamsetningunni vegna sífella breytinga á umhverfisaðstæðum.

1.4 Eiturþörungur

Um allan heim þurfa lönd sem liggja að sjó, að fást við vandamál sem stafa af „eiturþörungum“. Blómi eitruþörungur veldur bæði efnahagslegu tjóni og heilsufarslegu tjóni (Anderson 1998). Margar af þessum eitruðu tegundum mynda taugaeitur, sem safnast upp í

skelfiski sem lifir á svifpörungum. Í verstu tilfellum getur þetta endað með því að skelfiskur verður lífshættulegur til neyslu. Aðallega er um að ræða þrjá eiturefnaflokka sem við þurfum að vera vakandi fyrir hér í Norður-Atlantshafi. Þessi eiturefni myndast hjá mismunandi þörungum eða þörungahópum og kallast:

- PSP (*paralytic shellfish poisoning* - veldur lömun) það eru skorupörungar af ættkvíslunum *Alexandrium*, *Pyrodinium* og *Gymnodinium* sem mynda þetta eitur.
- DSP (*diarrhetic shellfish poisoning* - veldur m.a. niðurgangi) stafar af fituleysanlegum eiturefnum, sem framléidd eru af nokkrum tegundum skorupörunga, meðal annars tegundum af ættkvíslunum *Dinophysis* og *Prorocentrum*.
- ASP (*amnesic shellfish poisoning* – veldur minnstapi) stafar af aminósýrunni „domoic sýra“ (DS). Það eru staflaga kísilpörungar af ættkvíslinni *Pseudo-nitzschia* sem mynda þetta eitur. Það hefur ekki greinst hér við land, en tegundir af þessari ættkvísl eru algengar hér við land.

Þetta eru allt taugaeitur og geta haft ólík áhrif á taugakerfi dýra. Oft á tíðum skaða þessi eiturefni ekki dýrin. Dauði vegna áts á eiturþörungi er þó þekktur t.d. hjá krabbaflóm, ekki er þó vitað hversu mikil brögð eru að því. Þekktari áhrif eitursins á krabbaflær eru svelt, breytingar á hegðun, minnkað át og minnkuð eggjaframleiðsla, (Turner 1998).

Eiturþörungablómar eru ekki nýir af nálinni. Minnst er á eitradan „blóðsjó“ í biblíunni og öðrum fornum sögnum. Hins vegar virðist útbreiðsla þessara tegunda og tíðni blóma af þeirra völdum hafi aukist (Delmas 1992). Menn eru ekki á eitt sáttir um það hvað veldur. Sumir tala um aukna útbreiðslu af mannavöldum, m.a. vegna aukinna skipaferða og lestunar og losunar kjölvatns. Aðrir um breytingar sem orðið hafa á strandsvæðum vegna mengunar af mannavöldum. Enn aðrir telja að þessi „aukna útbreiðsla“ sé einfaldlega vegna aukinna rannsóknna og þekkingar á þessu sviði.

Þekking á eitruðum tegundum hefur aukist gífurlega og nýjar aðferðir hafa komið fram við að greina eiturefnin. Vegna aukinna umsvifa í fisk- og skeldýraeldi hefur krafa um aukið eftirlit einnig margfaldast. Þetta þýðir í raun að vandamálið er e.t.v. ekki að breiðast út heldur erum við einfaldlega að átta okkur á umfangi

þess betur og betur. Hver sem ástæðan er, þá eru vandamál varðandi blóma eiturþörunga mikil í heiminum um þessar mundir og virðast fara vaxandi. Undanfarna áratugi hefur orðið stöðug fjölgun þekktara tegunda sem mynda eiturefni. Fleiri gerðir þörungaeiturs eru að finnast og tilkynnt er um fleiri eiturþörungablóma en áður hefur þekkt (Anderson 1998).

1.5 Eiturþörungar við Ísland

Rannsóknir á tegundasamsetningu svifpörunga með sérstöku tilliti til eiturþörunga hafa lítið verið stundaðar hér við land. Á árunum 1986-1987 var fylgst með tegundasamsetningu svifpörunga við Hvítanes í Hvalfirði í tengslum við kræklingatilraunir (Guðrún Þórarinsdóttir 1987). Í Hvalfirði fundust tegundir af ættkvíslinni *Dinophysis*, sem valda DSP eitrun, og *Heterosigma akasiwo* sem tilheyrir flokki Rhabdophyceae og getur valdið fiskadauða. Á árinu 1994 var tegundasamsetning svifpörunga könnuð á þremur stöðum út af Vestfjörðum, í Önundarfirði, Aðalvík og Fljótavík (Þórunn Þórðardóttir & Agnes Eydal 1996). Í ljós kom að eiturþörungar voru sjaldan í það miklu magni að hætta væri talin á skelfiskeitrun á svæðinu. Sömu sögu er að segja um svifpörungagröðurinn í Ísafjarðardjúpi og í Eyjafirði (Kristinn Guðmundsson & Agnes Eydal 1998). Athuganir á fjölda eiturþörunga þar sýndu, að tegundir sem geta valdið PSP, DSP og ASP eitrun voru til staðar en aldrei í það miklu magni að hætta væri talin á skelfiskeitrun.

Það eru þekkt nokkur dæmi um skelfiskeitrun við Suður- og Vesturland. Sumarið 1994 fannst mikill fjöldi eiturþörunga í sýnum frá Hvalfirði og var fólk varað við tínslu kræklinga. Nokkur dæmi eru um eitrun af völdum skelfisk-áts hér við land sem talin eru stafa af þörunga-eitri, þó að það hafi ekki verið staðfest óyggjandi (sjá nánar Guðrún Þórarinsdóttir & Þórunn Þórðardóttir 1997). Í öllum þessum tilfellum varð eitrunarinnar vart að sumri til eða snemma hausts en á þeim tíma er helst að vænta skorupörunga í svifinu.

1.6 Markmið verkefnis

Markmið verkefnisins var að athuga breytingar á tegundasamsetningu svifpörunga í eitt ár í Hvalfirði með tilliti til umhverfisþátta sem hugsanlega stýra eða hafa áhrif á breytingarnar, svo sem næringarefnaframboð,

hita, seltu og ljósmagn. Í verkefninu var leitast við að prófa eftirfarandi tilgátur:

- ⇒ 1. Í næringarríkum sjó eru kísilþörungur hæfari en skorubörungur í samkeppni og verða ríkjandi.
- ⇒ 2. Skorubörungur geta nýtt sér aðrar uppsprettur næringarefna en kísilþörungur og því lifað í sjó þar sem ólifræn næringarsölt eru í lágmarki.
- ⇒ 3a. Ef þær aðstæður skapast að púls af næringarefnum kemur inn á svæðið þá skiptir kísill sköpum um það hvort verður blómi kísilþörungna eða skorubörungna.
- ⇒ 3b. Eða að það skiptir ekki máli hvort kísill er í púlsinum, skorubörungur verða ríkjandi (vegna þess að þeir eru á staðnum og hafa því forskot).
- ⇒ 4. Skelfiskeitrunar gætir eingöngu á sumrin á aðalvaxtartíma skorubörungna.

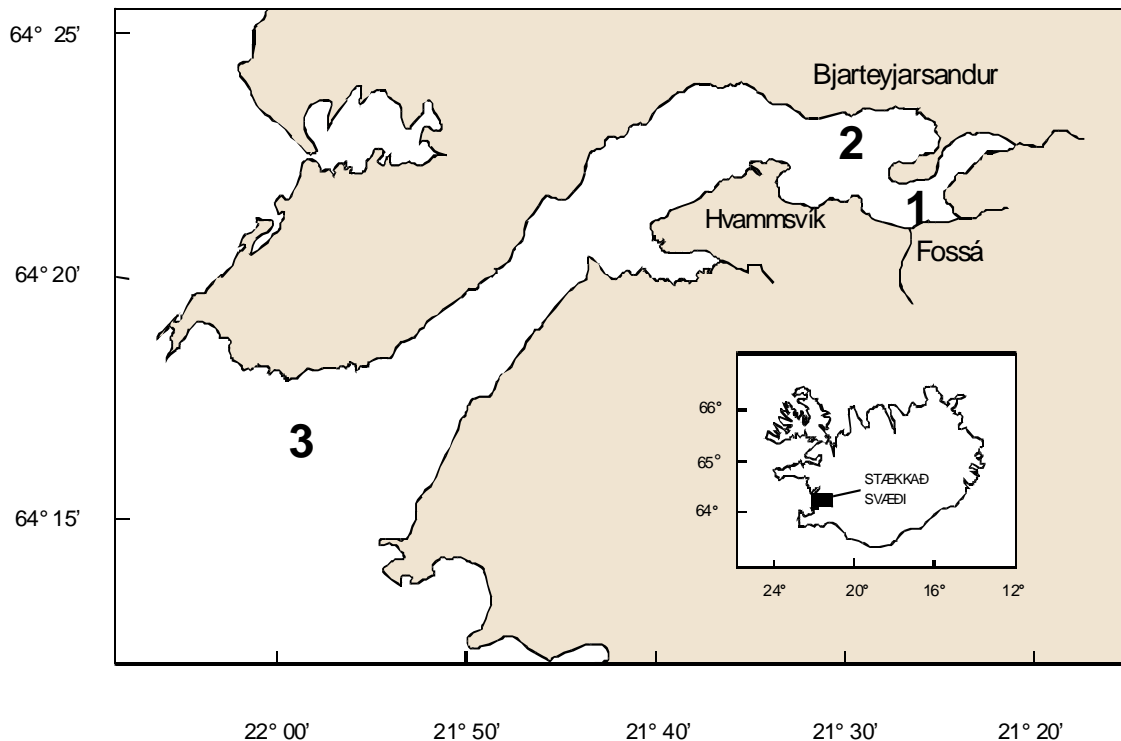
Rannsóknasvæði þessa verkefnis var Hvalfjörður í innanverðum Faxaflóa. Hvalfjörður er um það bil 30 km langur og víðast tveggja til þriggja km breiður. Dýpi er mest 84 m, en meðaldýpi fjarðarins er um 28 m.

2. EFNIVIÐUR OG AÐFERÐIR

2.1 Rannsóknarsvæði og sýnataka

Safnað var á þremur stöðvum og tveim sýnatökudýpum á hverri stöð. Tvær stöðvanna voru í innri hluta Hvalfjarðar og ein var í mynni hans (1. mynd). Staðsetning innri stöðvanna var m.a. valin með tilliti til útbreiðslu og þéttleika kræklinga og var þá stuðst við niðurstöður Guðrúnar Þórarinsdóttur (1987) úr stofnmælingu kræklinga í Hvalfirði 1986-1987 og einnig var haft í huga hvar talið er að fólk tíni helst krækling. Stöð 1 er á móts við Fossá ($64^{\circ}21,8'N$, $21^{\circ}31,2'V$) þar sem dýpi er 10 m. Þar voru sýni tekin á 2 m og 7 m dýpi. Stöð 2 er út af Bjarteyjarsandi ($64^{\circ}23,4'N$, $21^{\circ}31,2'V$). Þar er dýpi 15 m. Sýni voru tekin á 2 m og 12 m dýpi. Stöð 3 er í mynni fjarðarins ($64^{\circ}16,5'N$, $21^{\circ}58,1'V$). Dýpi þar er 30 m og voru tekin sýni á 2 m og 15 m dýpi. Í umfjöllun um niðurstöður og í umræðukafla, verður talað um sýni af 2 m dýpi sem yfirborðssýni.

Á tímabilinu 6. febrúar til 11. nóvember 1997 voru farnir 27 leiðangrar í Hvalfjörð til sýnatöku (tafla 1). Farið var á rs Dröfn RE 135 í



1. mynd. Söfnunarstöðvar í Hvalfirði.

Fig. 1. Sampling stations for phytoplankton, nutrients and temperature and salinity. Mussels were collected at stations 1 and 2.

Tafla 1. Leiðangrar sem farnir voru í Hvalfjörðinn 1997. D=Dröfn, A=Árni Friðriksson, B=Bláskel.

Table 1. Sampling dates in Hvalfjörður 1997. D=the vessel Dröfn, A=the vessel Árni Friðriksson, B=the vessel Bláskel

Leiðangur:	Dags.	Leiðangur:	Dags.
D-1	6. feb.	B-11	7. júlí
D-2	11. mars	B-12	15. júlí
A-2	24. mars	B-13	21. júlí
D-3	1. apríl	B-14	30. júlí
B-1	14. apríl	B-15	8. ágúst
B-2	23. apríl	B-16	15. ágúst
B-3	29. apríl	B-17	25. ágúst
B-4	7. maí	B-18	13. sept.
B-5	15. maí	B-19	22. sept.
B-6	20. maí	B-20	29. sept.
B-7	26. maí	B-21	13. okt.
B-8	10. júní	D-20	23. okt.
B-9	18. júní	D-22	11. nóv.
B-10	25. júní		

fyrstu leiðangrana og síðustu, í einn leiðangur var farið á Árna Friðrikssyni RE 100 og í aðra leiðangra á leigubátum Bláskel RE 145.

Í upphafi söfnunartímabilsins og þar til síðari hluta mars var sýnum safnað þrisvar sinnum, en frá miðjum apríl um það bil vikulega þar til í endaðan ágúst, en þá var aftur lengra á milli þess sem sýnum var safnað. Síðustu sýnunum var safnað 11. nóvember.

Á hverri stöð voru tekin sjósýni með 1,7 lítra sjótaka. Úr sjótökunum voru tekin sýni til mælinga á næringarefnum (ólífrænu nitrati og fosfati, kísli, ammóníum, og uppleystum lífrænum fosfór- og köfnunarefnissamböndum), blaðgrænu (1 lítra), seltu og sýni til greiningar og talningar á svifþörungum (100 ml). Á hverri stöð var tekið lóðrétt snið með „sondu” sem hafði hita-, þrýstings- og seltunema (CTD), ásamt flúrljómarmæli. Sondan skráði mælingu á tveggja sekúndna fresti inn á minni. Lesið var af sondunni inn á tölvu í lok hvers leiðangurs. Háfsýni til tegundagreininga var tekið á hverri stöð með svifþörungaháf, möskvastærð 20 μm . Háfurinn var látinn síga niður á um það bil 5 m dýpi og dreginn upp þrisvar sinnum. Rýni (sjónkýpi) var ákvarðað með „secchi” skífu, en þvermál hennar er 30 cm. Á stöðvum 1 og 2 voru einnig tekin kræklingasýni með þríhyrnuskröpu um 100 stk í hverju sýni. Þann 7. mars var ljósmæli komið fyrir á þaki húss við Hvammsvík í Hvalfirði og ljósmagn mælt yfir eins árs tímabil. Mælirinn

var hafður það hátt að ekkert í umhverfinu skyggði á hann. Hann var tekinn niður í byrjun mars 1998. Notaður var kósínus-leiðréttur nemi (Li-Cor, Li 190, SA, Lambda Instruments Inc. U.S.A.), sem mælir ljósbylgjur á bilinu 400-700 nm. Meðaltöl ljósmælinga fyrir hvern klukku-tíma voru skráð ($\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$) á minniseiningu og þau síðan umreiknuð í dagsgildi ($\text{E m}^{-2}\text{dag}^{-1}$). Lesið var af ljósmælinum inn á tölvu á þriggja mánaða fresti og hann endurstilltur. Þau mistök urðu í upphafi mælinganna, að mælirinn var farinn að lesa yfir fyrstu mælingar þegar fyrst var lesið af honum og vantar því mælingar fyrir um það bil einn mánuð í upphafi mælitímans.

2.2 Mæliaðferðir og meðhöndlun gagna

Um leið og komið var í land var gengið frá sýnunum á viðeigandi hátt og þeim komið í geymslu. Þau voru síðan mæld eins og greint er frá hér á eftir.

Blaðgrænusýnin voru síuð strax og síurnar geymdar í frysti þar til mæling fór fram. Við mælingu á blaðgrænu var notuð aðferð Strickland og Parson (1972).

Næringarefnin voru fryst strax og komið var í land og geymd frosin þar til þau voru mæld. Nítrat og kísill (NO_3 og SiO_2) voru mæld samkvæmt aðferð sem lýst er hjá Grasshoff (1970). Fosfat (PO_4^{3-}) var mælt samkvæmt aðferð Murphy og Riley (1962). Ammóníum (NH_4^+) var mælt samkvæmt Koroleff (1970). Til þess að mæla heildarköfnunarefni er sýnið blandað peroxíði og lífræna efnið brotið niður með útfjólubláu ljósi. Síðan eru sýnin mæld sem nítrat og fosfat samkvæmt aðferðum sem vísað hefur verið í hér að ofan.

Seltusýnin voru geymd við stofuhita, þar til þau voru mæld í leiðnimæli. Þau voru mæld öll í einu að lokinni söfnun.

Talningar- og háfsýni voru varðveitt í formalíni, styrkleiki formalíns var 0,4%. Hafa ber í huga að lifandi sýni innihalda oft talsvert af smáum svipupörungum, sem eyðileggjast í formalíni frekar en stærri þörungur, sem hafa sterkan vegg. Háfsýni voru skoðuð í smásjá fljótlega eftir að komið var í land og þörungarnir í sýninu greindir til tegunda eða í stærri hópa.

Kræklingi var safnað í námunda við stöðvar 1 og 2. Við talningu svifþörunganna var svokölluð Utermöhl-aðferð notuð (Hasle 1978). Notaður er 50 ml hólkur, sem er settur ofan á þar til gerða talningarplötu. Sýnisflöskunni er

velt fram og aftur u.þ.b. 150 sinnum til þess að sýnið verði sem einsleitast. Þá er hluta sýnis hellt í talningarhólkinn og látið botnfalla í sólarhring á talningarplötuna. Hólkurinn er svo fjarlægður og botnfallið talið í snúinni smásjá við 200 sinnum stækkun.

Það er talið að talning ákveðinnar tegundar gefi bestu niðurstöðu ef taldar eru 100-400 frumur (Willén 1976 og 1977). Það voru taldar 100-400 frumur ákveðinna tegunda þegar þéttleiki þeirra var nægur. Oftast voru þó aðeins fáar tegundir í það miklum fjölda hverju sinni.

Við veiðar á kræklingi var notuð lítill þríhyrnuskrapa. Skröpunni var hent út og hún dregin á lítilli ferð yfir svæði sem þóttu líkleg búsvæði kræklinga. Dregið var á 5-6 m dýpi sem næst rannsóknastöðinni. Allan sýnatökutímann fékkst kræklingur við stöðvar 1 og 2 af svipuðu svæði. Þegar nægjanlegt magn var komið í pokann var hann dreginn upp. Kræklingurinn var slitinn laus af knippunum og komið fyrir í 10 l plastfötum. Botngerðin sem kræklingurinn var dreginn af var ólík á stöðvum 1 og 2. Á stöð 1 er leðjubotn (rotandi dýra- og plöntuleifar), en á stöð 2 er malarbotn. Sýnin voru fryst um leið og komið var í land. Kræklingasýni til eiturefnaþátta voru valin að lokinni talningu þörunganna. Unnið var þykkni úr kræklingnum á Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, og stuðst við aðferð Premazzi og Volterra (1993). Þykknið var svo notað til að framkvæma músapróf, sem gert var á Tilraunastöð Háskóla Íslands í meinafræði að Keldum. Músaprófið var framkvæmt samkvæmt aðferðarlýsingu Yasumoto o.fl. (1978).

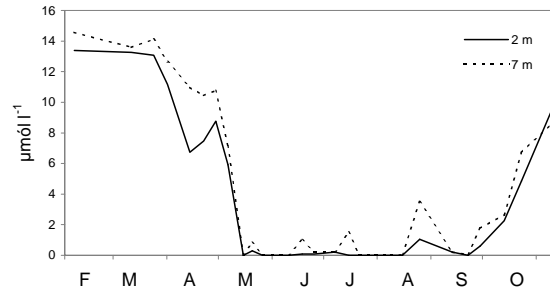
3. NIÐURSTÖÐUR

3.1 Næringarefni

3.1.1 Nítrat

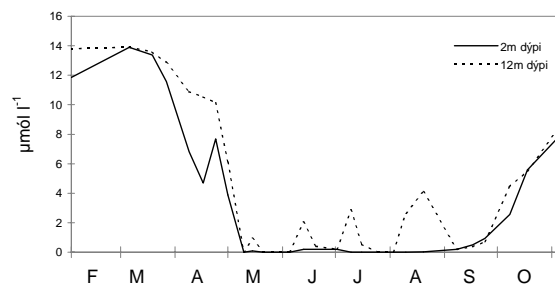
Við upphaf mælinganna 6. febrúar 1997, var fullur styrkur nítrats að lokinni vetrarblöndun vatnsmassans á öllum stöðvunum, á milli 13 og 14 $\mu\text{mól l}^{-1}$ (2., 3. og 4. mynd). Mikil lækkun varð á styrk nítrats um og upp úr miðjum apríl á báðum dýpum á öllum sýnatökustöðvunum og um miðjan maí var nítrat uppuríð á öllum stöðvunum og vart mælanlegt aftur í yfirborði fyrr en síðsumars eða að hausti. Dýpra varð vart við aukinn nítratstyrk af og til yfir gróður-tímann.

Við yfirborð á stöðvum 1 og 2 var styrkur nítrats í lágmarki frá miðjum maí og fram í



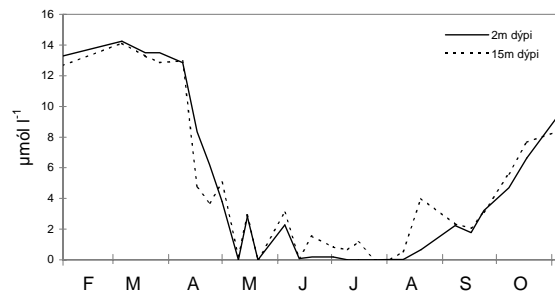
2. mynd. Styrkur nítrats á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.

Fig. 2. Concentration of nitrate at 2 m and 7 m depth at station 1.



3. mynd. Styrkur nítrats á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

Fig. 3. Concentration of nitrate at 2 m and 12 m depth at station 2.



4. mynd. Styrkur nítrats á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

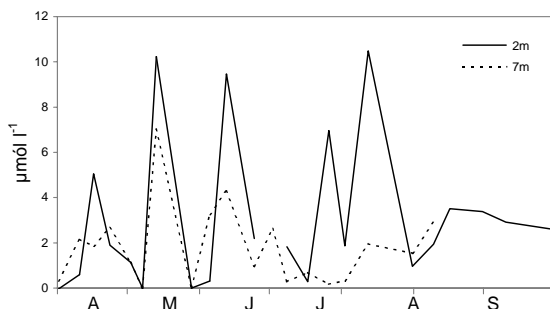
Fig. 4. Concentration of nitrate at 2 m and 15 m depth at station 3.

september og á stöð 3, í yfirborði, frá miðjum júní og fram í september. Styrkur nítrats jókst hins vegar af og til á 7 m, 12 m og 15 m dýpi á stöðvum 1, 2 og 3 yfir sumartímann og sveiflaðist á milli 0 og 3,0 $\mu\text{mól l}^{-1}$.

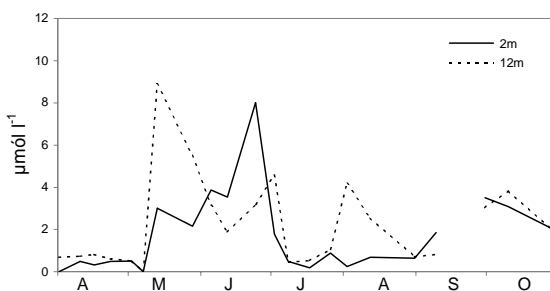
3.1.2 Ammóníum

Farið var að mæla ammóníum um miðjan apríl, þegar vöxtur svifþörunganna var kominn vel af stað.

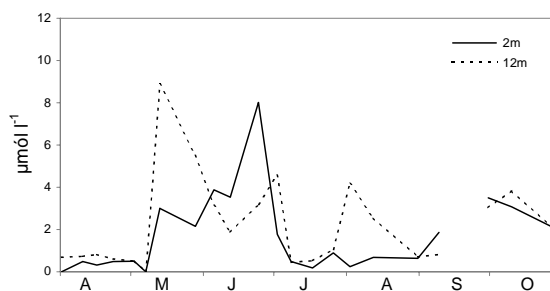
Við yfirborð á stöð 1, var styrkur ammóníums mjög breytilegur og mjög hár í toppum sem mældust yfir tímabilið (5. mynd). Dýpra á stöð 1 og á stöðvum 2 og 3 var ammóníumstyrkurinn lægri og ekki eins sveiflukenndur (5., 6. og 7. mynd).



5. mynd. Styrkur ammóníums á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.
Fig. 5. Concentration of ammonium at 2 m and 7 m depth at station 1.

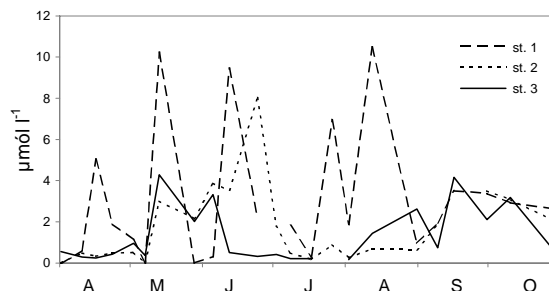


6. mynd. Styrkur ammóníums á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.
Fig. 6. Concentration of ammonium at 2 m and 12 m depth at station 2.



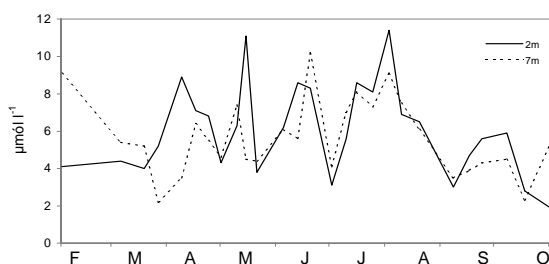
7. mynd. Styrkur ammóníums á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.
Fig. 7. Concentration of ammonium at 2 m and 15 m depth at station 3.

Við upphaf ammóníum mælinganna um miðjan apríl, var styrkur lágur á öllum stöðvunum, innan við $1,0 \mu\text{mol l}^{-1}$. Styrkur ammóníums féll samhliða mikilli gróðuraukningu. Þegar gróðurhámörk liðu undir lok hækkandi styrkur ammóníums fljótlega aftur. Þetta var megin ferillinn á stöðvum 1-3. Ammóníumstyrkur á stöð 3 var almennt talsvert lægri bæði í yfirborði og dýpra miðað við stöðvarnar inni í firðinum (8. mynd).



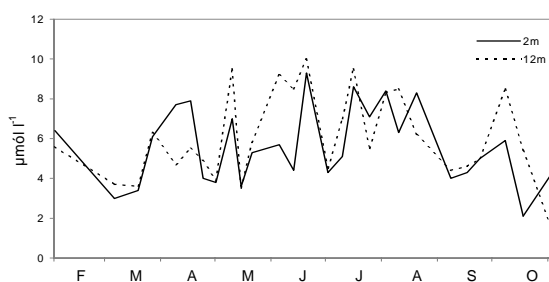
8. mynd. Styrkur ammóníums á 2 m dýpi á stöðvum 1, 2 og 3.

Fig. 8. Concentration of ammonium at 2 m depth at stations 1, 2 and 3.



9. mynd. Styrkur uppleystra lífræna köfnunarefnisambanda á 2m og 7m dýpi á stöð 1.

Fig. 9. Concentration of DON at 2 m and 7 m depth at station 1.



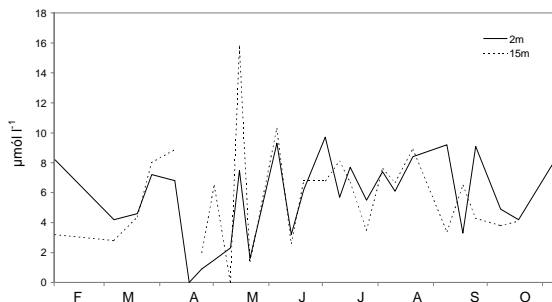
10. mynd. Styrkur uppleystra lífræna köfnunarefnisambanda á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

Fig. 10. Concentration of DON at 2 m and 12 m depth at station 2.

3.1.3 Uppleyst lífræn köfnunarefnissambönd (DON)

Auk mælinga á ólífrænu nitrati var magn uppleystra lífræna köfnunarefnissambanda (DON) mælt. Uppleyst lífræn köfnunarefnissambönd í sjó eru einkum þvagefni (urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) og aminosýrur (Wada & Hattori 1991).

Styrkur DON á öllum stöðvum var einna lægstur í upphafi og lok mælinganna (9., 10. og 11. mynd). Þó mældust einnig mjög lág gildi af og til um sumarið. Styrkur DON var talsvert breytilegur bæði við yfirborð og dýpra, en áberandi hætti þegar gróðurhámörk varð og í



11. mynd. Styrkur uppleystra lífrænna köfnunarefnis-sambanda á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

Fig. 11. Concentration of DON at 2 m and 15 m depth at station 3.

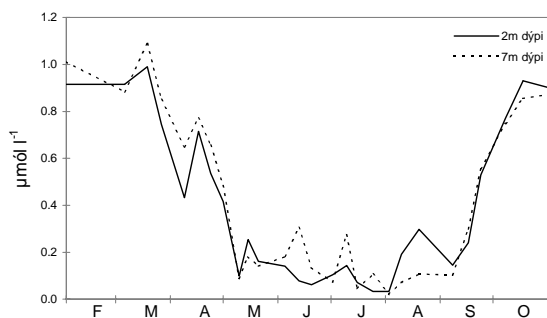
kjölfar þess. Þegar sjórinn varð uppblandaður að haustinu jókst styrkur ólífræns nítrats jafnt og þétt en styrkur DON féll smám saman.

Eftir því sem styrkur lífrænna efna jókst í vatnsmassanum, hækkaði styrkur DON. Það má sjá að styrkur DON hækkar samfara því að gróðri hnignar. Það sést vel á myndum 2-3 og myndum 9-11 að þegar styrkur nítrats var ekki eða vart mælanlegur yfir sumartímam þá var styrkur DON nokkuð hár og lífrænt köfnunarefni ávallt til staðar, fyrir þær tegundir sem geta nýtt sér köfnunarefni á því formi. Styrkur DON við yfirborð og dýpra var nokkuð áþekkur yfir tímabilið. Einnig var um svipaðan styrk að ræða á öllum stöðvunum, þó almennt heldur lægri í mynninu.

3.1.4 Fosfat

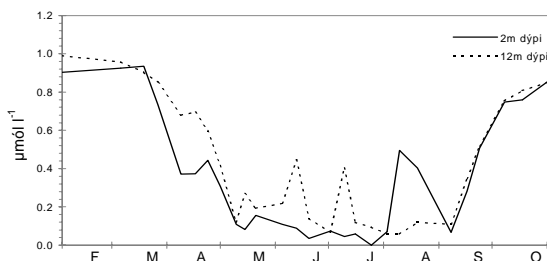
Styrkur fosfats var í upphafi rannsóknarinnar á bilinu 0,90-1,01 $\mu\text{mol l}^{-1}$ á öllum sýnatöku-stöðvunum (12., 13. og 14. mynd). Þetta er venjulegur styrkur þessa næringarefnis í strandsjónum að lokinni vetrarblöndun (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991). Í byrjun apríl, þegar gróður fór að vaxa, fór að ganga á þennan forða. Um miðjan maí var styrkurinn kominn niður í um 0,10 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Upp frá því og fram til síðari hluta september var styrkur fosfats lágur, á bilinu 0,01 til 0,3 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Það mældist þó ávallt eitthvað af fosfati öfugt við nítrat. Í lok mælinganna 11. nóvember náði styrkur fosfats vetrargildum aftur.

Frá því að vorhámarki gróðursins lauk, fyrri hluta maí og þar til um haustið var styrkur fosfats almennt lágur. Það mældist þó hærri styrkur af og til á öllum stöðvunum. Þessi aukni styrkur var hugsanlega til kominn vegna innstreymis næringarríks sjávar, eða vegna uppróts af botni. Styrkur fosfats óx í kringum



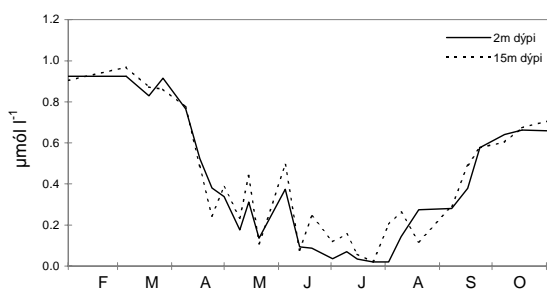
12. mynd. Styrkur fosfats á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.

Fig. 12. Concentration of phosphate at 2 m and 7 m depth at station 1.



13. mynd. Styrkur fosfats á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

Fig. 13. Concentration of phosphate at 2 m and 12 m depth at station 2.



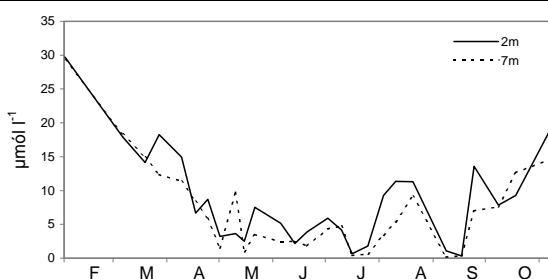
14. mynd Styrkur fosfats á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

Fig. 14. Concentration of phosphate at 2 m and 15 m depth at station 3.

miðjan ágúst og þá aðallega í yfirborði á stöðvum 1 og 2. Þennan aukna styrk, sérstaklega í yfirborðinu á stöð 2, er ekki eingöngu hægt að rekja til innstreymis að utan, reyndar varð hækkun í mynninu á báðum dýpum, þó aðallega á 15 m dýpi. Það er sennilegast að þessi hækkun hafi stafað af auknu afrennsli af landi, en fyrri hluta ágústmánaðar varð seltulækkun í yfirborði, á öllum stöðvunum. Einnig má geta þess að upp af Bjarteyjarsandi er talsverð túnrækt og þar sem rigningasamt var á þessum tíma gæti það hafa haft áhrif á yfirborðsstyrk næringarsalta.

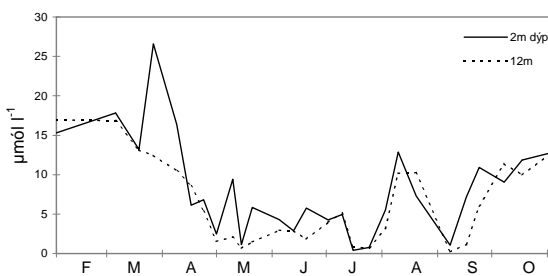
3.1.5 Kísill

Það voru óvenju há vetrargildi í styrk kísils í upphafi sýnatökutímans á öllum stöðvunum og talsvert hærri inni í firðinum en yst í honum. Í yfirborði á stöð 1 var styrkur kísils $29,7 \mu\text{mól l}^{-1}$ og á 7 m dýpi, $29,3 \mu\text{mól l}^{-1}$, á stöð 2 í yfirborði $15,3 \mu\text{mól l}^{-1}$ og $16,9 \mu\text{mól l}^{-1}$ á 12 m dýpi, á stöð 3 í yfirborði $13,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ og $12,7 \mu\text{mól l}^{-1}$ á 15 m dýpi (15., 16. og 17. mynd). Almennt eru vetrargildi fyrir styrk kísils í strandsjónum við Ísland talin vera um $7 \mu\text{mól l}^{-1}$ (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991). Mjög hár kísilstyrkur á stöð 1 í yfirborði, í upphafi mælinganna, gæti stafað af ferskvatnsáhrifum því stöðin er staðsett rétt utan við ósa Fossár. Styrkur kísils á neðri söfnunardýpunum fylgdi



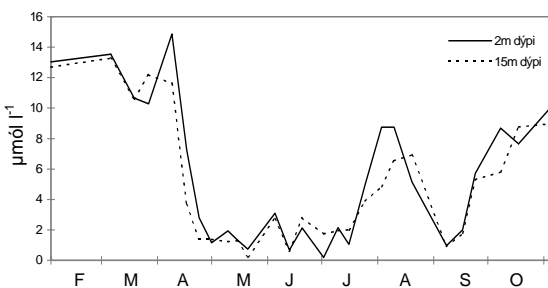
15. mynd. Styrkur kísils á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.

Fig. 15. Concentration of silicate at 2 m and 7 m depth at station 1.



16. mynd. Styrkur kísils á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

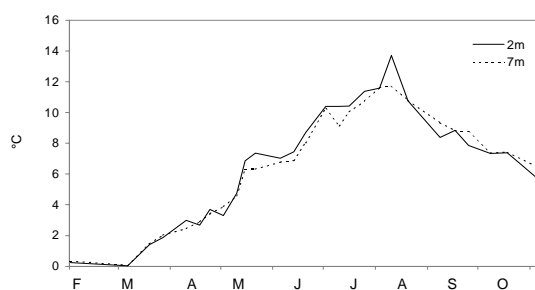
Fig. 16. Concentration of silicate at 2 m and 12 m depth at station 2.



17. mynd. Styrkur kísils á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

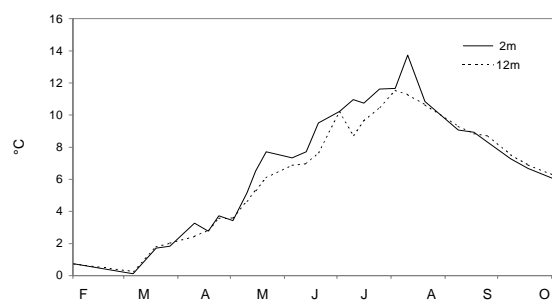
Fig. 17. Concentration of silicate at 2 m and 15 m depth at station 3.

yfirborðsstyrknum í stórum dráttum, en var þó yfirleitt heldur lægri. Styrkur kísils lækkaði í lok mars, en hækkaði aftur fyrri hluta aprílmánaðar. Þessa hækkingu má að öllum líkindum rekja til afrennslis af landi, því á sama tíma varð talsverð seltulækkun í yfirborðinu, aðallega á stöðvum 1 og 2, en einnig merkjanlega í mynni fjarðarins á stöð 3. Styrkur kísils var yfirleitt lægri á stöð 3, en á stöðvum 1 og 2. Á stöðvum 1 og 2 var styrkur kísils oftast yfir $2,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ um sumarið, þar til 21. júlí, en lækkaði þá mikið. Þann 8. ágúst hækkaði styrkur kísils aftur á öllum stöðvunum, en féll aftur niður fyrir $2,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ um miðjan september. Í lok september var styrkur kísils aftur hár og hélt áfram að hækka fram að síðasta sýnatökudegi 11. nóvember.



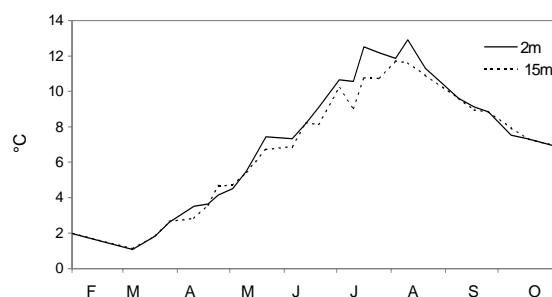
18. mynd. Hiti á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.

Fig. 18. Temperature at 2 and 7 m depth at station 1.



19. mynd. Hiti á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

Fig. 19. Temperature at 2 and 12 m depth at station 2.



20. mynd. Hiti á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

Fig. 20. Temperature at 2 and 15 m depth at station 3.

3.2 Hiti

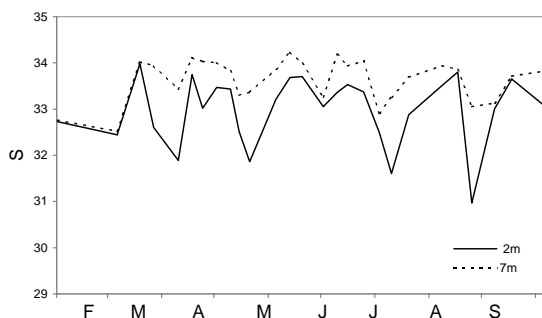
Lægsta hitastig var mælt 11. mars á öllum stöðvunum, 0,0-1,1 °C (18., 19 og 20. mynd). Upp úr miðjum mars fór hitastigið að hækka jafnt og þétt. Hitinn var almennt örlítið hærri úti í mynninu, á stöð 3, snemma um vorið og fram á sumarið. Hiti við yfirborð náði hámarki 15. ágúst á öllum stöðvum 12,9-13,7 °C. Dýpra var hæsti hiti mældur 8. til 15. ágúst. Eftir miðjan ágúst fór hitastigið lækkanði og lækkaði jafnt og þétt fram að síðasta sýnatökudegi 11. nóvember. Munur á hæsta og lægsta hita við yfirborð á stöð 1 var 13,7 °C (18. mynd). Á stöð 2 var munurinn 13,6 °C (19. mynd) og á stöð 3 var munurinn 11,8 °C (20. mynd). Dýpra var hitamunur yfir tímabilið heldur lægri á öllum stöðvunum.

Þó að munur á hæsta og lægsta hita hafi verið heldur minni úti í mynninu en inni í firðinum, var hitaferillinn á öllum þremur stöðvunum mjög áþekkur, bæði við yfirborð og dýpra. Hæstu og lægstu gildin voru mæld á svipuðum tíma á öllum stöðvunum. Um miðjan maí var hitaskiptalag farið að myndast og það virðist hafa haldist að mestu fram yfir miðjan ágúst.

3.3 Selta

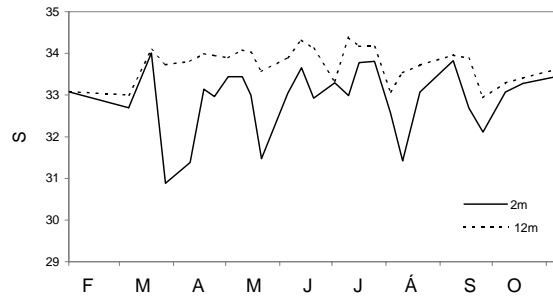
Við upphaf mælinganna í febrúar var selta við yfirborð og dýpra áþekkt, (21., 22. og 23. mynd). Selta mældist þó ávallt hærri dýpra miðað við yfirborð. Munur á hæstu og lægstu seltu var því talsvert minni dýpra en í yfirborði. Stöð 1 er ekki langt undan ósum Fossár og áhrifa ferskvatns gætir þar talsvert, einkum við yfirborð. Það var í lok mars að verulegra ferskvatnsáhrifa fór að gæta við yfirborð.

Mestu seltubreytingar urðu við yfirborð á stöðvunum innst í firðinum. Mun minni



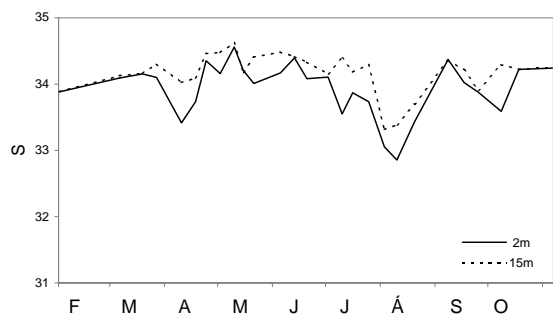
21. mynd. Selta á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.

Fig. 21. Salinity at 2 m and 7 m depth at station 1.



22. mynd. Selta á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.

Fig. 22. Salinity at 2 m and 12 m depth at station 2.



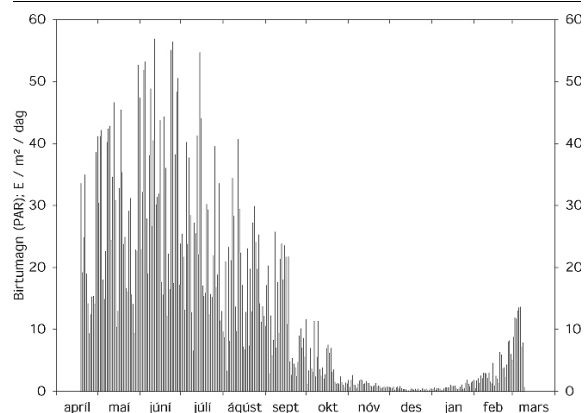
23. mynd. Selta á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.

Fig. 23. Salinity at 2 m and 15 m depth at station 3.

breytingar urðu á seltu á ystu stöðinni og á neðri dýpunum á innri stöðvunum. Í lok mælinganna þann 11. nóvember var selta í yfirborði og dýpra aftur orðin sú sama.

3.4 Ljós

Samkvæmt niðurstöðum ljósmælinganna var styrkur ljóss í lofti við yfirborð sjávar, um miðjan apríl 1997 um $35 \mu\text{E m}^{-2} \text{S}^{-1}$ (24. mynd). Ljósstyrkur jókst og var í hámarki frá fyrri hluta júní og fram í miðjan júlí, yfir $50 \mu\text{E m}^{-2} \text{S}^{-1}$. Styrkur ljóss minnkaði hratt þegar líða tók á



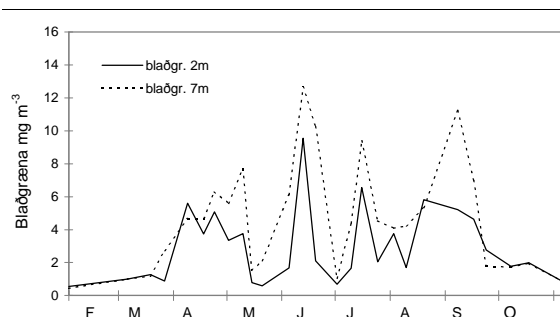
24. mynd. Niðurstöður ljósmælinga í Hvalfirði tímabilið apríl 1997 - mars 1998.

Fig. 24. Light intensity in Hvalfjörð during the period from April 1997 - Mars 1998.

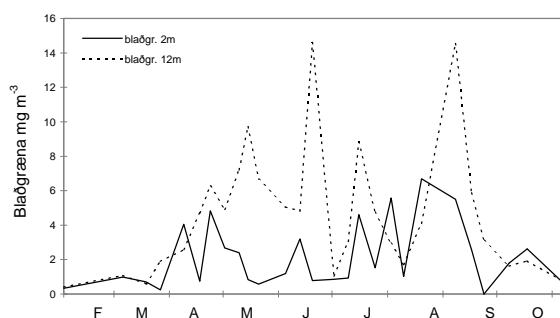
haustið og var í lágmarki í nóvember, desember og janúar. Í febrúar fór styrkurinn að vaxa aftur. Síðast var mælt fyrri hluta mars 1998, þá var ljósstyrkurinn kominn upp í $14 \mu\text{E m}^{-2} \text{S}^{-1}$.

3.5 Blaðgræna

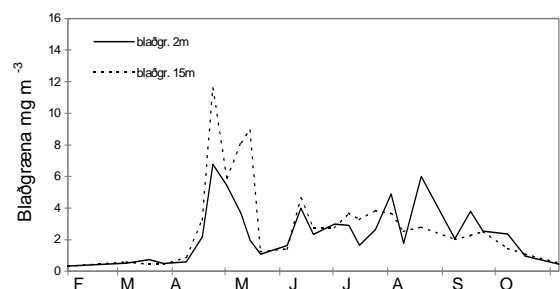
Lítill blaðgræna mældist í upphafi mælinganna í febrúar á öllum stöðvum (25., 26. og 27. mynd). Styrkur blaðgrænu fór að aukast þegar leið á aprílmánuð. Á stöð 1. mældist hæsti blaðgrænustyrkur þann 18. júní og þann 25. júní á stöð 2. Í kjölfar þessa háa styrks í júní var



25. mynd. Styrkur a-blaðgrænu á 2 m og 7 m dýpi á stöð 1.
Fig. 25. Chlorophyll a concentration at 2 m and 7 m depth at station 1.



26. mynd. Styrkur a-blaðgrænu á 2 m og 12 m dýpi á stöð 2.
Fig. 26. Chlorophyll a concentration at 2 m and 12 m depth at station 2.



27. mynd. Styrkur a-blaðgrænu á 2 m og 15 m dýpi á stöð 3.
Fig. 27. Chlorophyll a concentration at 2 m and 15 m depth at station 3.

styrkur blaðgrænu lágur á stöðvum 1 og 2 þar til í síðari hluta júlí. Hæsti blaðgrænustyrkur á stöð 3 bæði við yfirborð og á 15 m dýpi mældist þann 29. apríl. Styrkur blaðgrænu við yfirborð var lágur á öllum stöðvunum fyrri hluta ágúst, en jókst eftir miðjan mánuðinn. Eftir miðjan september fór styrkur blaðgrænu að lækka í átt að vetrargildum.

Styrkur blaðgrænu var almennt lægri við yfirborð en dýpra og oft var munurinn mikill, eins og sést best á niðurstöðum mælinga frá stöð 2. Stöðvar 1 og 2 eru ólíkar stöð 3 að því leyti að úti í mynninu varð hæsti blaðgrænustyrkur að vorinu, bæði við yfirborð og dýpra, en á stöðvunum inni í firðinum urðu hæstu blaðgrænu gildin að sumri og hausti. Einnig mátti sjá mikinn mun á styrk blaðgrænu við yfirborð og svo aftur dýpra á stöðvum 1 og 2. Þessi munur var ekki eins afgerandi á stöð 3.

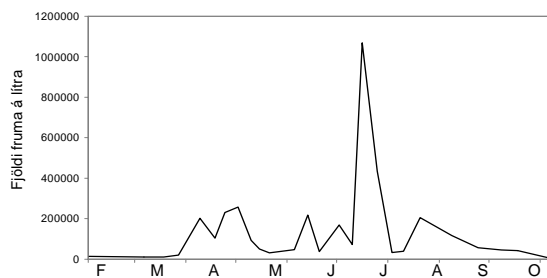
3.6 Tegundir

Yfir gróðurtímabilið í Hvalfirði 1997, var leitast við að greina svifþörungana til tegunda og var 101 tegund greind, 56 tegundir kísilþörungna, 43 tegundir skorubörungna, ein tegund gullþörungna og ein tegund Haptophyceae. Ekki tókst að greina alla þörungna. Þeir sem ekki voru tegundagreindir voru flokkaðir í ættbálka eða flokka. Listi yfir tegundir sem voru greindar ásamt höfundarnöfnum er í viðauka. Listinn sýnir hvenær á tímabilinu einstakar tegundir fundust í svifinu. Hér á eftir verður gerð grein fyrir helstu tegundum, sem fundust í Hvalfirði, yfir gróðurtímabilið 1997.

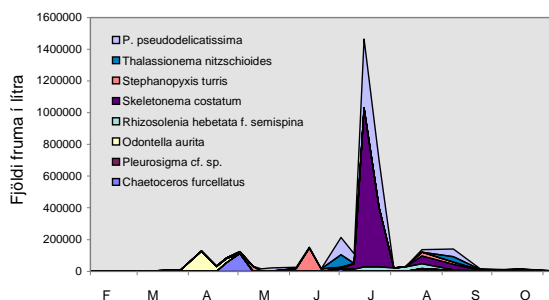
3.6.1 Kísilþörungur

Á stöð 1 við yfirborð var mestur fjöldi kísilþörungna að vorinu þann 7. maí, 256.780 frumur í lítra (fr. l^{-1}), að sumrinu þann 21. júlí, $1.502.715$ fr. l^{-1} og að haustinu þann 25. ágúst, 222.428 fr. l^{-1} (28. mynd).

Helstu tegundir að vorinu (29. mynd) voru *Odontella aurita* (124 þús. fr. l^{-1}), ýmsar *Chaetoceros* tegundir og bar mest á *C. furcellatus* (112 þús. fr. l^{-1}), í minna magni en þó talsvert áberandi voru einnig ýmsar *Thalassiosira* tegundur, í mestum fjölda var *T. nordenskiöldii* (27 þús. fr. l^{-1}). *Stephanopyxis turris* varð nokkuð áberandi í vorsvifinu (11 þús. fr. l^{-1}) en náði mestum fjölda við yfirborð þann 18. júní eða 145 þús. fr. l^{-1} . Í júlí bar mest á tegundunum *Skeletonema costatum*, sem náði



28. mynd. Heildarfjöldi kísilþörungna í yfirborði á stöð 1.
Fig. 28. Seasonal changes in total number of diatoms at 2m depth at station 1.

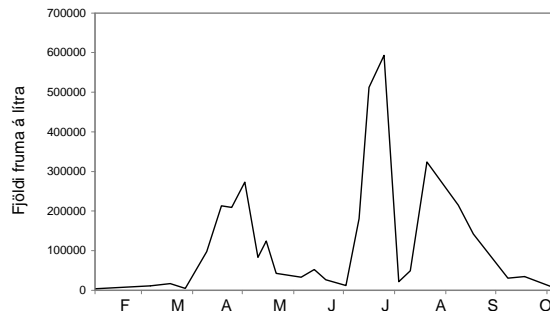


29. mynd. Framvinda helstu kísilþörungategunda í yfirborði á stöð 1.
Fig. 29. Total number of the main diatoms species at 2 m depth at station 1.

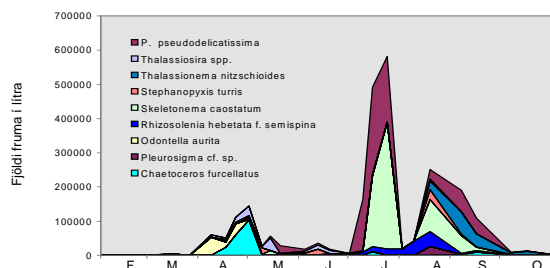
hámarki þann 21. júlí, 996 þús. fr. l^{-1} og *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, sem náði mestum fjölda á sama tíma, 435 þús. fr. l^{-1} . *Rhizosolenia hebetata f. semispina* var einnig áberandi í svifinu á þeim tíma með 27 þús. fr. l^{-1} 21. og 30. júlí. Að haustinu voru þær tegundir sem ríktu að sumrinu áberandi, *Rhizosolenia hebetata f. semispina* 29 þús. fr. l^{-1} þann 25. ágúst, ásamt *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. *Thalassionema nitzschoides* var einnig áberandi í haustsvifinu, þann 13. september var fjöldinn 34 þús. fr. l^{-1} og þessi þörungur sást í eitt skipti að sumrinu, þann 7. júlí og var þá í mestum fjölda eða 80 þús. fr. l^{-1} . Einnig var *Pleurosigma cf. sp.* áberandi í svifinu að haustinu og töldust 18 þús. fr. l^{-1} .

Á stöð 2 í yfirborði var framvinda kísilþörungagróðursins yfir tímabilið áþekkt því sem var á stöð 1 (30. mynd). Mestur fjöldi að vorinu mældist þann 5. maí, 273 þús. fr. l^{-1} , að sumrinu var fjöldinn mestur þann 30. júlí, 593 þús. fr. l^{-1} og að haustinu þann 25. ágúst, 324 þús. fr. l^{-1} . Árstíðabreytingar á heildarfjölda kísilþörungategunda við yfirborð er sýnd á 31. mynd.

Að vorinu bar mest á tegundunum *Odontella aurita* (34 þús. fr. l^{-1}), ýmsum *Chaetoceros*



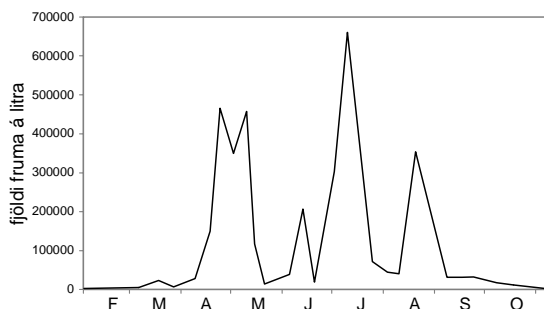
30. mynd. Heildarfjöldi kísilþörungna í yfirborði á stöð 2.
Fig. 30. Seasonal changes in total number of diatoms at 2m depth at station 2.



31. mynd. Framvinda helstu kísilþörungategunda í yfirborði á stöð 2.
Fig. 31. Total number of the main diatoms species at 2m depth at station 2.

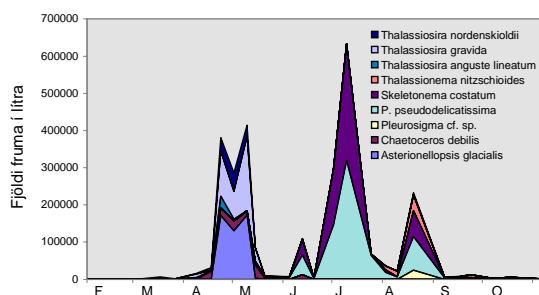
tegundum og þá helst *C. furcellatus* (104 þús. fr. l^{-1}) og *C. debilis* (46 þús. fr. l^{-1}), *Thalassiosira nordenskiöldii* (20 þús. fr. l^{-1}), *T. gravida* (19 þús. fr. l^{-1}) og að lokum *Porosira glacialis* (32 þús. fr. l^{-1}). *Stephanopyxis turris* fór að verða áberandi í maí, eins og á stöð 1, og voru 19 þús. fr. l^{-1} taldar þann 15. maí. Að sumrinu var *Stephanopyxis turris* áberandi þann 18. júní (15 þús. fr. l^{-1}). Það var þann 30. júlí, viku seinna en á stöð 1, að mestur fjöldi kísilþörungna taldist. Það voru sömu tegundir í þessum blóma og á stöð 1, *Skeletonema costatum* (369 þús. fr. l^{-1}) og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (192 þús. fr. l^{-1}). Að haustinu var *Stephanopyxis turris* áfram áberandi og náði hámarki þann 25. ágúst (29 þús. fr. l^{-1}). Aðrar tegundir haustblómans voru þær sömu og í sumartoppnum, *Rhizosolenia hebetata f. semispina* (44 þús. fr. l^{-1}), ásamt *Pleurosigma cf. sp.* (26 þús. fr. l^{-1}) og *Thalassionema nitzschoides* sem var í mestum fjölda þann 13. september (65 þús. fr. l^{-1}).

Á stöð 3 mældust þrjár toppar, í apríl, júlí og ágúst og mestur varð fjöldinn í júlí, 660 þús. fr. l^{-1} (32. mynd).



32. mynd. Heildarfjöldi kísilþörunganna í yfirborði á stöð 3.

Fig. 32. Seasonal changes in total number of diatoms at 2 m depth at station 3.



33. mynd. Framvinda helstu kísilþörungategunda í yfirborði á stöð 3.

Fig. 33. Total number of the main diatom species at 2 m depth at station 3.

Það var tegundin *Asterionellopsis glacialis* (171 þús. fr. l^{-1}), sem náði mestum fjölda að vorinu (33. mynd). Auk *A. glacialis* voru það *Thalassiosira* tegundirnar, *T. gravida* (201 þús. fr. l^{-1}), *T. nordenskiöldii* (37 þús. fr. l^{-1}) og *T. anguste lineatum* (30 þús. fr. l^{-1}), sem sáust í töluverðu magni, einnig ýmsar *Chaetoceros* tegundir svo sem, *C. debilis* (20 þús. fr. l^{-1}). Helsta tegund vorsvifsins inni í firðinum *Odontella aurita* sást einnig úti í firðinum en aldrei í miklu magni. Að sumrinu varð gróðurhámark þann 15. júlí, það voru sömu tegundir hér og inni í firði sem náðu langmestum fjölda, *Skeletonema costatum* (313 þús. fr. l^{-1}) og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (319 þús. fr. l^{-1}). Haustblómi svifþörunganna varð hér á sama tíma og á hinum stöðvunum eða þann 25. ágúst. Eins og áður voru það kísilþörungar úr sumarhámarkinu, sem einnig tóku þátt í haustblómanum, ásamt *Pleurosigma* cf. sp. (24 þús. fr. l^{-1}), *Thalassionema nitzschioides* (43 þús. fr. l^{-1}) og *Thalassiosira* spp. (41 þús. fr. l^{-1}).

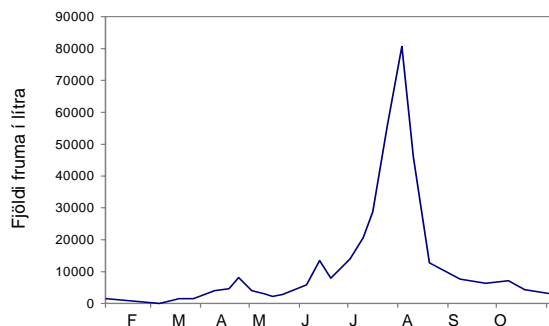
Það voru ákveðnar tegundir sem sáust nánast eingöngu að vorinu og einkenndu vorsvifið, s.s. *Odontella aurita*, *Porosira glacialis* og *Asterionellopsis glacialis*. Á sama hátt voru það

ákveðnar tegundir sem stóðu undir sumartoppi kísilþörunganna á öllum stöðvunum, *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. Einkennistegundir að haustinu voru þær sömu og í sumartoppnum ásamt *Thalassionema nitzschioides*, *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina* og *Pleurosigma* cf. sp. Sumar tegundanna, sem voru aðallega áberandi að vori, sumri eða hausti komu einnig fyrir á öðrum tíma, en þá yfirleitt í litlu magni.

3.6.2 Skorupörungar

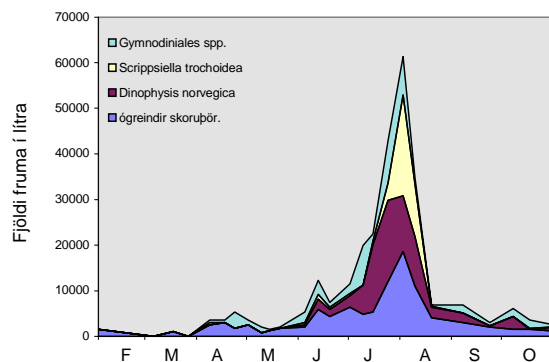
Skorupörungar voru lítið áberandi fyrri hluta gróðurtímabilsins, fjöldi þeirra jókst eftir miðjan júní og náðu þeir hámarksfjölda þann 8. ágúst á öllum stöðvunum. Það er oft erfitt að tegunda-greina skorupörungna í talningarsýni. Ef ekki tókst að greina þá til tegunda voru þeir settir saman í stærri hópa, reynt var að greina þá í ættkvíslir og ef það gekk ekki voru þeir nefndir ógreindir skorupörungar.

Heildarfjöldi skorupörungna þann 8. ágúst í yfirborði á stöð 1 var 81 þús. fr. l^{-1} (34. mynd). Á 35. mynd er sýndur fjöldi og framvinda helstu



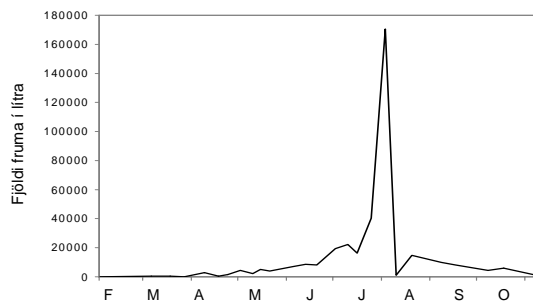
34. mynd. Heildarfjöldi skorupörungna í yfirborði á stöð 1.

Figure 34. Seasonal changes in total number of dinoflagellates at 2 m depth at station 1.



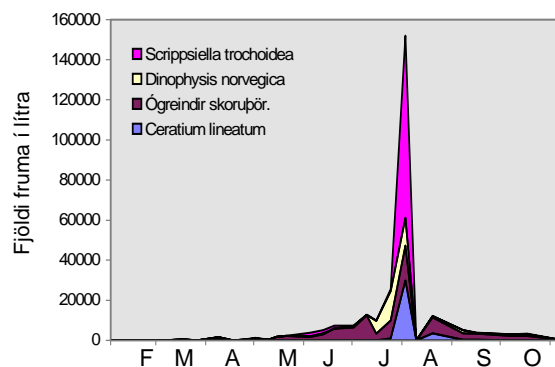
35. mynd. Framvinda helstu tegunda skorupörungna í yfirborði á stöð 1.

Figure 35. Total number of the main dinoflagellate species at 2m depth at station 1.



36. mynd. Heildarfjöldi skorubörunga í yfirborði á stöð 2.

Fig. 36. Seasonal changes in total number of dinoflagellates at 2 m depth at station 2.



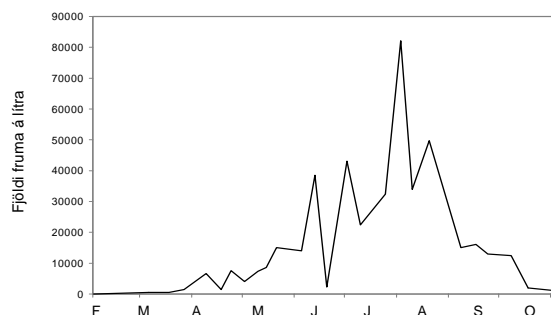
37. mynd. Framvinda helstu tegunda skorubörunga í yfirborði á stöð 2.

Fig. 37. Total number of the main dinoflagellates species at 2 m depth at station 2.

tegunda skorubörunga á stöð 1 við yfirborð. Helstu skorubörungar, í hámarkinu þann 8. ágúst voru *Scrippsiella trochoidea* (22 þús. fr. l^{-1}), *Dinophysis norvegica* (12 þús. fr. l^{-1}), *Gymnodinium* spp. (8 þús. fr. l^{-1}) og ógreindir skorubörungar (19 þús. fr. l^{-1}).

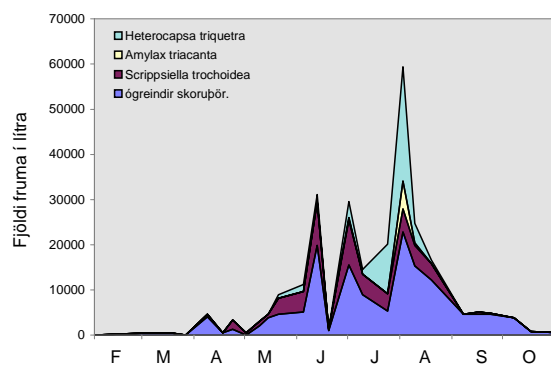
Á stöð 2 í yfirborði bar mjög lítið á skorubörungum fyrr en í júlí. Þeir náðu hámarki 8. ágúst og var heildarfjöldi þeirra 170 þús. fr. l^{-1} (36. mynd). Skorubörungum fjölgaði hratt í lok júlí og stöð blómi þeirra mjög stutt. Helstu tegundir voru *Scrippsiella trochoidea* (91 þús. fr. l^{-1}), *Ceratium lineatum* (30 þús. fr. l^{-1}), *Dinophysis norvegica* (14 þús. fr. l^{-1}) og að lokum ógreindir skorubörungar (17 þús. fr. l^{-1}). Á 37. mynd sést fjöldi og framvinda helstu skorubörunga á stöð 2 í yfirborði.

Á stöð 3 voru skorubörungar orðnir nokkuð áberandi í svifinu fyrri hluta júní og þann 18. júní var fjöldi þeirra 39 þús. fr. l^{-1} (38. mynd). Fjöldinn fór niður í rúmar 2000 fr. l^{-1} þann 25. júní, en jókst aftur 7. júlí upp í 43 þús. fr. l^{-1} og náði hámarki þann 8. ágúst, eins og á hinum stöðvunum, með 82 þús. fr. l^{-1} . Á 39. mynd má sjá framvindu helstu skorubörungategunda við



38. mynd. Heildarfjöldi skorubörunga í yfirborði á stöð 3.

Fig. 38. Seasonal changes in total number of dinoflagellates at 2 m depth at station 3.



39. mynd. Framvinda helstu tegunda skorubörunga í yfirborði á stöð 3.

Fig. 39. Total number of the main dinoflagellates species at 2 m depth at station 3.

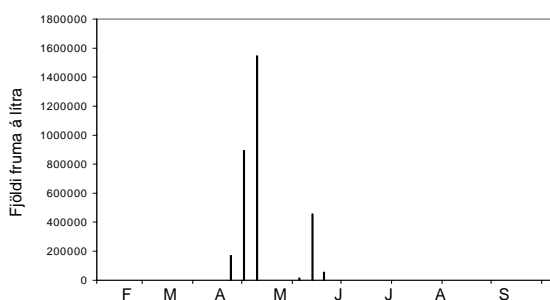
yfirborð á stöð 3. Helstu tegundir í hámarkinu á stöð 3 voru *Heterocapsa triquetra* (25 þús. fr. l^{-1}), *Scrippsiella trochoidea* (5000 fr. l^{-1}), *Amylax triacantha* (6000 fr. l^{-1}), *Gymnodinium* spp. (5000 fr. l^{-1}) og að lokum ógreindir skorubörungar (23 þús. fr. l^{-1}).

Skorubörungar voru í hámarki á öllum stöðvum þann 8. ágúst, þó að tegundasamsetningin væri að mörgu leyti ólík á stöðvunum. Flestar tegundanna greindust á öllum stöðvunum, en í mismiklum fjölda. Auk þeirra tegunda sem nefndar hafa verið, voru *Proto-peridinium* tegundir nokkuð algengar í svifinu á öllum stöðvunum en hver tegund fyrir sig var þó aldrei í miklu magni. Þær tegundir sem voru greindar og eru án litarefna voru *Preperidinium meunieri*, *Diplopsalis lenticulatum*, *Phalocroma rotundatum* og *Proto-peridinium depressum*. Fjöldi einstaklinga þessara tegunda varð aldrei mikill.

3.6.3 *Phaeocystis pouchetii*

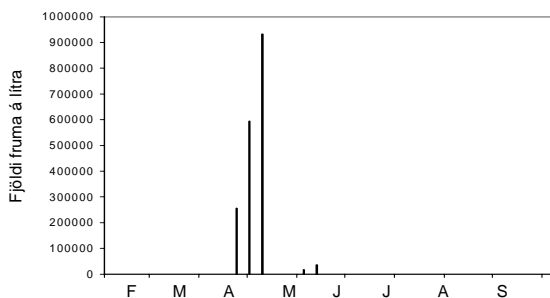
Phaeocystis pouchetii er svipuþörungur af flokki Prymnesiophyceae. Hans varð fyrst vart í mynni fjarðarins, þann 23. apríl, bæði við yfirborð og á 15 m dýpi. Á stöðvum 1 og 2 varð hans vart á báðum dýpum viku seinna, eða þann 29. apríl. Fjöldi þessa þörungs jókst í byrjun maí og náði hámarki við yfirborð þann 15. maí á öllum stöðvunum. Á stöð 1 fór fjöldinn við yfirborð í 1.546 þús. fr. l⁻¹ og 2.995 þús. fr. l⁻¹ á 7 m dýpi þann 15. maí (40. mynd). Á stöð 2 var fjöldi *Phaeocystis pouchetii* í yfirborði 933 þús. fr. l⁻¹ þann 15. maí og á 12 m dýpi, 3.490 þús. fr. l⁻¹ þann 20. maí (41. mynd). Á stöð 3 þann 15. maí í yfirborði var fjöldi *Phaeocystis pouchetii* 553 þús. fr. l⁻¹ og á 15 m dýpi var fjöldinn mestur þann 7. maí, 527 þús. fr. l⁻¹ (42. mynd). Þörungurinn sást ekki í sýnum eftir þetta, fyrr en í kringum miðjan júní, en náði ekki sambærilegum fjölda þá og í maí og var horfinn úr svifinu síðari hluta júní.

Aðstæður inni í firðinum virðast hafa hentað *P. pouchetii* betur en í mynninu, því þar náði hann margföldum fjölda. Þörungurinn náði hámarki á tiltölulega skömmum tíma, í lok vor-



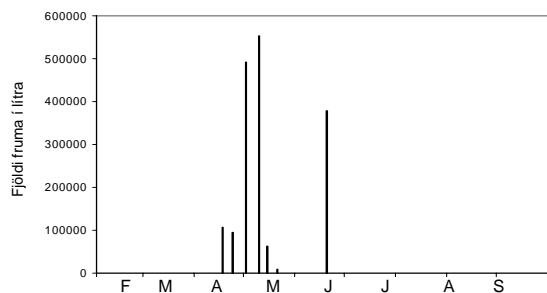
40. mynd. Heildarfjöldi *Phaeocystis pouchetii* í yfirborði á stöð 1.

Fig. 40. Seasonal changes in total number of *Phaeocystis pouchetii* at 2 m depth at station 1.



41. mynd. Heildarfjöldi *Phaeocystis pouchetii* í yfirborði á stöð 2.

Figure 41. Seasonal changes in total number of *Phaeocystis pouchetii* at 2 m depth at station 2.



42. mynd. Heildarfjöldi *Phaeocystis pouchetii* í yfirborði á stöð 3.

Fig. 42. Seasonal changes in total number of *Phaeocystis pouchetii* at 2 m depth at station 3.

blóma kísilþörunganna, og hvarf svo úr svifinu í nokkurn tíma. Birtist aftur í júní, en hvarf svo alveg eftir það.

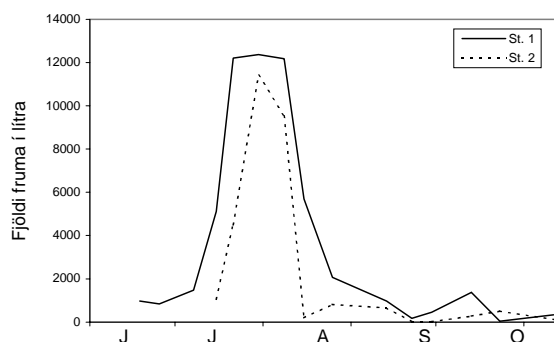
3.6.4 Kalksvifþörungur

Á stöð 3 varð vart við mjög lítinn kalksvifþörung (Coccolithophorales) 30. júlí og 8. ágúst. Þessi þörungur sást hins vegar ekki inni í firðinum á stöðvum 1 og 2. Þvermál frumu kalksvifþörungsins var á bilinu 5,5-6,5 μm , en kalkplötturnar eru 2-3 μm í þvermál og einfaldar að gerð. Varðveisla sýnanna í formalíni hefur þau áhrif á kalksvifþörungum að plötturnar falla af honum og fruman stendur eftir nakin. Ekki tókst að greina þennan kalksvifþörung til tegundar. Þann 30. júlí varð fjöldi hans við yfirborð 4.392 þús. fr. l⁻¹ og svipaður fjöldi á 15 m dýpi. Þann 8. ágúst var fjöldinn við yfirborð 550 þús. fr. l⁻¹ og eftir það sást ekki meira til hans.

3.7 Eiturþörungur

Skoruþörungurinn *Dinophysis norvegica* var í miklum fjölda í júlí og ágúst á stöðvum 1 og 2. Á stöð 1 við Fossá fór fjöldinn upp í rúmar 12 þús. fr. l⁻¹ og yfir 11 þús. fr. l⁻¹ á stöð 2 (tafla 2 og 43. mynd).

Að lokinni talningu svifþörunganna voru valin 15 kræklingssýni frá stöð 1 við Fossá og 12 sýni frá stöð 2 við Bjartey, til mælinga á DSP-eitri (diarrhetic shellfish poison), sem skoruþörungur af ættkvísl *Dinophysis* mynda. Þau viðmiðunarmörk sem við miðum við og notuð eru á hinum Norðurlöndunum, um hættu á þörungaeitri í skelfiski af völdum *Dinophysis* tegunda eru 300 fr. l⁻¹ (Andersen 1996). Eins og sjá má fór fjöldi *Dinophysis* í Hvalfirði langt yfir þessi viðmiðunarmörk.



43. mynd Árstíðabreytingar í heildarfjölda *Dinophysis norvegica* á 2 m dýpi á stöðvum 1 og 2.

Figure 43. Seasonal changes in the total number of *Dinophysis norvegica* at 2 m depth at stations 1 and 2.

Tafla 2. Fjöldi *Dinophysis norvegica* í yfirborði á stöðvum 1 og 2.

Table 2. Seasonal changes in the total number of *Dinophysis norvegica* at 2 m depth at stations 1 and 2.

Dags.	Stöð 1	Stöð 2
18.jún	980	
25.jún	840	
7.júl	1.480	
15.júl	5.120	1.060
21.júl	12.200	4.500
30.júl	12.380	11.400
8.ágú	12.180	9.540
15.ágú	5.700	200
25.ágú	2.080	820
13.sep	980	660
22.sep	180	20
29.sep	460	20
13.okt	1380	280
23.okt	40	500
11.nóv	340	120

Niðurstöður eiturmælinga í kræklingi með svo kölluðu músaprófi eru birtar í töflu 3.

4. UMRÆÐA

4.1 Framboð næringarefna og áhrif þeirra á framvindu svifþörungna

Skoðað var framboð næringarefna í Hvalfirði árið 1997 og breytingar á því eftir árstíðum og áhrif þeirra á tegundasamsetningu þörungasvifsins. Niðurstöður sem fengust úr Hvalfirði voru bornar saman við niðurstöður úr öðrum rannsóknum á framboði næringarefna og áhrifum þess á framvindu svifþörungagróðurs.

4.1.1. Nítrat, ammóníum og uppleyst lífræn köfnunarefnissambönd (DON)

Uppleyst köfnunarefni (N) er venjulega til í

Tafla 3. Niðurstöður músaprófa á DSP-þörungaeitri í kræklingi á stöðvum 1 og 2 í Hvalfirði.

Table 3. Mouse tests results on DSP-poisoning in blue mussels on stations 1 and 2

Dags	Stöð 1	Stöð 2
25. jún	0	
7. júl	1	
15. júl	0	
21. júl	1	
30. júl	2 til 3	2 til 3
8. ág	2	1
15. ág	2 til 3	4
25. ág	4	2 til 3
13. sep	3	0
22. sep	2 til 3	2 til 3
29. sep	4	3
13. okt	3	
11. nóv	2	

0 = Eitur ekki til staðar

1 = Eitur merkjanlegt

2 = Eitur til staðar, en innan marka fyrir

neysluhæfan skelfisk

2-3 = Eitur til staðar, skelfiskur óhæfur til neyslu

3 = Talsvert eitur

4 = Mikið eitur

sjó á formi ammóníums (NH_4^+), nítrats (NO_3^-), nítríts (NO_2^-), þvagefnis (urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) og uppleystra aminosýra (Wada og Hattori 1991). Köfnunarefni í Hvalfirði var mælt á formi nítrats, ammóníums og uppleystra lífræna köfnunarefnissambanda (DON).

Nítrat hefur lengi verið talið það köfnunarefnissamband sem nýtist svifþörungum best. En rannsóknir síðustu áratuga benda til þess að ýmis önnur köfnunarefnissambönd séu svifþörungunum ekki síður mikilvæg (Dring 1982). Endurnýjunartími nítrats í sjónum er langur. Ammóníum hefur hins vegar stuttan endurnýjunartíma (Wada og Hattori 1991). Þó að helsti úrgangur sjávardýra sé ammóníak, þá er styrkur þess yfirleitt ekki hár, vegna þess að það er tekið hratt upp af bakteríum og svifþörungum þegar þessar lífverur eru til staðar. Styrkur þess vex þó smám saman er líður á sumarið og það getur orðið það form sem mest er af seinni hluta sumars. Hlutfallslegur styrkur ammóníums nær þannig hámarki þegar lagskipting er einna mest, öfugt við nítrat (Dring 1982, Unnsteinn Stefánsson 1991, Wada og Hattori 1991). Þvagefni er á

sama hátt nýtt um leið og það myndast. Í lok vorblóma svifþörunganna er magn svifdýra yfirleitt mikið. Það var ekki mælt í þessari rannsókn, en það er vitað að svifdýr og önnur sjávardýr, skila út miklu af ammóníaki. Ammóníum og þvagefni koma í púlsum út í sjóinn og því er mikilvægur eiginleiki ákveðinna svifþörungategunda að geta safnað upp forða til að nýta þegar styrkur köfnunarefnissambanda er í lágmarki (Flynn og Butler 1986, Antia o.fl. 1991, Riegman 1998).

Á öllum athugunarstöðvum var sjórinn uppblandaður og framboð ólífræns nítrats mikið í byrjun athugunartímans í febrúar. Á þessum tíma eru það þættir, eins og lítið ljós og uppblöndun sem takmarka vöxt svifþörunganna. Styrkur nítrats féll hins vegar hratt eftir að vöxtur svifþörunganna hófst seint í mars og í byrjun apríl. Að loknum vorblóma kísilþörunganna í apríl og blóma *Phaeocystis pouchetii* um miðjan maí, var nítrat vart mælanlegt fram á haust á stöðvum 1 og 2 og frá lokum júní og fram í miðjan ágúst á stöð 3. Samhliða því að nítrat hvarf úr yfirborðslögunum, jókst styrkur ammóníums og DON. Hluti þessara efna þ.e. ammóníums og DON virðist þó hafa verið tekinn upp jafnóðum, þegar gróðurtoppar urðu um sumarið.

Styrkur DON eykst meðal annars við það að lífverur losa amínósýrur út í sjóinn. Svifþörungur losa út amínósýrur þegar næringarefni ganga til þurrðar svo sem kísill og köfnunarefni og streituástand myndast. Sumar svifþörungategundir losa líka út amínósýrur þegar þær draga úr eða hætta vexti (Antia o.fl. 1991) og einnig losna amínósýrur við niðurbrot plantna í lok blóma (Dring 1982, Flynn og Butler 1986). Styrkur DON eykst því eðlilega við hámark svifþörungablóma og í kjölfar hans.

Það mátti sjá á öllum stöðvunum aukningu í styrk ammóníums og DON samhliða falli í styrk ólífræns nítrats. Styrkur nítrats jókst ekki aftur fyrir en uppblöndun átti sér stað að nýju síðsumars og að haustinu. Hins vegar var styrkur ammóníums talsvert breytilegur yfir gróðurtímann. Sveiflur í styrk uppleysts köfnunarefnis yfir sumartímann eru þekktar, sérstaklega á strandsvæðum og benda til stöðugar upptöku sumarsvifsins á ammóníum, DON og nítrati (Price o.fl. 1985). Það er líka þekkt að styrkur DON og ammóníums er tiltölulega hár á strandsvæðum (Flynn og Butler 1986). Í Hvalfirði féll styrkur þessara efna þegar svifþörungavöxtur náði hámarki en jókst svo aftur þegar blómi dvínaði.

Við rannsóknir á mismunandi formum köfnunarefnis hefur komið í ljós að flestar svifþörungategundir geta nýtt sér þvagefni til vaxtar. Það er jafnvel talið að þvagefni geti staðið undir um 20-50% af heildarupptöku köfnunarefnis á strandsvæðum (Flynn og Butler 1986, Antia o.fl. 1991). Það hefur einnig komið á daginn að ákveðnir hópar svifþörunganna geta nýtt sér amínósýrur sem köfnunarefnisgjafa. Þetta á aðallega við um strandtegundir. Hæfileikinn til að nýta sér amínósýrur er mjög mismunandi milli tegunda og jafnvel milli stofna sömu tegundar (Hellebust og Lewin 1977, Flynn og Butler 1986, Antia o.fl. 1991). Við rannsóknir á þessum mismunandi formum köfnunarefnis hefur einnig komið í ljós að ef nítrat er til staðar getur það hindrað upptöku annarra köfnunarefnissambanda og á sama hátt ef ammóníum er til staðar getur það hindrað upptöku þvagefnis, það sama á við um amínósýrur (Flynn og Butler 1986, Antia o.fl. 1991). Þessi köfnunarefnissambönd, ammóníum og DON, nýtast ákveðnum hópum svifþörunganna og misjafn hæfileiki tegundanna til að nýta sér þessi ólíku sambönd getur verið mjög mikilvægur þáttur í framvindu og þá um leið samsetningu svifþörungasamfélagsins. En það er einmitt framboð og form næringarefna sem virðist hafa mest áhrif á það hvaða hópar ríkjá í svifinu á hverjum tíma (Price o.fl. 1985, Flynn og Butler 1986, Riegman 1998).

Ef svifþörungasamfélagið er skoðað út frá því hvaða köfnunarefnissambönd eru til staðar og í hvaða styrk, sést að í upphafi gróðurtímans, þegar styrkur nítrats var hár, ríktu hringlaga, miðlungsstórir, keðjumyndandi kísilþörungur, tegundir á borð við *Odontella aurita*, *Thalassiosira* spp. og *Chaecoceros* spp. Prymnesiophytinn *Phaeocystis pouchetii* kom til sögunnar í lok apríl þegar styrkur nítrats var enn hár, en *P. pouchetii* er talinn þurfa nítrat til að geta vaxið (Lancelot og Rousseau 1994). *P. pouchetii* hefur tvö lífsform, annars vegar stakar frumur með svipum, sem eru um 3-8 µm í þvermál og hins vegar sambýlisform þar sem sambúið er allt að einn cm að stærð. Sambúið samanstendur af litlum kúlulaga frumum, sem eru margar saman í slímhjúp. Sambýlisformið var greint í Hvalfirði, en ekki staki einfrumungurinn. Samhliða auknum fjölda *Phaeocystis pouchetii* í maí átti sér stað breyting á samsetningu kísilþörungasamfélagsins. Þeir kísilþörungur sem ríktu í vortoppnum hurfu smám saman þegar líða tók á sumarið, svo sem

Odontella aurita. Hjá *Chaetoceros furcellatus* mynduðust dvalargró og hann var horfinn úr svifinu þegar *P. pouchetii* náði hámarki í yfirborði þann 15. maí. Aðrar tegundir kísilþörungur urðu hins vegar áberandi samhliða *P. pouchetii* blómanum, tegundir eins og *Stephanopyxis turris* og staflaga kísilþörungur svo sem *Nitzschia granii* og *Nitzschia closterium*. Kísilþörungurinn *Stephanopyxis turris* hefur ekki greinst við Ísland fyrr svo vitað sé. Útbreiðsla þessa þörungur er talin vera við strendur tempraðra og heitra svæða en nákvæm norður-mörk hans eru illa þekkt en tegundin hefur fundist við strendur Noregs að Romsdahl (Gran 1908, Hasle o.fl. 1996).

Auk breytinga á tegundasamsetningu kísilþörunganna í maí fór smávöxnum „flagellötum” og skorubörungum að fjölga. Þegar blómi *Phaeocystis pouchetii* og kísilþörungur náði hámarki þann 15. maí var nítrat uppuríð og ekki mælanlegt. Við þessa nítratpurríð hvarf *Phaeocystis pouchetii* algjörlega úr yfirborðinu á stöðvum 1 og 2, en það eymdi eftir af honum á stöð 3. Aðrar rannsóknir á styrk næringarefna við norður- og vesturströnd Íslands benda til þess að upptaka nítrats að vorinu sé mikil í samanburði við upptöku á kísli. Þetta bendir til þess að það séu aðrir hópar auk kísilþörungur að taka upp nítrat, en rannsóknir benda til þess að það sé næsta árvisst að *P. pouchetii* blómstri á þessum slóðum í kjölfar vorhámarks kísilþörungur (Unnteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991). Við lok *P. pouchetii* blómans jókst styrkur DON mikið á öllum stöðvunum. Styrkur ammóníum var hins vegar lágur til að byrja með, en jókst síðan verulega þann 26. maí á öllum stöðvunum.

Fyrri hluta júní var styrkur DON hár á öllum stöðvunum, einkum þó á stöð 3 og þá jókst fjöldi skorubörunga töluvert og við það féll styrkur DON hratt. Á sama tíma var kísilstyrkur lágur á stöð 3 yst í firðinum, en nokkuð hár á stöðvum 1 og 2 innst í firðinum. Þessi kísilstyrkur á stöðvum 1 og 2 stuðlaði að öllum líkindum að vexti kísilþörungur, þannig að skorubörungur áttu erfitt uppdráttar í samkeppni við þá og fjölgaði því ekki jafnmikið og á stöð 3.

Á stöðvum 1 og 2 var nítrat ekki mælanlegt frá 15. maí til 18. júní, en varð aftur mælanlegt 18. júní, í mjög litlum styrk. Þessi aukni styrkur virðist hafa nægt *Phaeocystis pouchetii* til að ná aftur nokkrum fjölda á stöð 1 og hans varð einnig vart á stöð 2. Auk *P. pouchetii* var það

Stephanopyxis turris sem ríkti, aðallega á stöð 1, ásamt ýmsum tegundum kísilþörungur sem voru í minna magni. Við aukinn fjölda *S. turris* féll styrkur ammóníums, en jókst aftur þegar blómi hans og *P. pouchetii* leið undir lok síðari hluta júní.

Styrkur ammóníums á stöðvum 1 og 2 var hár í byrjun júlí en féll þegar *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* náðu hámarki í júlí. Rannsóknir á vali *S. costatum* á upptöku mismunandi forma köfnunarefnis, sýna að tegundin velur ammóníum fram yfir önnur köfnunarefnissambönd (Dring 1982, Stolte o.fl. 1994).

Að loknu sumarhámarki kísilþörunganna varð toppur skorubörunga þann 8. ágúst. Á sama tíma og skorubörungur náðu sér á strik og blómstruðu var styrkur nítrats ekki mælanlegur. Styrkur DON var nokkuð hár í kjölfar hnignunar sumarblóma kísilþörunganna, en hins vegar gekk lítið á þann styrk við myndun blóma skorubörunga. Það sama má segja um styrk ammóníums. Hugsanlega hafa skorubörungarnir verið að nýta sér DON og ammóníum, að einhverju leyti, en endurnýjun hefur sennilega verið hröð og efnin tekin upp af skorubörungunum jafnóðum og þau mynduðust. Einnig eru margir hópar þessara skorubörunga „phagotroph”, það er að segja þeir geta stundað frumuát (Hansen 1998). Nóg var af smávöxnum kísilþörungum á þessum tíma, einkum *S. costatum*. Margar tegundir skorubörunga, þar á meðal tegundin *Dinophysis norvegica*, sem var algeng í Hvalfirði á þessum tíma, eru þekktar fyrir að éta aðra svifþörungur og bifdýr til að afla sér nauðsynlegra næringarefna (Graneli og Carlsson 1998, Hansen 1998).

Upp úr miðjum ágúst fór lagskipting að brotna niður og endurnýjun næringarefna átti sér stað. Styrkur nítrats jókst og styrkur DON varð hár í kjölfar skorubörungahámarksins í byrjun ágúst, en lækkaði um leið og haustblómi byggðist upp. Styrkur ammóníums var mjög mismikill á stöðvunum í lok blóma skorubörunga. Við uppbyggingu haustblómans, lækkaði styrkurinn. Uppistaðan í haustblómanum voru kísilþörungategundir sumarhámarksins, ásamt kísilþörungategundum sem einkum einkenndu haustið en voru í litlu magni á öðrum tímum. Einnig voru skorubörungur úr sumarhámarkinu áberandi um haustið.

Niðurstöður úr Hvalfirði sýndu að þegar ammóníum var helsta form köfnunarefnis, sem í

boði var yfir hásumarið, þá ríktu smáir kísilþörungur, *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. Þegar nóg var af nítrati, eins og í upphafi gróður-tímabilsins ríktu litlir og miðlungsstórir kísilþörungur, *Thalassiosira* tegundir, *Chaetoceros* tegundir, *Odontella aurita* og fleiri tegundir. Frá lokum vorblóma í maí og fram í júní var styrkur nítrats ekki mælanlegur á stöð 1. Nítrat mældist aftur þann 18. júní, á sama tíma varð mestur fjöldi af *Stephanopyxis turris*, sem er frekar stór kísilþörungur. Styrkur nítrats hefur því aukist á tímabilinu frá 10. til 18. júní og það gátu *S. turris* og *Phaeocystis pouchetii*, nýtt sér. *S. turris* getur safnað upp forða og nýtt sér þegar aðstæður versna (Guillard 1977). Hann getur því náð að fjölga sér töluvert í svifinu þó svo að styrkur næringarefna sé orðinn lítill. Þegar fjallað er um framvindu kísilþörunganna eru stórir kísilþörungur, sem geta safnað upp forða, taldir einkenna umhverfi þar sem næringarefni eru svo til uppurin. Annar stór kísilþörungur varð áberandi í svifinu yfir hásumarið á stöðvum 1 og 2, *Rhizosolenia hebetata f. semispina*. Þessi kísilþörungur sést yfirleitt stakur en getur þó myndað nokkurra fruma keðjur. Hann náði töluverðum fjölda í sumarhámarki kísilþörunganna 21. og 30. júlí á stöðvum 1 og 2 í yfirborði. Svipaður fjöldi hélst (20-30 þús. fr. l⁻¹) fram yfir hausthámarkið á stöð 1, en fjöldinn jókst á stöð 2 í hausthámarkinu og fór í tæpar 45 þús. frumur í lítra. Á stöð 3 varð þessa þörungs vart en aldrei í neinu magni. Það var tæpast nítrat sem þessi kísilþörungur var að taka upp, því það var ekki mælanlegt á stöðvum 1 og 2 á þessum tíma. *R. hebetata f. semispina* er mjög hægvaxta þörungur og algengur í næringar-snaudu umhverfi (Guillard 1977). Hugsanlega var hann að taka upp ammóníum eins og *S. costatum* og *P. pseudodelicatissima*. Einnig var styrkur DON nokkuð hár á þessum tíma og getur því ef til vill hafa nýst *R. hebetata f. semispina*.

Styrkur ammóníums á stöð 3 var mun lægri en á stöðvum 1 og 2 (8. mynd). Þessi munur gæti skýrt það að tegundir sem helst velja ammóníum, sem köfnunarefnisgjafa, þrífust betur inni í firðinum en í mynninu, tegundir eins og *S. costatum* og ef til vill *R. hebetata f. semispina*, ásamt *P. pseudodelicatissima*. Fjöldi *S. costatum* varð áberandi mestur á stöð 1, enda styrkur ammóníums hæstur þar.

Samkvæmt þessum niðurstöðum var nítrat það köfnunarefnissamband, sem takmarkaði vöxt sumra svifþörunganna í Hvalfirði sumarið

1997. Það var því meðal annars samkeppni um köfnunarefni og hvaða form þess nýttist hvaða hópi eða tegund sem réði miklu um það hvaða samfélag ríkti í firðinum þetta sumar.

4.1.2 Fosfat

Við nægilega birtu er vaxtarhraði plöntusvifsins óháður fosfatstyrknum, ef hann er 0,3 $\mu\text{mol l}^{-1}$ eða meiri (Unnsteinn Stefánsson o. fl. 1987). Neðan við þetta gildi dregur úr frumskiptingu eftir því sem fosfatstyrkurinn minnk- ar. Það er þó sennilega frekar sjaldgæft að fosfór sé takmarkandi fyrir gróður í hafinu við Ísland, því nítrat er venjulega uppurið áður en fosfat- styrkurinn hefur fallið það mikið að það dragi úr vexti þörunganna.

Samkvæmt niðurstöðum úr Hvalfirði var styrkur fosfats lágur frá lokum vorblómans og fram undir haust. Nokkuð fosfat mældist þó ávallt. Á sama hátt og ýmsar svifþörung- tegundir geta nýtt sér DON, geta þær nýtt sér uppleyst lífræn fosfórsambönd. Ekki er þó talið líklegt að slík upptaka sé mikilvæg í hafinu (Dring 1982). Einnig er á það bent að í slíkum tilvikum kunni fosfatið að losna úr lífrænu samböndunum fyrir tilstuðlan gerla áður en plönturnar nýti það. Fosfat endurnýjast tiltölu- lega hratt í sjónum. Mögulega hefur gróðurinn getað nýtt sér fosfatið jafnóðum og það myndast.

4.1.3 Kísill

Kísill í sjó er á formi kísilsýru H_4SiO_4 og endurnýjast mjög hægt (Werner 1977, Unn- steinn Stefánsson 1991). Á stöðvunum inni í Hvalfirði mældist styrkur kísils nokkuð hár mestan hluta sýnatökutímans. Þessi há kísil- styrkur í firðinum er sennilega til kominn vegna áhrifa ferskvatns. En styrkur kísils í íslenskum ám er tiltölulega hár (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991, Sólveig Ólafsdóttir og Jón Ólafsson 1999). Í mynni fjarðarins var fersk- vatnsblöndunin minni og kísilstyrkur talsvert lægri, einkum yfir sumartímann.

Styrkur kísils var mikill á öllum stöðvunum í upphafi gróðurtímans. Að loknu vorhámarki kísilþörunganna hafði gengið verulega á þennan styrk og úti í mynninu var kísill orðinn það lítill að það dró úr vexti margra tegunda kísil- þörunganna. Kísill var í lágmarki í mynni Hval- fjarðar yfir hásumarið. Frá lokum vorblóma kísilþörunganna og fram í ágúst, mældist styrkur kísils í mynninu minna en 2 $\mu\text{mol l}^{-1}$.

Það sást vel á mælingum í mynni Hvalfjarðar, að þegar styrkur kísils var í algjöru lágmarki fjölgaði skorupörungum. Þegar kísilstyrkur jókst örlítið fjölgaði hins vegar kísilþörungum hratt. Kísillinn virðist því hafa haft mikil áhrif á það, hvaða hópar höfðu betur í mynninu. Fjöldi skorupörunga jókst að loknum vorblóma kísilþörunganna, á öllum stöðvum, enda kísill þá vart mælanlegur. Styrkur kísils jókst aftur fyrri hluta júnímánaðar og við það náðu kísilþörungar sér aðeins á strik. Örlítill toppur kísils mældist upp úr miðjum júní. Að honum loknum hvarf kísillinn nánast alveg aftur og skorupörungum fjölgaði. Styrkur kísils jókst aftur í byrjun júlí, var yfir $4,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ á stöðvum 1 og 2, en mun lægri á stöð 3, $0,2 \mu\text{mól l}^{-1}$ í yfirborði og $1,7 \mu\text{mól l}^{-1}$ á 15 m dýpi. Þessi kísilstyrkur virðist hafa nægt smáum tegundum sumarhámarksins, *Skeletonema costatum* og *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*. Þessar tegundir eru þekktar fyrir að geta þrífist við lágan kísilstyrk (Werner 1977, Sommer 1994). Til þess að viðhalda vexti kísilþörunga töldu Egge & Aksnes (1992) að styrkur kísils þyrfti að vera a.m.k. $2,0 \mu\text{mól l}^{-1}$. Samkvæmt því hefði kísill á stöð 3 átt að vera takmarkandi þáttur fyrir vöxt kísilþörunga frá miðjum maí og fram til 30. júlí. Það varð hins vegar blómi kísilþörunga um miðjan júlí. Enda hafa aðrar tilraunir sýnt fram á að $1 \mu\text{mól l}^{-1}$ styrkur nægi ákveðnum tegundum kísilþörunga (Werner 1977, Tremblay o.fl. 1997).

Þó kísilþörungum í Hvalfirði hafi fjölgað hratt í júlí, fjölgaði skorupörungum einnig. Við sumarhámark kísilþörunganna varð nánast kísilþurrð á öllum stöðvunum og í kjölfarið fylgdi hámark skorupörunga þann 8. ágúst.

Skorupörungar voru viðloðandi svifið frá lokum vorblómans og fram yfir hausthámarkið með nokkra smærri toppa og svo hámark í byrjun ágúst. Almennt mældist styrkur kísils talsvert lægri í mynninu yfir sumartímamann, sem endurspeglast í talsvert meiri fjölda skorupörunga þar, frá lokum vorhámarks kísilþörunganna og fram á haustið. Á stöðvum 1 og 2 mældist kísilstyrkur mjög lágur í lok vorblómans um miðjan maí. Engu að síður virðist styrkurinn hafa verið nægur til að viðhalda kísilþörungum í svifinu. Hann var minnst um $1,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ í yfirborði og það virðist hafa nægt til að hamla því að skorupörungur næðu sér á strik. Styrkur kísils hélst að mestu fyrir ofan $1,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ fram að lokum sumarhámarks, þegar

hann féll. Niðurstöðurnar sýna að styrkur kísils getur haft mikil áhrif á það hvaða hópar ríkja í svifinu og einkum hvaða tegundir kísilþörunga ríkja. Kísilþörungar þurfa á kísli að halda, ekki aðeins í skelina heldur einnig svo frumuskipting gangi eðlilega fyrir sig. (Werner 1977, Dring 1982, Tremblay o.fl. 1997, Riegman 1998). Kísilskortur hefur einnig skjótvirkari neikvæð áhrif á vöxt kísilþörunga, en til dæmis skortur á nítrati og fosfati (Werner 1977).

4.2 Áhrif ljóss og lagskiptingar á framvindu svifþörunganna í Hvalfirði og samanburður við önnur nálæg svæði

Á veturna og fram á vor er það ljósstyrkur sem hamlar vexti svifþörunga hér við land, auk þess að lagskipting hefur ekki myndast. Rannsóknir sem gerðar hafa verið á því hvenær ljósmagn er orðið nægjanlegt fyrir vöxt svifþörunga við Ísland, sýna að þegar styrkur ljóssins er orðinn 25 mól fótónur $\text{m}^{-2} \text{dag}^{-1}$, við ákveðna lagskiptingu getur vöxtur ákveðinna svifþörungategunda hafist (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991). Í kringum miðjan mars er ljósmagn orðið nægjanlegt til þess að svifþörungavöxtur geti hafist í innanverðum Faxaflóa (Þórunn Þórðardóttir 1986). Ljósstyrkur er svo nægur fyrir vöxt svifþörunga fram í september, en þá fer ljós aftur að verða takmarkandi þáttur.

Í strandsjónum við Ísland myndast oftast seltuskiptalag fyrst að vorinu, þegar leysingar verða og seltulítill sjór flýtur ofan á saltari sjó (Þórunn Þórðardóttir 1986). Lagskipting hjálpar til við að halda þörungunum uppi í ljóstillífunarlaginu, en hindrar hins vegar flæði næringarefna úr dýpri sjávarlögum upp í ljóstillífunarlagið (Tremblay o.fl. 1997). Niðurstöður úr Hvalfirði sýna að í mars fór að bera á fyrsta vorgróðri svifþörunganna, en að þeim fór ekki að fjölga að neinu ráði, fyrir en seltuskiptalag myndaðist fyrri hluta apríl mánaðar.

Ef litið er á framvindu svifþörunganna í Hvalfirði yfir gróðurtímabilið 1997 sést að í upphafi gróðurtímabilsins, þegar styrkur ljóss var enn lágur og lagskipting vart merkjanleg, voru ríkjandi litlir og meðalstórir kísilþörungar. Þetta voru aðallega hringlaga kísilþörungar og yfirleitt í keðjum. Í kjölfar vorblóma kísilþörunganna, sem náði hámarki í lok apríl og

byrjun maí, varð blómi svipþörungisins *Phaeocystis pouchetii*, sem náði hámarki um miðjan maí, þegar styrkur ljóss hafði aukist töluvert og lagskipting orðin stöðugri.

Phaeocystis pouchetii sást aftur upp úr miðjum júní. Um leið og *P. pouchetii* blómstraði í júní fjölgaði stórum kísilþörungum, *Stephanopyxis turris* á stöðvum 1 og 2, þegar styrkur ljóss er í hámarki og lagskipting stöðug. Hann sást einnig á stöð 3, en þar voru aðallega smærri kísilþörungur í lok júní.

Sumarblómi kísilþörunganna, í júlí, einkenndist af smáum þörungum, stökum frumum eða stuttum keðjum og bæði staflaga (*Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*) og hringlaga kísilþörungur (*Skeletonema costatum*) voru ríkjandi.

Fjöldi skorubörunga fór að aukast síðari hluta júnímánaðar og jókst stöðugt þar til hámarki var náð þann 8. ágúst. Að loknu gróðurhámarki skorubörunganna, varð uppblöndun og í kjölfar hennar haustblómi, bæði kísilþörungur og skorubörunga.

Í haustblómanum voru helstu tegundirnar þær sömu og ríktu í sumarhámarki kísilþörunganna ásamt kísilþörungum, eins og *Thalassionema nitzschioides*, *Pleurosigma* cf. sp. og einnig eymdi talsvert eftir af þeim tegundum skorubörunga sem voru í hámarkinu 8. ágúst. Gróðurtímabilinu var svo að mestu lokið í lok september, en þá fór birta að verða takmarkandi þáttur og lagskipting var ekki lengur til staðar.

Sú framvinda svifþörunga sem varð í Hvalfirði 1997, er að mörgu leyti áþekkt þeirri framvindu sem varð við Vestfirði sumarið 1994 (Þórunn Þórardóttir og Agnes Eydal 1996). Þar komu tegundirnar að mestu fram í sömu röð, en ekki á alveg sama tíma. Það urðu nokkrir gróðurtoppur yfir gróðurtímabilið, sambærilegt því sem varð í Hvalfirði.

Fáar athuganir hafa verið gerðar á tegundasamsetningu svifþörunga í innanverðum Faxaflóa og Hvalfirði. Paulsen (1904) og Nielsen (1935) gerðu athuganir á tegundasamsetningu plöntusvifsins við mynni Hvalfjarðar. Einnig skoðaði Guðrún Þórarinsdóttir (1987) tegundasamsetningu svifþörunga innan til í Hvalfirði, nálægt stöð 1.

Paulsen (1904) tók sýni í byrjun júlí 1902 og birti niðurstöður á tegundagreiningum úr háfsýnum. Af kísilþörungum sá hann aðallega *Chaetoceros* tegundir, *C. debilis* og *C. decipiens* ásamt *Skeletonema costatum*. Af skorubörungum

voru *Ceratium* spp., *Peridinium* spp. (nú *Proto-peridinium*) ásamt *Dinophysis acuta*, *Diplopsalis lenticula* og *Goniodoma ostenfeldii* (nú *Alexandrium ostenfeldii*) mest áberandi. Nielsen (1935) sem var hér á ferð í lok júní og 18. júlí 1932 fann mikið af *Nitzschia delicatissima* (nú *Pseudo-nitzschia delicatissima*). Þann 18. júlí var tegundin nánast horfin úr svifinu. Hann taldi einnig *Skeletonema costatum* í lok júní en ekki í miklum fjölda. Hann greindi *Dinophysis acuminata* í lok júní og *D. acuta* þann 18. júlí, en hvoruga tegundina í miklu magni. Sá skorubörungur, sem hann taldi í mestum fjölda þann 18. júlí var *Peridinium triquetrum*. Þessi tegund (nú *Heterocapsa triquetrum*) var einmitt sá skorubörungur sem var í mestum fjölda í mynni Hvalfjarðar, þann 8. ágúst, 1997. Bæði Paulsen (1904) og Nielsen (1935) greindu *S. costatum* að sumrinu en aldrei í miklu magni. Guðrún G. Þórarinsdóttir (1987) fann *S. costatum* að sumrinu 1986, með hámark í fjölda þann 25. júlí. Guðrún greindi líka *Nitzschia delicatissima* (nú *Pseudo-nitzschia delicatissima*, sem er mjög áþekkt tegundinni *P. pseudodelicatissima*) og var fjöldinn mestur í lok ágúst 1986, en 1987 var mestur fjöldi í lok júní. Fjöldi *P. pseudodelicatissima* var mestur í lok júlí í Hvalfirði og Nielsen fann mestan fjölda af *N. delicatissima* í sýni frá 18. júlí. Þessar niðurstöður benda allar til þess að *S. costatum* og *P. pseudodelicatissima* sjáist aðallega að sumrinu en á aðeins breytilegum tíma frá ári til árs.

Hvorki Paulsen (1904) né Nielsen (1935) greindu *Dinophysis norvegica*, sem var í miklum fjölda í Hvalfirði í júlí og ágúst 1997. Guðrún G. Þórarinsdóttir (1987) greindi *D. norvegica* í júlí og ágúst 1986 með hámark í byrjun september. Paulsen (1909) birti niðurstöður tegundagreininga úr sýnum sem Bjarni Sæmundsson safnaði við Reykjavík á tveggja vikna fresti frá 12. mars til 13. júlí 1904 og aftur frá byrjun nóvember 1904 til 16. mars 1905. *D. norvegica* fannst í sýnum frá miðjum júlí. Það kemur einnig fram að um vorið voru *Thalassiosira* tegundir ríkjandi ásamt *Phaeocystis pouchetii*. Vorgróður svifþörunga í byrjun aldarinnar og svo aftur í lok hennar var um margt áþekktur. Tegundir sumargróðursins voru að hluta til þær sömu yfir þetta sama tímabil, en þó virðast tegundir eins og *D. norvegica* sem er eitumyndandi skorubörungur hafa aukið hlut sinn í sumarsvifinu samkvæmt

talningum Guðrúnar G. Þórarinsdóttur (1987) og niðurstöðum þessa verkefnis.

Á öllum stöðvunum í Hvalfirði mældust 3-4 gróðurtoppar kísilþörungum yfir athugunartímabilið, fyrst snemma að vorinu og síðan upp úr miðjun júní, þá síðari hluta júlí og að lokum að hausti (lok ágúst, byrjun september). Áþekkt framvinda, með þrjá gróðurtoppa er þekkt á lokuðum grunnum strandsvæðum við Evrópu (Cebrián og Valiela 1999). Einnig varð hámark skorubörunga að sumrinu strax að loknu sumarhámarki kísilþörunganna. Ef þessar niðurstöður eru bornar saman við þær sem almennt eru taldar einkenna framvindu þörungasvifs við Ísland (Þórunn Þórðardóttir, 1994) þá fellur verið og haustið ágætlega að þeim niðurstöðum. Sumarsvifið í Hvalfirði og mynni fjarðarins var hins vegar heldur flóknara.

Ef við lítum til svæða í nálægum löndum, til dæmis á strandsvæði Norðursjávar þá verður blómi kísilþörungum þar yfirleitt á undan blóma *Phaeocystis* spp. Þegar kísilstyrkur er orðinn lágur (u.þ.b $1\mu\text{mol l}^{-1}$) nær *Phaeocystis* spp. sér á strík (Lancelot og Rousseau 1994) eins og gerðist í Hvalfirði 1997. Sams konar framvinda er einnig þekkt inni á norskum fjörðum, en getur þó verið talsvert breytileg milli ára (Lancelot og Rousseau 1994). Meðan vöxtur *Phaeocystis* spp. eykst, fara aðrar kísilþörungategundir að birtast. Þessi breytileiki í samfélaginu sem yfirleitt endar í stórum kísilþörungum ásamt *Phaeocystis* spp., er talinn stafa af samkeppni um nítrat, þannig að báðir hópar virðast nýta sér sömu uppsprettuna (Lancelot og Rousseau 1994). Það eru svo skorubörunga ásamt öðrum svipuðum og smávöxnum kísilþörungum sem einkenna sumarsvifið á þessum slóðum (Eilertsen o.fl. 1981) Framvindu svifþörungum bæði inni á norskum fjörðum og einnig í Norðursjónum, svipar því mjög til þeirrar framvindu sem varð í Hvalfirðinum 1997.

Eins og fram hefur komið hvarf blómi *Phaeocystis pouchetii* mjög snögg í Hvalfirði. Rannsóknir benda til þess að frumur losni úr slímhjúpnun þegar næringarefnaskorts fer að verða vart og blómi fer að dvína (Cadée 1996). Stakar frumur eru auðveld bráð beitardýra og jafnvel talið að þau eigi stóran þátt í hvarfi *Phaeocystis* spp. úr svifsamfélaginu. Það hefur einnig verið nefnt að hækkandi hitastig stuðli að dvínun blóma og að gríðarlegt botnfall verði í lok blómans. Það er þó sennilega um samspil

margra þátta að ræða og þeir eru mismikilvægir eftir svæðum og milli ára (Cadée 1996). Í Hvalfirði verður hitastig að vorinu ekki mjög hátt en styrkur nítrats var orðinn mjög lágur og hefur líklega stuðlað að hvarfi blómans einnig er mögulegt að beit hafi átt einhvern þátt í hvarfi hans.

Riegman (1998) gerði tilraun í rannsóknastofu með samkeppni milli kísilþörungum, skorubörunga og annara svipuðum við mismunandi styrk ljóss og næringarefna. Í Hvalfirði höfðu kísilþörungar ávallt yfirhöndina í samkeppni um næringarefni og/eða ljós ef nóg var af kísli og benda niðurstöður Riegman til þess sama. Eins og í Hvalfirði var *Phaeocystis* spp. samkeppnishæfur þegar nítrat var í boði. Við aðstæður þar sem köfnunarefni var takmarkandi og N-uppsprettan var ammóníum, uxu kísilþörungar jafn hratt og aðrir hópar. Niðurstæða tilraunarinnar gaf einnig til kynna að skorubörunga væru lélegir í samkeppni miðað við aðra svipuðum. Skorubörunga voru samkeppnishæfari um ammóníum en um nítrat sem er sambærileg niðurstæða og fékkst í Hvalfirðinum. Aðrir þættir hafa einnig áhrif á hæfni tegundanna í samkeppni, til dæmis hefur hver tegund sinn kjörhita og einnig getur stöðugleiki lagskiptingar og beit skipt máli. Niðurstöðum Riegman svipar til þeirrar niðurstöðu sem fékkst í Hvalfirði um samkeppni mismunandi hópa og tegunda við ólík skilyrði.

4.3 Eiturþörungategundir

Í Hvalfirði fundust nokkrar tegundir sem vitað er að geta valdið skelfiskeitrun. Það eru tegundirnar *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *D. norvegica* og *Phalocroma rotundatum*, sem allar geta valdið DSP-eitrun. *Alexandrium ostenfeldii* og *A. tamarensis*, sem geta valdið PSP-eitrun og að lokum kísilþörungarnir *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* og *P. seriata*, sem geta myndað ASP-eitur. Af þessum tegundum fundust *Dinophysis norvegica* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* í miklum fjölda, en hinar voru allar sjaldgjæfar. Það verður ekki fjallað nánar um þær tegundir sem fundust í litlu magni en ber að hafa í huga að þeirra tími getur komið.

4.3.1 *Dinophysis* spp.

Blómi *Dinophysis norvegica* í Hvalfirði varð þegar hitastig var hæst í sjónum, eða um 11 °C

og lagskipting stöðug. Aðrar athuganir á blóma *Dinophysis* spp. benda til þess að *Dinophysis* spp. blómstri fyrst og fremst eftir að sjór er orðinn meira en 8 °C. Einnig er sjaldgæft að blómi *Dinophysis* verði ef sjór er ekki lagskiptur (Sörensen 1990, Maestrini 1998, Agnes Eydal 2003).

Í Hvalfirði var *Dinophysis norvegica* í sjónum frá því í júní og þar til á síðasta sýnatökudegi í nóvember. Athuganir á *Dinophysis* spp. í Noregi bentu til þess að *D. norvegica* geti blómstrað hvenær sem er á tímabilinu frá júlí til september (Dahl og Yndestad 1985). Þegar blómi *D. norvegica* varð í Hvalfirði í lok júlí var styrkur ólífrænna næringarsalta vart mælanlegur, styrkur ammóníums hafði verið nokkuð hár fyrri hluta júlí og styrkur DON var hár. Sem stendur eru litlar upplýsingar til um upptöku ólífrænna næringarsalta hjá *Dinophysis* tegundum og ekki hefur verið unnt að tengja blóma þeirra við framboð uppleystra ólífrænna næringarsalta né lífrænna næringarefnasambanda (Maestrini 1998).

Nokkrar af helstu eiturtegundum *Dinophysis* hafa reynst vera ljóstíllífandi. Nýlegar rannsóknir benda til þess að flestar tegundir *Dinophysis* séu „mixotroph“, geti stundað frumuát auk ljóstíllífunar. Það hafa fundist fæðubólur í mörgum þeirra sem innihalda þörungaleifar og leifar bifdýra. Þeir þættir sem hvetja til frumuáts eru taldir vera framboð næringarefna, bráðar og ljósstyrkur. Það er talið að þörungur fái nauðsynleg næringarefni, svo sem köfnunarefni og fosfat með frumuáti. Sumar tegundir eru taldar bregða fyrir sig frumuáti þegar nóg er af bráð (Carlsson og Granéli 1998, Granéli og Carlsson 1998, Hansen 1998). Það var ef til vill tilfellið í Hvalfirði sumarið 1997, því á sama tíma og *D. norvegica* var að ná hámarki, var mikið af smáum kísilþörungum í sjónum, en þá voru *Skeletonema costatum* og *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* í blóma. Það sáust svokallaðar fæðubólur í mörgum *Dinophysis norvegica* frumum sem benda til frumuáts. Vitneskju vantar enn um hvað það er sem hvetur blóma þessara tegunda og einnig hvað veldur því að þær deyja út (Delmas 1992, Maestrini 1998).

Í Hvalfirði varð fjöldi *Dinophysis norvegica* mikill, eða yfir 12.000 frumur í lítra á 1. stöðinni og örlítið færri frumur töldust á 2. stöðinni þegar mest varð. Þau viðmiðunarmörk

um hættu á skelfiskeitrun sem við styðjumst við og eru notuð í löndunum í kringum okkur eru 300 frumur í lítra (Andersen 1996). Ef fjöldinn fer yfir 300 frumur í lítra er talið að neysla skelfisks sé varhugaverð. Í Hvalfirði varð þéttleiki frumanna margfaldur á við viðmiðunarfjöldann. Niðurstöðurnar sýna að kræklingur í Hvalfirði 1997 var fljótur að safna upp eitri og var hann óneysluhæfur frá lokum júlí og fram undir nóvember (tafla 3). Það tók langan tíma fyrir eitrið að skolast út eftir að fjöldi eiturþörunganna datt niður þegar líða tók á haustið. Þetta skýrist aðallega af því að á þessum árstíma var orðið lítið um æti handa skelfiskinum, því svifþörungagróður var orðinn strjáll og *Dinophysis* spp. voru enn til staðar í svifinu (Andersen 1996).

4.3.2 *Pseudo-nitzschia* spp.

Kísilþörungurinn *Pseudo-nitzschia multi-series*, olli eitrun í skelfiski fyrir utan strendur Prince Edward Island 1987. Þetta var í fyrsta skipti sem vitað var að kísilþörungur framleiddi þörungaeitur. Í dag er vitað um átta tegundir kísilþörunganna sem framleiða ASP eitur (Bates o.fl. 1998). Þetta eru allt staflaga þörungur og tilheyra allir nema einn ættkvíslinni *Pseudo-nitzschia* og þar á meðal er *P. pseudodelicatissima*, sem fannst í miklum fjölda í Hvalfirði.

Í Hvalfirði varð fjöldi *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* mestur í júlí og fór upp í tæplega 5×10^5 frumur í lítra í innanverðum firðinum. Til þess að eitrun verði í kræklingi er lágmarksfjöldi *Pseudo-nitzschia* talinn þurfa vera $2-4 \times 10^5$ og þessi fjöldi þarf að vera til staðar í 3-4 vikur (Todd 1993). Í Hvalfirði varði þessi mikli fjöldi stutt og því óvíst að eitrun hafi orðið. *P. pseudodelicatissima* hefur áður fundist í talsverðu magni við landið, meðal annars við Vestfirði (Þórunn Þórðardóttir og Agnes Eydal, 1996). Þá var blóminn til staðar í nokkrar vikur án þess að eitrun mældist í skelfiski á svæðinu. Það er álitíð að um mismunandi stofna þessara tegunda sé að ræða í heiminum og að sumir þeirra myndi eitur og aðrir ekki (Bates 1998).

Þegar blómi *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* varð í Hvalfirði var nítrat uppuríð en ammóníum var til staðar í nokkrum mæli. Ekki er þó víst að styrkur ammóníums hafi haft áhrif á vöxt *P. pseudodelicatissima*. Við athuganir í Kanada tókst ekki að finna samband milli vaxtar *P. pseudodelicatissima* og styrks næringarefna (Martin o.fl. 1993).

5. LOKAORÐ

Markmið verkefnisins var að athuga breytingar á tegundasamsetningu svifþörungna yfir árið í Hvalfirði. Að skoða umhverfispætti sem hugsanlega stýra eða hafa áhrif á breytingarnar, svo sem næringarefnaframboð, hita, seltu og ljósmagn. Það er ljóst að framboð næringarefna í Hvalfirði 1997, hafði margvísleg áhrif á framvindu svifþörungagróðurs.

Í eftirfarandi eru niðurstöður skoðaðar í ljósi þeirra tilgáta sem settar voru fram í upphafi rannsóknarinnar.

- ⇒ **1)** *Í næringarríkum sjó eru kísilþörungar hæfari en skorubörungar í samkeppni og verða ríkjandi.* Niðurstöðurnar benda til þess að ef næringarefni eru næg hafa kísilþörungar vinninginn í samkeppni við aðra hópa svifþörungna.
- ⇒ **2)** *Skorubörungar geta nýtt sér aðrar uppsprettur næringarefna en kísilþörungar og því lifað í sjó þar sem ólífræn næringarsölt eru í lágmarki.* Skorubörungar virðast geta nýtt sér aðrar uppsprettur næringarefna en til dæmis kísilþörungar. Þegar mestur fjöldi skorubörungna varð í Hvalfirðinum var framboð ólífrænna næringarsalta nánast ekkert, en framboð lífrænna næringarefnasambanda talsvert, það gekk þó lítið á þann forða við blóma skorubörunganna.
- ⇒ **3a)** *Ef þær aðstæður skapast að púls af næringarefnum kemur inn þá skiptir kísill sköpum um það hvort blómi kísilþörungna eða skorubörungna verður.*
- ⇒ **3b)** *Eða að það skiptir ekki máli hvort kísill er í púlsinum, skorubörungar verða ríkjandi (vegna þess að þeir eru á staðnum og hafa því forskot).*

Kísill skiptir sköpum fyrir vöxt kísilþörungna. Samkvæmt niðurstöðum úr Hvalfirði þá hafa kísilþörungar vinninginn í samkeppni við aðra hópa ef styrkur kísils er fyrir ofan $1 \mu\text{mól l}^{-1}$.

Skorubörungar og þörungar af fylkingu Prymnesiophyta áttu erfitt uppdráttar í samkeppni við kísilþörungna þegar kísill var nægur. Um leið og styrkur kísils lækkaði niður fyrir lágmarksstyrk, til að viðhalda kísilþörungum, spruttu hinir tveir hóparnir upp. *Phaeocystis pouchetii* af fylkingu Prymnesio-

phyta náði yfirhöndinni að vorinu þegar nítrat var enn til staðar og styrkur kísils hafði lækkað verulega. Skorubörungar náðu hins vegar hámarki í byrjun ágúst, þegar ammóníum ásamt uppleystum lífrænum köfnunar-efnissamböndum voru helstu form köfnunar-efnis sem í boði voru og kísill vart mælanlegur. Það er því augljóst að framboð kísils hefur stjórnað því að miklu leyti hvaða hópar ríktu í svifinu á hverjum tíma.

- ⇒ **4)** *Skelfiskeitrunar gætir eingöngu á sumrin á aðalvaxtartíma skorubörungna.* Niðurstöður úr Hvalfirði sýna að skelfiskeitrunar gætir mun lengur en bara á aðalvaxtartíma skorubörungna. Skelfiskurinn var fljótur að safna upp eitrunu, en það tók hann langan tíma að hreinsa sig af því aftur.

Hluti þeirra skorubörungategunda sem greindust í Hvalfirðinum geta myndað þörungaeitur. Þörungaeitrið DSP safnaðist upp í skelfiski í firðinum, og var til staðar í skelfiskinum mun lengur en blómi skorubörungans stóð sem myndar það. Neysla skelfisks úr Hvalfirði var því varhugaverð frá því blómi *Dinophysis norvegica* varð í júlí og fram á vetur.

5.1 Hugmyndir að frekari rannsóknum

Um það leyti sem skorubörungar voru í mestum blóma var styrkur næringarefna mjög lágur. Hins vegar var gnægð smávaxinna kísilþörungna til staðar og er hugsanlegt að skorubörungarnir hafi að hluta til lifað á þeim (phagotrophy), enda sáust fæðubólur í mörgum *Dinophysis norvegica* frumum. Frumuát skorubörungna hefur ekki verið skoðað hér við land, en í ljósi ofangreindra niðurstaðna er áhugavert að skoða það nánar og í hve miklum mæli það á sér stað.

Ég vil einnig benda á mikilvægi beitar á svifþörungagróður. Áhrif beitar á framvindu svifþörunganna í Hvalfirði var ekki skoðuð, en áhugavert væri að vita meira um þau mál.

Í hverri sýnatökufærð var einungis eitt sýni tekið á hverju sýnatökudýpi, það væri því verðugt verkefni að taka endurtekin sýni (repliköt), til dæmis inni í firðinum og svo aftur úti í mynninu svo hægt sé að framkvæma tölfræðipróf á gögnunum og þá sjá breytileikann innan hvors svæðis fyrir sig og hvort um raunverulegan mun sé að ræða milli svæða.

Ég vil að lokum nefna mikilvægi þess að fylgst sé náið með því hvaða svifþörungasamfélög eru ríkjandi á hverjum tíma í Hvalfirðinum með tilliti til skelfiskneyslu.

6. ÞAKKIR

Ég vil byrja á því að þakka Karli Gunnarssyni fyrir alla hans aðstoð og góð ráð vaðandi vinnu við þetta verkefni auk hans þakka ég Þóru Ellenu Þórhallsdóttur fyrir hennar þátt. Þórunni Þórðardóttur færi ég þakkir fyrir alla hennar leiðsögn og miðlun upplýsinga í gegnum árin. Einnig þakka ég öllu samstarfsfólki mínu á Hafrannsóknastofnuninni, sérstaklega þeim

Kristni Guðmundssyni, Kristínu Valsdóttur, Sólveigu Ólafsdóttur og Magnúsi Daníelssyni, fyrir þeirra margvíslegu aðstoð. Áhöfnum rannsóknaskipanna, ásamt skipstjóra Bláskeljarinnar, Kjartani Thors, þakka ég alla aðstoð. Stefáni Eydal þakka ég fyrir aðstoð við tölvuvinnu og Sigurkarli Magnússyni yfirlestur og margar góðar ábendingar. Ég þakka Lýðveldissjóði fyrir styrkveitingu til námsins. Að lokum færi ég Jakobi Jakobssyni fyrrverandi forstjóra og Jóhanni Sigurjónssyni núverandi forstjóra Hafrannsóknastofnunarinnar þakkir fyrir stuðning þeirra við verkefnið.

Heimildarskrá

- Agnes Eydal, 2003. Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 92: 29-50.
- Andersen, P., 1996. Design and implementation of some harmful algal monitoring systems. IOC Technical Series 44, UNESCO 1996.
- Anderson, D.M., 1998. Physiology and bloom dynamics of toxic *Alexandrium* species, with emphasis on life cycle transitions. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin, Springer-Verlag, 29-48. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Antia, N.J., P.H. Harrison og L. Oliveria, 1991. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology. Phycologia 30(1):1-89.
- Bates, S.S., 1998. Ecophysiology and metabolism of ASP production. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin, Springer-Verlag, 404-426. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Bates, S.S., D.L. Garrison og R.A. Horner, 1998. Bloom dynamics and physiology of domoic-acid-producing *Pseudo-nitzschia* species. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin, Springer-Verlag, 267-292. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Cadée, G.C., 1996. Accumulation and sedimentation of *Phaeocystis globosa* in the Dutch Wadden Sea. Journal of Sea Research, 36(3/4): 321-327.
- Carlson, P. og E. Granéli, 1998. Utilization of dissolved organic matter (DOM) by phytoplankton, including harmful species. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin, Springer-Verlag, 509-524. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Cebrián J. og I. Valiela, 1999. Seasonal patterns in phytoplankton biomass in coastal ecosystems. J. Plankt. Res. 21(3): 429-444.
- Dahl, E. og M. Yndestad, 1985. Diarrhetic shellfish poisoning (DSP) in Norway in the autumn 1984 related to occurrence of *Dinophysis* spp. Í D.M. Anderson, A.W. White og D.G. Baden (ritstj.), Toxic dinoflagellates. New York, Elsevier Sci. Publ., 495-500.
- Darley, W.M., 1977. Biochemical Composition. Í D. Werner (ritstj.) The biology of diatoms. Oxf., Blackwell Scientific Publications, 198-224.
- Delmas, D., 1992. Environmental conditions which lead to increase in cell density of the toxic dinoflagellates *Dinophysis* spp. in nutrient-rich and nutrient-poor waters of the French Atlantic coast. Mar. Ecol. Prog. Ser. 89: 53-61.
- Dring, M.J., 1982. Growth and Productivity of Marine Plants. Í Willis, A.J. og Sleigh M.A (ritstj.), The Biology of Marine Plants. London, Edward Arnold Ltd., 67-92.
- Egge, J.K. og D.L. Aksnes, 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. Mar. Ecol. Prog. Ser. 83: 281-289.
- Eilertsen, H. Chr., B. Schei og J.P. Taasen, 1981. Investigations on the plankton community of Balsfjorden, northern Norway. The phytoplankton 1976-1978. Sarsia 66: 129-141.
- Flynn, K.J. og I. Butler, 1986. Nitrogen sources for the growth of marine microalgae: role of dissolved free amino acids. Mar. Ecol. Prog. Ser. 34: 281-304.
- Gran, H.H., 1908. Diatomeen. Í K. Brandt og C. Apstein (ritstj.), Nordisches Plankton. Botanischer Teil, 19: 1-146.
- Granéli, E. og P. Carlsson, 1998. The Ecological Significance of Phagotrophy in Photosynthetic Flagellates. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin, Springer-Verlag, 539-557. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Grasshoff, K., 1970. A simultaneous multi channel system for nutrient analyses in seawater with analog and digital data. Technicon Quarterly, 3: 7-17.
- Guðrún G. Þórarinsdóttir og Þórunn Þórðardóttir, 1997. Vágastir í plöntusvifinu. Náttúrufræðingurinn, 67(2): 67-76.
- Guðrún G. Þórarinsdóttir, 1987. Dyrkning af blá muslinger (*Mytilus edulis*) í Hvitanes, Hvalfördur, Island. Specialopgave i biologi ved Århus Universitet, 61 bls.
- Guillard R.R.L., 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. Í E. Werner (ritstj.), The Biology of Diatoms. Oxf., Blackwell Scientific Publications, 372-469.
- Hellebust, J.A. og J. Lewin, 1977. Heterotrophic nutrition. Í D. Werner (ritstj.), Biology of diatoms. Oxf., Blackwell Scientific Publications, 169-197.
- Hansen, P.J., 1998. Phagotrophic mechanisms and prey selection in mixotrophic phytoflagellates. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Berlin Springer-Verlag, 523-537. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Hasle, G.R., 1978. The inverted-microscope method (Settling). Í A. Sournia (ritstj.), Phytoplankton manual. Paris, UNESCO, 88-96.
- Hasle, G.R., E.E. Syvertsen, K.A. Steidinger og K. Tangen, 1996. Í Carmelo R. Tomas (ritstj.), Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, Inc. 5-386.
- Koroleff, F., 1970; Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. ICES Interlab. Rep. 3: 19-22.
- Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal 1998. Svifþörungur sem geta valdið skelfiskeitrun. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 70: 1-33.
- Lancelot, C. og V. Rousseau, 1994. Ecology of *Phaeocystis*: the key role of colony forms. Í J.C. Green og B.S.C. Leadbeater (ritstj.). The Haptophyte Algae. The Systematics Association, Special volume, 51: 229-245.

- McIntire, C.D. og W.M. Moore, 1977. Marine littoral diatoms – ecological considerations. Í D. Werner (ritstj.) *The biology of diatoms*. Oxf., Blackwell Scientific Publications, 333-372.
- Maestrini, S.Y., 1998. Bloom dynamics and ecophysiology of *Dinophysis* spp. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G. M. Hallegraeff (ritstj.). *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*, Berlin, Springer-Verlag, 243-292. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Malone, T.C. og P.J. Neal, 1981. Parameters of light-dependent photosynthesis for phytoplankton size fraction in temperate estuarine and coastal environments. *Mar. Biol.* 61: 289-297.
- Martin, J.L., K. Haya, og D.J. Wildish, 1993. Distribution and domoic acid content of *Nitzschia pseudodelicatissima* in the Bay of Fundy. Í Smayda, T.J., Shimizu, Y. (ritstj.) *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. Amsterdam, Elsevier, 613-618.
- Murphy, J. og J.P. Riley, 1962. Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27(1): 31-36.
- Nielsen, S.E., 1935. The production of phytoplankton at the Faroe Isles, Iceland, east Greenland and in the waters around. *Meddelelser fra Kommissionen for Danmarks fiskeri- og havundersøgelser, Serie: Plankton, III(1):* 1-91.
- Parson, T.R., M. Takahashi og B. Hargrave, 1977. *Biological Oceanographic Processes*. Oxford, Pergamon Press, 332 bls.
- Paulsen, O., 1904. Plankton-investigations, in the waters round Iceland in 1903. *Meddelelser fra Kommissionen for havundersøgelser, Serie: Plankton, I(1):* 1-39.
- Paulsen, O., 1909. Plankton investigations in the waters round Iceland and in the north Atlantic in 1904. *Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser. Serie: Plankton, I(8):* 1-57.
- Pearl, H.W. og M.B. Harrington, 1999. Responses of the phytoplankton community growth rate to nutrient pulses in variable estuarine environments. *J. Phycol.*, 35: 1455-1463.
- Premazzi G. og L. Volterra, 1993. *Microphyte toxins*. Joint Research Centre, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Price N.M., W.P. Cochlan og P.J. Harrison, 1985. Time course of uptake of inorganic and organic nitrogen by phytoplankton in the Strait of Georgia: comparison of frontal and stratified communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 27: 39-53.
- Rigeman, R., 1998. Composition of harmful algal blooms in relation to macronutrient dynamics. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G.M. Hallegraeff (ritstj.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Berlin, Springer-Verlag, 475-488. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Smayda, T.J., 1963. Succession of phytoplankton, and the ocean as an holocoenotic environment. Í Oppenheimer C.H. Thomas (ritstj.), *Symposium on marine microbiology*. Springfield, 260-274.
- Sommer U., 1994. Are marine diatoms favoured by high Si:N ratios? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 309-315.
- Sólveig Ólafsdóttir og Jón Ólafsson, 1999. Input of dissolved constituents from River Þjórsá to S-Iceland coastal waters. *Rit Fiskideildar* 16: 79-88.
- Stefán Kristmannsson, 1983. Hitastig, selta og vatns- og seltubúskapur í Hvalfirði 1947-1978. *Hafrannsóknastofnun, Fjölrit* 9: 1-26.
- Stolte W., T. McCollin, A.A.M. Noordeo og R. Riegman, 1994. Effect of nitrogen source on the size distribution within marine phytoplankton populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 184: 83-97.
- Strickland, J.D.H. og T.R. Parson, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Bd. Can., Bull. 167: 1-310.
- Sörensen, H.M., 1990. Toksiske og potentiel toksiske algers økologi i danske farvande. København, Fiskeriministeriets Industritilsyn, 63-70.
- Taylor, F.J.R. og U. Pollinger, 1987. Ecology of dinoflagellates. Í F.J.R Taylor (ritstj.), *The biology of dinoflagellates*. Oxf., Blackwell Scientific Publications, 399-502.
- Todd, E.C.D., 1993. Domoic acid and amnesic shellfish poisoning – a review. *J. Food Protection*, 56, 69-83.
- Tremblay, J.É., L. Legendre og J-C. Therriault, 1997. Size differential effects of vertical stability on the biomass and production of phytoplankton in a large estuarine system. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 45: 415-431.
- Turner, J.T., P.A. Tester og P.J. Hansen, 1998. Interactions between toxic marine phytoplankton and metazoan and protistan grazers. Í D.M. Anderson, A.D. Cembella og G. M. Hallegraeff (ritstj.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Berlin, Springer-Verlag, 453-474. NATO ASI Series, G: Ecological Sciences, v. 41.
- Unnsteinn Stefánsson, 1991. *Haffræði I*. Reykjavík, Háskólaútgáfan, 413 bls.
- Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson, 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar*, 12: 1-56.
- Unnsteinn Stefánsson, Þórunn Þórðardóttir og Jón Ólafsson, 1987. Comparison of seasonal oxygen cycles and primary production in the Faxaflói region, southwest Iceland. *Deep-Sea Research*, 34(5/6): 725-739.
- Unnsteinn Stefánsson og Guðmundur Guðmundsson, 1978. The freshwater regime og Faxaflói, Southwest Iceland, and its relationship to meteorological variables. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6: 535-551.
- Þórunn Þórðardóttir og Agnes Eydal, 1996. Phytoplankton at the Ocean quahog harvesting areas off the northwest coast of Iceland 1994. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit* 51: 1-22.
- Þórunn Þórðardóttir, 1994. Plöntusvifið og framleiðni í sjónum við Ísland. Í Unnsteinn Stefánsson (ritstj.), *Íslendingar, hafid og auðlindir þess*. Vísindafélag Íslendinga, ráðstefnurit, 4: 65-88.
- Þórunn Þórðardóttir, Kristinn Guðmundsson og Gunnar Pétursson, 1991. Computations for estimating daily

primary production from incubator measurements og ^{14}C uptake at light saturation. ICES, C.M 1991/L:64, 15 s.

Þórunn Þórðardóttir, 1986. Timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í Skreslet, S. (ritstj.): The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Berlin, Springer-Verlag, 345-360. NATO ASI Series, v. G7.

Þórunn Þórðardóttir og Unnsteinn Stefánsson, 1977. Productivity in relation to environmental variables in the Faxaflói region, 1966-1967. ICES CM 1977/L:34, 13 s.

Þórunn Þórðardóttir, 1976. The spring primary production in Icelandic Waters 1970-1975. ICES CM 1976/L:31, 27 s.

Wada, E. og A. Hattori, 1991. Nitrogen in the sea: forms, abundances and rate processes. Boca Raton, CRC Press, 208 bls.

Werner D., 1977. Silicate metabolism. Í D. Werner (ritstj.) The biology of Diatoms, Oxf., Blackwell Scientific Publications, 110-149.

Willén, E., 1977. Phytoplankton countings. Intercalibration results and recommendations for routine work. Int. Revue ges. Hydrobiol. 62(6): 805-811.

Willén, E., 1976. A simplified method of phytoplankton counting. Br. Phycol J. 11: 265-278.

Yasumoto, T., N. Kawagishi og H. Asano, 1978. Identification of N-Methyl-alpha-picolinium and other quaternary ammonium compounds from the oyster. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 44: 1249-1255.

Hafrannsóknastofnun. Fjölrit

Marine Research Institute. Reports

Þessi listi er einnig á Netinu (This list is also on the Internet)

<http://www.hafro.is/Timarit/fjolr.html>

1. **Kjartan Thors, Þórdís Ólafsdóttir:** Skýrsla um leit að byggingarefnum í sjó við Austfirði sumarið 1975. Reykjavík 1975. 62 s. (Ófáanlegt - Out of print).
2. **Kjartan Thors:** Skýrsla um rannsóknir hafsbotnsins í sunnanverðum Faxaflóa sumarið 1975. Reykjavík 1977. 24 s.
3. **Karl Gunnarsson, Konráð Þórisson:** Áhrif skolpmengunar á fjöruþörungum í nágrenni Reykjavíkur. Reykjavík 1977. 19 s. (Ófáanlegt - Out of print).
4. **Einar Jónsson:** Meingunarrannsóknir í Skerjafirði. Áhrif frárennslis á botndýralíf. Reykjavík 1976. 26 s. (Ófáanlegt - Out of print).
5. **Karl Gunnarsson, Konráð Þórisson:** Stórþari á Breiðafirði. Reykjavík 1979. 53 s.
6. **Karl Gunnarsson:** Rannsóknir á hrossaþara (*Laminaria digitata*) á Breiðafirði. 1. Hrossaþari við Fagurey. Reykjavík 1980. 17 s. (Ófáanlegt - Out of print).
7. **Einar Jónsson:** Líffræðiathuganir á beitusmökk haustið 1979. Áfangaskýrsla. Reykjavík 1980. 22 s. (Ófáanlegt - Out of print).
8. **Kjartan Thors:** Botngerð á nokkrum hrygningarstöðvum síldarinnar. Reykjavík 1981. 25 s. (Ófáanlegt - Out of print).
9. **Stefán S. Kristmannsson:** Hitastig, selta og vatns- og seltubúskapur í Hvalfirði 1947-1978. Reykjavík 1983. 27 s.
10. **Jón Ólafsson:** Þungmálmar í kræklingi við Suðvestur-land. Reykjavík 1983. 50 s.
11. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1987. Aflahorfur 1988. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1987. Fishing Prospects 1988.* Reykjavík 1987. 68 s. (Ófáanlegt - Out of print).
12. Haf- og fiskirannsóknir 1988-1992. Reykjavík 1988. 17 s. (Ófáanlegt - Out of print).
13. **Ólafur K. Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum. Reykjavík 1988. 76 s. (Ófáanlegt - Out of print).
14. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1988. Aflahorfur 1989. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1988. Fishing Prospects 1989.* Reykjavík 1988. 126 s.
15. Ástand humar- og rækjustofna 1988. Aflahorfur 1989. Reykjavík 1988. 16 s.
16. **Kjartan Thors, Jóhann Helgason:** Jarðlög við Vestmannaeyjar. Áfangaskýrsla um jarðlagagreiningu og könnun neðansjávareldvarpa með endurvarpsmælingum. Reykjavík 1988. 41 s.
17. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1987-1988. Reykjavík 1989. 102 s.
18. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project. CTD Data Report. Joint Danish-Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1987.* Reykjavík 1989. 181 s.
19. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1989. Aflahorfur 1990. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1989. Fishing Prospects 1990.* Reykjavík 1989. 128 s. (Ófáanlegt - Out of print).
20. **Sigfús A. Schopka, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1989. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1989. 54 s.
21. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1990. Aflahorfur 1991. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1990. Fishing prospects 1991.* Reykjavík 1990. 145 s.
22. **Gunnar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1990. Reykjavík 1990. 53 s. (Ófáanlegt - Out of print).
23. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1988.* Reykjavík 1991. 84 s. (Ófáanlegt - Out of print).
24. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1989-1990. Reykjavík 1991. 105 s. (Ófáanlegt - Out of print).
25. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1991. Aflahorfur fiskveiðiárið 1991/92. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1991. Prospects for the Quota Year 1991/92.* Reykjavík 1991. 153 s. (Ófáanlegt - Out of print).
26. **Páll Reynisson, Hjálmar Vilhjálmsson:** Mælingar á stærð loðnustofnsins 1978-1991. Aðferðir og niðurstöður. Reykjavík 1991. 108 s.
27. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1989.* Reykjavík 1991. 93 s.
28. **Gunnar Stefánsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1991. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1991. 60 s.
29. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1992. Aflahorfur fiskveiðiárið 1992/93. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1992. Prospects for the Quota Year 1992/93.* Reykjavík 1992. 147 s. (Ófáanlegt - Out of print).

30. **Van Aken, Hendrik, Jóhannes Briem, Erik Buch, Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Sven Ober:** *Western Iceland Sea. GSP Moored Current Meter Data Greenland - Jan Mayen and Denmark Strait September 1988 - September 1989.* Reykjavík 1992. 177 s.
31. **Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1992. Reykjavík 1993. 71 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
32. **Guðrún Marteinsdóttir, Gunnar Jónsson, Ólafur V. Einarsson:** Útbreiðsla grálúðu við Vestur- og Norðvestur-land 1992. Reykjavík 1993. 42 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
33. **Ingvar Hallgrímsson:** Rækjuleit á djúpslóð við Ísland. Reykjavík 1993. 63 s.
34. Nyttjastofnar sjávar 1992/93. Aflahorfur fiskveiðiárið 1993/94. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1992/93. Prospects for the Quota Year 1993/94.* Reykjavík 1993. 140 s.
35. **Ólafur K. Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1993. Reykjavík 1994. 89 s.
36. **Jónbjörn Pálsson, Guðrún Marteinsdóttir, Gunnar Jónsson:** Könnun á útbreiðslu grálúðu fyrir Austfjörðum 1993. Reykjavík 1994. 37 s.
37. Nyttjastofnar sjávar 1993/94. Aflahorfur fiskveiðiárið 1994/95. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1993/94. Prospects for the Quota Year 1994/95.* Reykjavík 1994. 150 s.
38. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1990.* Reykjavík 1994. 99 s.
39. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1991.* Reykjavík 1994. 94 s.
40. Þættir úr vistfræði sjávar 1994. Reykjavík 1994. 50 s.
41. **John Mortensen, Jóhannes Briem, Erik Buch, Svend-Aage Malmberg:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - Moored Current Meter Data Greenland - Jan Mayen, Denmark Strait and Kolbeinsey Ridge September 1990 to September 1991.* Reykjavík 1995. 73 s.
42. **Einar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1994. - Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1995. 107 s.
43. Nyttjastofnar sjávar 1994/95. Aflahorfur fiskveiðiárið 1995/96. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1994/95 - Prospects for the Quota Year 1995/96.* Reykjavík 1995. 163 s.
44. Þættir úr vistfræði sjávar 1995. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1995.* Reykjavík 1995. 34 s.
45. **Sigfús A. Schopka, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1995. Rannsóknaskýrsla. *Icelandic Groundfish Survey 1995. Survey Report.* Reykjavík 1996. 46 s.
46. Nyttjastofnar sjávar 1995/96. Aflahorfur fiskveiðiárið 1996/97. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1995/96. Prospects for the Quota Year 1996/97.* Reykjavík 1996. 175 s.
47. **Björn Æ. Steinarsson, Gunnar Jónsson, Hörður Andrésón, Jónbjörn Pálsson:** Könnun á flatfiski í Faxaflóa með dragnót sumaríð 1995 - Rannsóknaskýrsla. *Flatfish Survey in Faxaflói with Danish Seine in Summer 1995 - Survey Report.* Reykjavík 1996. 38 s.
48. **Steingrímur Jónsson:** *Ecology of Eyjafjörður Project. Physical Parameters Measured in Eyjafjörður in the Period April 1992 - August 1993.* Reykjavík 1996. 144 s.
49. **Guðni Þorsteinsson:** Tilraunir með þorskgildur við Ísland. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1996. 28 s.
50. **Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir, Þórarinn Arnarson:** Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Reykjavík 1996. 50 s.
51. **Þórunn Þórðardóttir, Agnes Eydal:** *Phytoplankton at the Ocean Quahog Harvesting Areas Off the Southwest Coast of Iceland 1994.* Svifþörungur á kúfiskmiðum út af norðvesturströnd Íslands 1994. Reykjavík 1996. 28 s.
52. **Gunnar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1996. Rannsóknaskýrsla. *Icelandic Groundfish Survey 1996. Survey Report.* Reykjavík 1997. 46 s.
53. Þættir úr vistfræði sjávar 1996. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1996.* Reykjavík 1997. 29 s.
54. **Vilhjálmur Þorsteinsson, Ásta Guðmundsdóttir, Guðrún Marteinsdóttir, Guðni Þorsteinsson og Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum 1996. *Gill-net Survey to Establish Indices of Abundance for the Spawning Stock of Icelandic Cod in 1996.* Reykjavík 1997. 22 s.
55. Hafrannsóknastofnunin: Rannsókn- og starfsáætlun árin 1997-2001. Reykjavík 1997. 59 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
56. Nyttjastofnar sjávar 1996/97. Aflahorfur fiskveiðiárið 1997/98. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1996/97. Prospects for the Quota Year 1997/98.* Reykjavík 1997. 167 s.
57. Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. Reykjavík 1997. 410 s.
58. **Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson (editors):** *BORMICON. A Boreal Migration and Consumption Model.* Reykjavík 1997. 223 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
59. **Haldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson:** *BORMICON. User's Manual.* Reykjavík 1997. 61 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
60. **Haldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson:** *BORMICON. Programmer's Manual.* Reykjavík 1997. 215 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
61. **Þorsteinn Sigurðsson, Einar Hjörleifsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur Karvel Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum haustið 1996. Reykjavík 1997. 34 s.
62. **Guðrún Helgadóttir:** *Paleoclimate (0 to >14 ka) of W and NW Iceland: An Iceland/USA Contribution to P.A.L.E. Cruise Report B9-97, R/V Bjarni Sæmundsson RE 30, 17th-30th July 1997.* Reykjavík 1997. 29 s.
63. **Haldóra Skarphéðinsdóttir, Karl Gunnarsson:** Lífríki sjávar í Breiðafirði: Yfirlit rannsókna. *A review of literature on marine biology in Breiðafjörður.* Reykjavík 1997. 57 s.
64. **Valdimar Ingi Gunnarsson og Anette Jarl Jörgensen:** Þorskrannsóknir við Ísland með tilliti til hafbeitar. Reykjavík 1998. 55 s.
65. **Jakob Magnússon, Vilhelmina Vilhelmsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir:** Djúpslóð á Reykjaneshrygg: Könnunarleiðangrar 1993 og 1997. *Deep Water Area of the Reykjanes Ridge: Research Surveys in 1993 and 1997.* Reykjavík 1998. 50 s.
66. **Vilhjálmur Þorsteinsson, Ásta Guðmundsdóttir, Guðrún Marteinsdóttir:** Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum 1997. *Gill-net Survey of Spawning Cod in Icelandic Waters in 1997. Survey Report.* Reykjavík 1998. 19 s.

67. Nýttastofnar sjávar 1997/98. Aflahorfur fiskveiðiárið 1998/99. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1997/98. Prospects for the Quota year 1998/99.* Reykjavík 1998. 168 s.
68. **Einar Jónsson, Hafsteinn Guðfinnsson:** Ýsurannsóknir á grunnslóð fyrir Suðurlandi 1989-1995. Reykjavík 1998. 75 s.
69. **Jónbjörn Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Hjörleifsson, Gunnar Jónsson, Hörður Andrésson, Kristján Kristinnson:** Könnun á flatfiski í Faxaflóa með dragnót sumrin 1996 og 1997 - Rannsóknaskýrsla. *Flatfish Survey in Faxaflói with Danish Seine in Summers 1996 and 1997 - Survey Report.* Reykjavík 1998. 38 s.
70. **Kristinn Guðmundsson, Agnes Eydal:** Sviðþörungur sem geta valdið skelfiskeitrun. Niðurstöður tegundagreininga og umhverfisathugana. *Phytoplankton, a Potential Risk for Shellfish Poisoning. Species Identification and Environmental Conditions.* Reykjavík 1998. 33 s.
71. **Ásta Guðmundsdóttir, Vilhjálmur Þorsteinsson, Guðrún Marteinsdóttir:** Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum 1998. *Gill-net survey of spawning cod in Icelandic waters in 1998.* Reykjavík 1998. 19 s.
72. Nýttastofnar sjávar 1998/1999. Aflahorfur fiskveiðiárið 1999/2000. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1998/1999. Prospects for the Quota year 1999/2000.* Reykjavík 1999. 172 s. (Ófáanlegt - Out of print.)
73. Þættir úr vistfræði sjávar 1997 og 1998. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1997 and 1998.* Reykjavík 1999. 48 s.
74. **Matthías Oddgeirsson, Agnar Steinarsson og Björn Björnsson:** Mat á arðsemi sandhverfueldis á Íslandi. Grindavík 2000. 21 s.
75. Nýttastofnar sjávar 1999/2000. Aflahorfur fiskveiðiárið 2000/2001. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1999/2000. Prospects for the Quota year 2000/2001.* Reykjavík 2000. 176 s.
76. **Jakob Magnússon, Jútta V. Magnússon, Klara B. Jakobsdóttir:** Djúpfiskarannsóknir. Framlag Íslands til rannsóknaverkefnisins EC FAIR PROJECT CT 95-0655 1996-1999. *Deep-Sea Fishes. Icelandic Contributions to the Deep Water Research Project. EC FAIR PROJECT CT 95-0655 1996-1999.* Reykjavík 2000. 164 s. (Ófáanlegt - Out of print.)
77. Þættir úr vistfræði sjávar 1999. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1999.* Reykjavík 2000. 31 s.
78. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2000.* Reykjavík 2001. 341 s. (Ófáanlegt. - Out of print.)
79. *Tagging Methods for Stock Assessment and Research in Fisheries.* Co-ordinator: Vilhjálmur Þorsteinsson. Reykjavík 2001. 179 s.
80. Nýttastofnar sjávar 2000/2001. Aflahorfur fiskveiðiárið 2001/2002. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2000/2001. Prospects for the Quota year 2001/2002.* Reykjavík 2001. 186 s.
81. **Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir:** Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum í febrúar 2000. Reykjavík 2001. 49 s.
82. **Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjór og sjávarmytjar í Héraðsflóa. Reykjavík 2001. 20 s.
83. Þættir úr vistfræði sjávar 2000. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2000.* Reykjavík 2001. 37 s.
84. **Guðrún G. Þórarinsdóttir, Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjávarnyttjar í Hvalfirði. Reykjavík 2001. 14 s.
85. Rannsóknir á straumum, umhverfisþáttum og lífríki sjávar í Reyðarfirði frá júlí til október 2000. *Current measurements, environmental factors and biology of Reyðarfjörður in the period late July to the beginning of October 2000.* Hafsteinn Guðfinnsson (verkefnisstjóri). Reykjavík 2001. 135 s.
86. **Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig R. Ólafsdóttir, Jóhannes Briem:** Ferskvatnsáhrif í sjó við Norðausturland að vorlagi. Reykjavík 2002. 42 s.
87. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2001* Reykjavík 2002. 300 s.
88. Nýttastofnar sjávar 2001/2002. Aflahorfur fiskveiðiárið 2002/2003. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2001/2002. Prospects for the Quota year 2002/2003.* Reykjavík 2002. 198 s.
89. **Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Öivind Kaasa:** *Ecology of Eyjafjörður project. Chemical and biological parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992-August 1993.* Reykjavík 2002. 129 s.
90. **Ólafur K. Pálsson, Guðmundur Karlsson, Ari Arason, Gísli R. Gíslason, Guðmundur Jóhannesson, Sigurjón Aðalsteinnson:** Mælingar á brottkasti þorsks og ýsu árið 2001. Reykjavík 2002. 17 s.
91. **Jenný Brynjarsdóttir:** *Statistical Analysis of Cod Catch Data from Icelandic Groundfish Surveys. M.Sc. Thesis.* Reykjavík 2002. xvi, 81 s.
92. Umhverfisaðstæður, sviðþörungur og kræklingur í Mjóafirði. Ritstjóri: Karl Gunnarsson. Reykjavík 2003. 81 s.
93. **Guðrún Marteinsdóttir** (o.fl.): *METACOD: The role of sub-stock structure in the maintenance of cod metapopulations.* METACOD: Stofngerð þorsks, hlutverk undirstofna í viðkomu þorskstofna við Ísland og Skotland. Reykjavík 2003. vii, 110 s.
94. **Ólafur K. Pálsson, Guðmundur Karlsson, Ari Arason, Gísli R. Gíslason, Guðmundur Jóhannesson og Sigurjón Aðalsteinnson:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2002. Reykjavík 2003. 29 s.
95. **Kristján Kristinnson:** Lúðan (*Hippoglossus hippoglossus*) við Ísland og hugmyndir um aðgerðir til verndunar hennar. Reykjavík 2003. 33 s.
96. Þættir úr vistfræði sjávar 2001 og 2002. *Environmental conditions in Icelandic water 2001 and 2002.* Reykjavík 2003. 37 s.
97. Nýttastofnar sjávar 2002/2003. Aflahorfur fiskveiðiárið 2003/2004. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2002/2003. Prospects for the Quota year 2003/2004.* Reykjavík 2003. 186 s.
98. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2002.* Reykjavík 2003. 346 s.
99. **Agnes Eydal:** Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda sviðþörungna í Hvalfirði. Reykjavík 2003. 44 s.

