

Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir og Jóhannes Briem

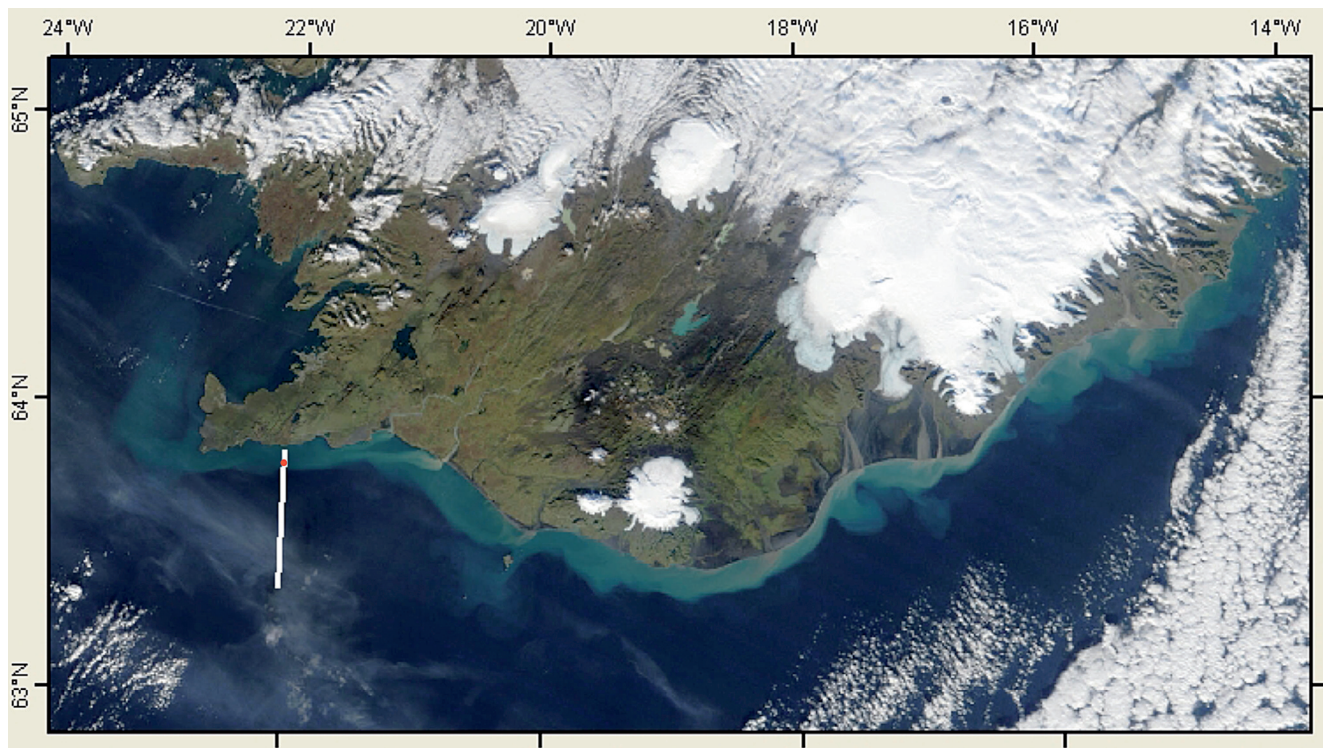
VATNSFÖLL OG VISTKERFI STRANDSJÁVAR

Þegar árvatn berst til sjávar myndast strandsjór sem glögggt má greina frá fullsöltum sjó af eðlis- og efnaeiginleikum hans. Hér er þessum eiginleikum lýst og því hvað gerist í strandsjónum, einkum að vorlagi við Ísland. Þar kemur strandstraumur við sögu, næringarefnabúskapur og tengsl við hrygningarstöðvar og nýliðun þorsks.

Landgrunn eru lítið brot af flatarmáli heimshafanna en frumframleiðni er þar miklu meiri en víðast í úthafinu og þau gefa af sér stóran hluta sjávarfangs þess sem mannfólkið aflar sér.

Landgrunnssvæðin taka við því sem berst til sjávar frá þurrlendinu: árvatni, uppleystum efnum og föstum efnum í grugglausn. Í aldanna rás hefur álag á strandsvæði sífellt aukist og þar hafa orðið breytingar,

bæði vegna athafna manna og breytileika náttúrunnar, t.d. veðurfars. Menn hafa breytt næringarefnaflæði til strandsvæða með úrgangi frá landbúnaði, iðnaði og þéttbýli. Rennsli ferskvatns til sjávar hefur breyst með vatnsmiðlun, áveitum og breytingum á árfarvegum.¹ Víða hafa menn aðeins óljósar hugmyndir um það hvernig aðstæður hafi áður verið. Mikilvægi strand-sjávarins og aðsteðjandi breytingar



1. mynd. Strandsjór við Suður- og Vesturland 16. október 2002. Grugg frá jökulám sýnir hvernig flæðið er vestur með suðurströndinni, fyrir Reykjanas og inn á Faxaflóa. Hvíta línan suður af Krísuvíkurbjargi sýnir snið þar sem rannsóknir hafa verið unnar að vorlagi (5. mynd) og rauði depillinn er á þeim stað þar sem straummæli var lagt vorið 1983 (6. mynd). Myndin er frá Terra-gervihnattarnemanum og birt með heimild MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC. – Coastal water at South and Southwest Iceland 16 October 2002. The coastal current flow westward and past Reykjanas into Faxaflói carries suspended particles from glacial rivers. The white line south of Krísuvíkurbjarg marks a transect of stations which have been studied in the springtime (Fig. 5) and the red dot is the location in 1983 of a current meter mooring (Fig. 6). Image courtesy of MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC.

eru nú á dögum viðfangsefni í alþjóðlegri rannsóknasamvinnu, t.d. verkefninu Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), <http://www.loicz.org/>.

Sömu grunnferli eiga sér almennt stað á strandsvæðum, en hnattstaða og umhverfisaðstæður hafa einnig áhrif á það hvernig vistkerfi þróast. Þegar straumvötn falla til sjávar og blandast söltum sjó hefjast ferli sem geta haft mótandi áhrif og lagt grunninn að frjósömum vistkerfum við strendur og innanverð landgrunn. Þessi grunnferli ná langt út fyrir svæðið næst árósum og þau felast í blöndun og áhrifum ferskvatns á eðliseiginleika og í þýðingu efna sem berast með fljótum fyrir lífríkið. Sjór blandaður ferskvatni af landi er nefndur strandsjór og einkenni hans er lægri

selta en gerist í sjónum utar á landgrunninu. Strandsjórinn er tíðum glöggst aðskilinn fullsöltum sjó og getur litur sjávar borið því vitni sem og mælingar á seltu (1. og 2. mynd). Við Ísland berst strandsjór með strandstraumi réttsælis um landið. Mest ber á strandsjónum næst landi á sumrin innan 100 metra dýptarmarka. Einkum á tveimur svæðum, vestur af Bjargtöngum og úti fyrir sunnanverðum Austfjörðum, flæða yfirborðsstraumar á landgrunninu út frá landi.² Með því fyrirnefnda berst sum ár talsvert af fisklirfum frá hrygningarsvæðum við Suðvesturland yfir á landgrunn Austur-Grænlands.

Hér verður leitast við að lýsa undirstöðum strandsjávarvistkerfis við Ísland og skýra með dæmum úr

rannsóknum, einkum að vorlagi. Hugað verður að þremur þáttum:

1. Eðliseiginleikum ferskvatnsblandaðs sjávar, strandstraumnum og aðstæðum við strendur sem leiða til blöndunar, svo sem dýpi, sjávarföllum, straumum, veðri og vindum.
2. Efnum sem eru í gruggi eða uppleyst í ferskvatnsblönduðum sjó. Sum eru næringarefni og nauðsynleg frumframleiðni svífþörungum sem er grunnur að fæðuvef eða fæðukeðju vistkerfisins.
3. Árstíðabundnum breytingum í lífríkinu og áhrifum rennslis af landi á þær.



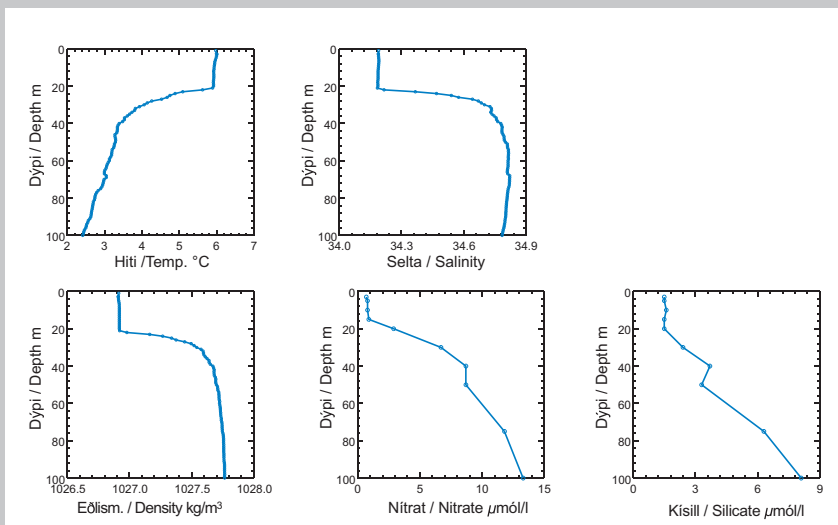
2. mynd. Vetur á Norðaustur- og Austurlandi, 16. apríl 2008. Gruggugur jökulárframburður er áberandi á Héraðsflóa en vart greinanlegur á Skjálfanda og Axarfirði. Myndin er frá Terra gervihnattarnemanum og birt með heimild "MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC". – Winter in Northeast and East Iceland 16 April 2008. Glacial river silt clearly visible in Héraðsflói in the east but scarcely detectable in the northern fjords Skjálfandi and Axarfjörður. Image courtesy of MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC.

1. rammi Hiti, selta, lagskipting, strandstraumur og blöndun

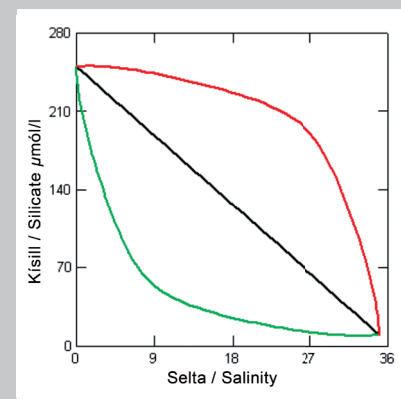
Eðlismassi sjávar er mikilvægur eiginleiki sem breytist með hita og seltu. Af breytingum á eðlismassa með dýpi og í lárétta stefnu má sjá hvernig blöndun er háttað og leggja mat á strauma sem eðlismassafallandinn drifur áfram.

Úthafssjór hefur seltu um 35 (selta sjávar er einingalaus stærð en $S=35$ samsvarar rúmlega 35 g/kg) og seltan lækkar við íblöndun fersks vatns. Eðlismassi fersks vatns hefur hámarksgildi við 4°C en þegar selta fersvatns-blandaðs sjávar er hærri en 24,7 eykst eðlismassinn við kælingu alveg niður að frostmarki og eðlismassinn vex ætíð með aukinni seltu. Þegar ferskvatn fellur til sjávar og blandast honum, verður eðlismassi blöndunnar því minni en sjávarins og segja má að blandan fljóti ofan á sjónum. Þannig verður til eðlismassafallandi bæði með dýpi (3. mynd) og langan veg í lárétta átt út frá árósum. Þessi eðlismassadreifing kemur lágseltulaginu á hreyfingu, það myndast straumur. Þá kemur til sögunnar annar kraftur, jarðsvigskrafturinn sem sveigir straumstefnuna 90° til hægri á norðurhveli jarðar.⁴ Þannig verður til strandstraumur sem almennt fylgir strandlöggun en aðrir kraftar, svo sem vegna sjávarfalla og vinda, hafa einnig mikil áhrif á strandstrauminn. Dæmi um strauma frá ósasvæðum má glöggst sjá á 1. og 2. mynd.

Þegar ferskvatn, sem bæði ber grugg og efni í upplausn, blandast fullsöltum sjó segir seltan til um hlutfallslegt magn ferskvatns í blöndunni. Ef hvorki verður uppleysing á föstu efni í grugginu né útfelling breytist styrkur efnisins í upplausn línulega í samræmi við seltuna (4. mynd). Ef dæmi er tekið af uppleystum kísil, sem er 250 $\mu\text{mol/l}$ í ferskvatni og 10 $\mu\text{mol/l}$ í sjó með seltu 35, þá lýsir svarti ferillinn á myndinni því þegar blöndunin ein ræður styrk. Væri kísill enn fremur að berast í upplausn, t.d. úr gruggögnum, yrðu styrkbreytingar með seltu ekki línulegar heldur væri styrkurinn á uppleystum kísil á svæði rauða ferilsins. Ef kísill væri á hinn bóginn að hverfa úr upplausn, t.d. vegna þess að kísilþörungar væru að vaxa, binda uppleystan kísil og mynda kísilskel, þá kæmu styrkbreytingar með seltu fram á svæði græna ferilsins.



3. mynd. Breytingar eðlis- og efnabáttar með dýpi í Axarfirði 13. júní 1994, eftir að hvassviðri hafði blandað efstu 20 metrana. Þarna var sterk lagskipting. Bæði selta og hiti hafa áhrif á eðlismassann; vægi hvors þáttar á myndun lagskiptingar má meta með mælingum á seltu og hita. Styrkur næringarefnanna nítrats og kísils er mjög lágur í yfirborðslaginu en eins og um vetur niðri á 100 m dýpi. – Variations in physico-chemical properties with depth in Axarfjörður 13 June 1994 after a gale had mixed the 20 m deep surface layer. A strong stratification is evident. Both salinity and temperature influence the density and the density changes can be evaluated from temperature and salinity data. The nitrate and silicate concentrations are very low at the surface but as in winter at 100 m depth.



4. mynd. Dæmi um breytingar á styrk uppleysts kísils þegar áróvatn blandast við fullsaltan sjó. – Examples of changes in dissolved silicate concentrations upon mixing of river water with sea water.

Stuðst verður við gögn úr nokkrum verkefnum: rannsóknnum Hafrannsóknastofnunarinnar á Suðvesturmiðum 1983, 1990, 1991 og 1992, rannsóknnum á Skjálfanda og Axarfirði 1994, athugunum á sjó eftir Skeiðarárhlaupið í nóvember 1996 og athugunum á Þjórsá og sjó utan ósa hennar 1996–1997.

EÐLISEIGINLEIKAR STRANDSJÁVAR

Sjór við Suðvesturland

Árin 1966 og 1967 voru unnar ítarlegar sjórannsóknir á Faxaflóa með 15 leiðöngrum á 24 stöðvar. Á grundvelli seltumælinga, vatnamælinga og veðurathugana var lagt mat á ferskvatnsbúskap flóans.³ Reiknað var heildarmagn ferskvatns í flóanum í hverri ferð. Það reyndist æði mismikið þótt mest væri það fyrrihluta sumars, eftir vorleysingar, svo sem vænta mátti. Rennsli árvatns til Faxaflóa gat ekki skýrt þessar sveiflur; meira þurfti til og niðurstöður voru þessar:

1. Stór hluti þess ferskvatnsblandaða sjávar sem er á hverjum tíma í Faxaflóa er aðfluttur, þ.e. hefur borist þangað fyrir Reykjanes af landgrunninu sunnan landsins.
2. Vindar ráða miklu um magn og dreifingu ferskvatns í Faxaflóa; suðlægir vindar auka magnið og halda því inni í flóanum en norðlægir vindar hafa gagnstæð áhrif með því að draga úr flutningi inn á svæðið að sunnan og toga yfirborðslagið til hafs.

Á gervihnattarmynd frá 16. október 2002 koma vel fram leiragnir, grugg, sem berast til sjávar með ám og þær sýna strandstrauminn flæða með suðurströndinni í vesturátt að Reykjanesi en sveigja svo til norðurs inn á Faxaflóa (1. mynd). Á leiðinni sekkur gruggið niður úr yfirborðslaginu og dreifist jafnframt vegna blöndunar. Þessi mynd er í góðu samræmi við niðurstöður úr Faxaflóarannsókninni en þess ber að geta að dagana fyrir

myndatökuna hafði verið hægur austlægur vindur og því hefur togkraftur vindsins unnið með þeim kröftum sem stafa af eðlismassadreifingu og flytja strandsjó vestur á bóginn (1. rammí).

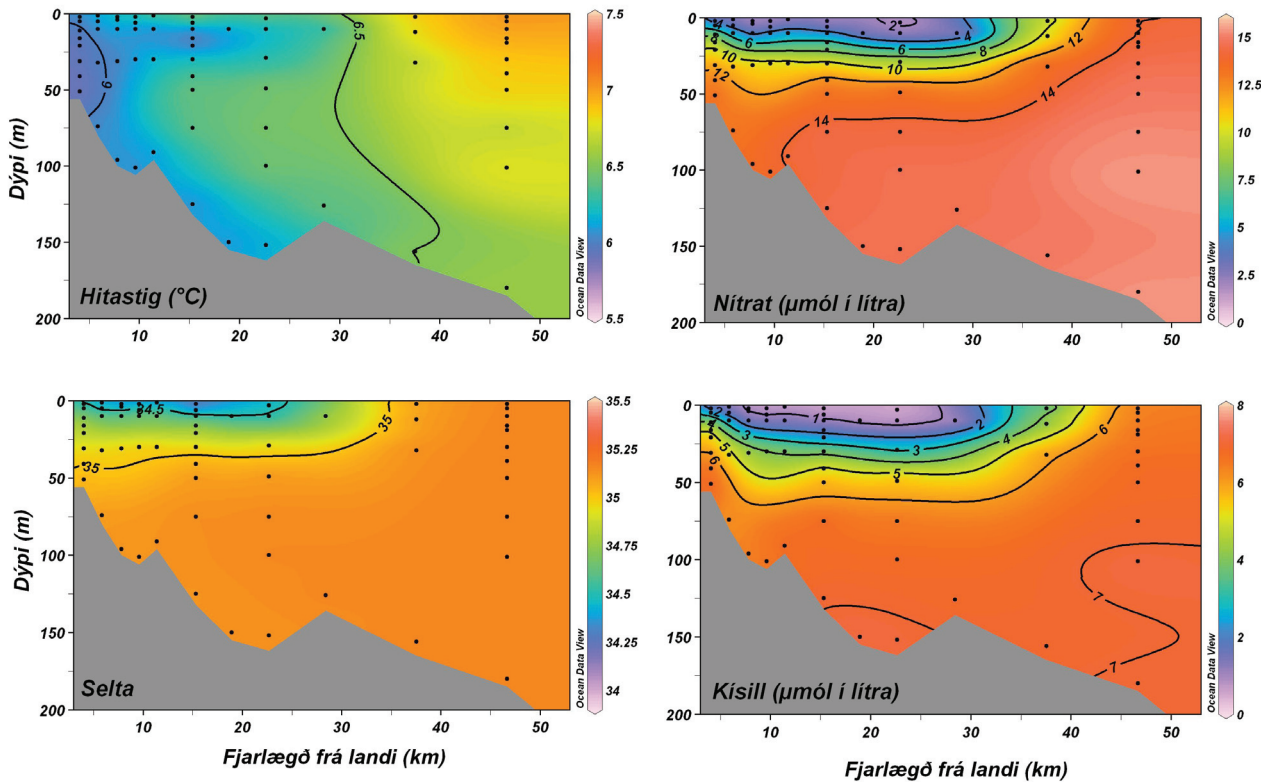
Suðvestursvæðið er þýðingamikið vegna hrygningar og klaks margra mikilvægra nytjafiska, t.d. þorsks og ýsu. Því hefur svæðið verið rannsakað alloft á vorin. Á sniði sem nær um 54 km yfir landgrunnið til suðurs frá Krísuvíkurbjargi kemur strandsjórinn glöggt fram nyrst og með honum berst vatn frá ánum sem falla til sjávar austar á ströndinni, Ölfusá, Þjórsá, Markarfljóti o.fl., en syðst, úti í Grindavíkurdjúpi, er fullsaltur úthafssjór (1. og 5. mynd). Þetta snið er um 45 km frá Ölfusárósi og 65 km frá Þjórsárósi. Á þessu svæði koma fram breytingar sem sýna vel hvernig vorkomu er háttað í hafinu og í strandsjónum. Vorið 1983 var Krísuvíkursniðið kannað þrisvar frá apríl til júní.⁶ Styrkur strandstraumsins þar var reiknaður á grundvelli seltu og hita, þ.e. eðlismassa sjávar.⁴ Reiknaður straumur til vesturs réðst nánast eingöngu af seltudreifingunni og hann var veikastur í apríl. Ferskvatnsáhrifin og straumurinn voru í þessum athugunum mest innan 10 km frá landi. Í síðari rannsóknnum hafa ferskvatnsáhrifin vissulega náð lengra til hafs (5. mynd). Trúlega stuðlar hlýsjávarstraumurinn sem flæðir inn Grindavíkurdjúp að því að takmarka útbreiðslu strandsjávarins til suðurs (5. mynd).

Síritandi straummæli var lagt á um 25 m dýpi í kjarna straumsins 3,5 km undan landi og skráði hann stefnu og styrk straumsins ásamt sjávarhita á 10 mínúta fresti í 7 vikur, frá 25. apríl til 12. júní 1983 (1. og 6. mynd). Straummælingin var metin með hliðsjón af samtíma veðurathugunum á Keflavíkurflugvelli og upplýsingum um sjávarföll. Niðurstöður straummælingarinnar sýna töluvert örar og miklar breytingar á straumhraðanum á mælingatímanum. Þarna eru að verki þrenns konar kraftar og skal þar fyrstan

nefna eðlisþyngdarstrauminn. Hann orsakast af dreifingu seltu og hita, þ.e. eðlismassa sjávar (1. rammí). Hann er að öllu jöfnu rólegur og veldur sjaldan miklum eða snöggu breytingum á hraða. Áhrif hans koma fram í heildarstraumnum. En þeir kraftar sem hér valda mestum breytingum eru sjávarföll og vindur. Til að kanna áhrif þeirra er venja að leysa straumvigurinn upp í tvo þætti, austur-vestur og norður-suður, og koma þá fram helstu einkenni straumsins (6. mynd):

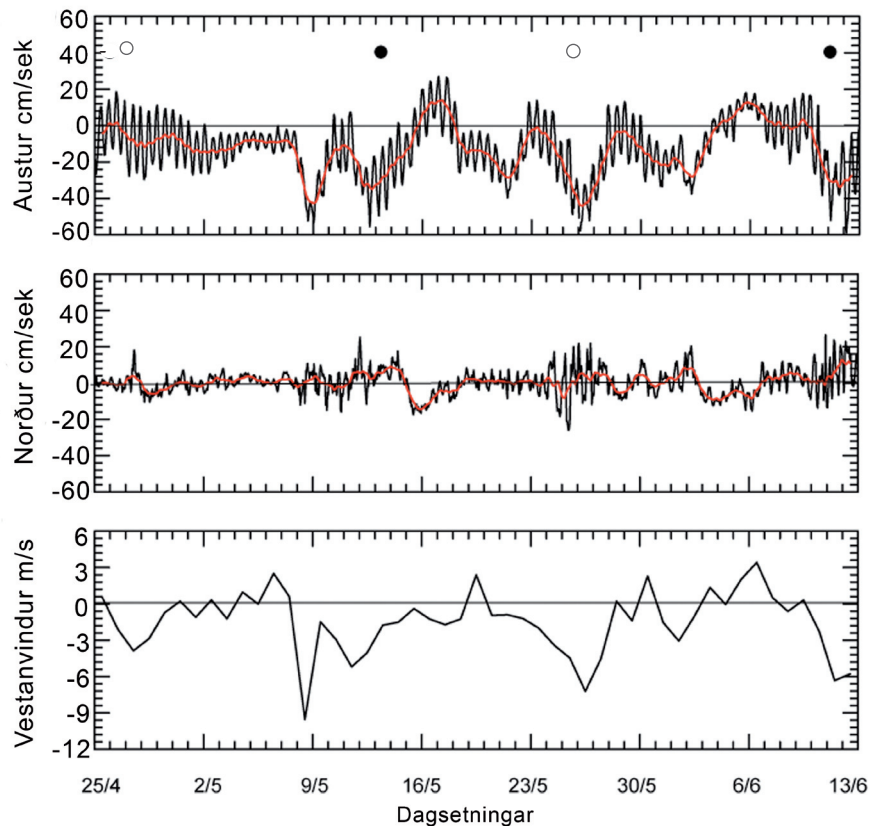
- a) Straumstyrkurinn er breytilegur og austur-vestur þáttur straumsins er miklu sterkari en norður-suður þátturinn. Straumurinn sveiflast með sjávarföllum flesta daga þannig að aðfallið styrkir straum til vesturs. Algengt er að ekki skipti föllum heldur dragi út fallið einungis úr vesturþættinum. Straumurinn er mestur þegar hann leggur til vesturs og náði 10 mínútna meðalgildi hans mest um 70 cm/sek.
- b) Sjávarfallasveiflurnar hverfa þegar reiknað er 25 stunda hlaupandi meðaltal klukkutíma straumgilda. Þá kemur fram að einungis á tveimur tímabilum var jafnaðarstraumurinn til austurs, um 17. maí í hægri norðanátt og um 6. júní í suðvestanátt.
- c) Vindar hafa mikil áhrif á straumstyrkinn. Þannig eykst straumhraðinn til vesturs með austlægum vindi, 8. og 26. maí, 11. og 12. júní.
- d) Heildartilfærsla sjávar framhjá straummælinum var á mælitímanum 516 km, nánast beint til vesturs. Það samsvarar 10,5 km/dag, sem er snöggtum meira en meðalstraumhraði á landgrunninu við Suðvesturland, en hann hefur verið áætlaður 5,9–7,8 km/dag.²

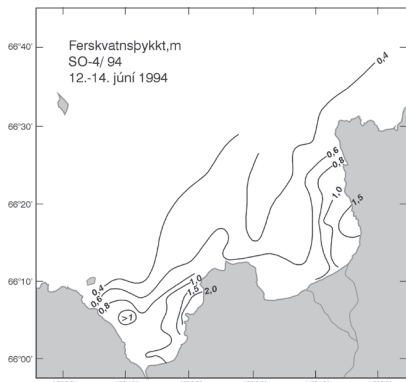
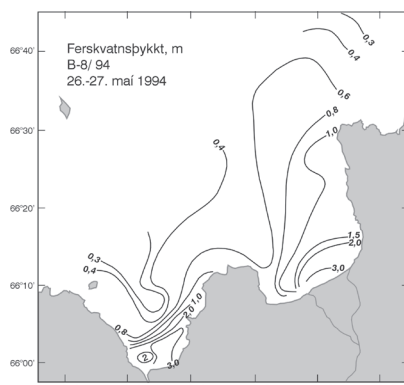
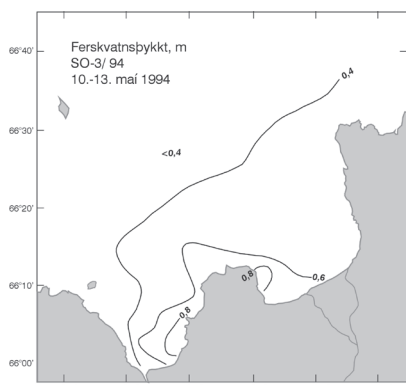
Miðað við fjarlægð frá ósum stórána, Þjórsár eða Ölfusár, benda þessar straummælingar til þess að vatn þaðan geti borist að



5. mynd. Krísuvíkursniðið 4. maí 1991 sem sýnir dreifingu hita, seltu og styrk uppleystu næringarefnanna kísils og nítrats.⁵ Ferskvatns-áhrifa gætir í sjó með seltu lægri en 35. Í þeim sjó hefur styrkur kísils og nítrats lækkað mjög vegna þörungagróðurs. Gráskyggða svæðið táknar botninn. – The Krísuvík transect, 4 May 1991, showing temperature and salinity distribution and the concentrations of the nutrients silicate and nitrate.⁵ Freshwater influence is seen where salinity is less than 35. The concentrations of silicate and nitrate have been strongly reduced by phytoplankton growth. The bottom is grey.

6. mynd. Austur-vestur og norður-suður þættir straumvigurs úr straummælingu suður af Krísuvíkurbjargi 25. apríl til 12. júní 1983. Rauðu ferlarnir sýna meðallags-straum reiknaðan sem 25 stunda hlaupandi meðaltal klukkustundar straumgilda. Ennfremur sjást dagsmeðaltöl vestur-austur vigurs vinds á Keflavíkurflugvelli á sama tímabili (austanvindur kemur fram sem -gildi). Tímar nýs og fulls tungls, stórstreymis, eru sýndir með ● og ○ – East-west and north-south vectors of the current observed south of Krísuvíkurbjarg 25 April – 12 June 1983. The red traces show 25-hour means of hourly current vectors. Also shown are the daily means of the west-east wind vector at Keflavík airport for the same period (easterly wind has a -value). The ● and ○ indicate new and full moons.





7. mynd. Ferskvatnsdreifing í þremur leið-
öngnum (SO-3, B-8 og SO-4) um Skjálfanda
og Axarfjörð vorið 1994, reiknuð á grund-
velli seltumælinga frá yfirborði til botns og
sett fram sem þykkt hreins ferskvatnslags.
– Freshwater distribution observed in three
cruises (SO-3, B-8, and SO-4) in Skjálfandi
and Axarfjörður in the spring of 1994,
calculated from salinity depth profiles and
expressed as the thickness of a freshwater
layer.

Krísuvíkursniðinu á aðeins 4–6 dögum, en ef straumhvirflar myndast eða vindar tefja vesturrennslið tekur flæðið vissulega lengri tíma.

Strandstraumsflæðið er „í skjóli“ fyrir norðanvindum á Krísuvíkursniðinu en þegar flæðið nálgast Reykjanestá aukast áhrif norðanvinda og einnig botnlögunar, sem hefur líka áhrif á aðra strauma svo sem sjávarfallastrauma. Af þessu hlýst aukin blöndun og vegna vinda kann strandsjórinn að dreifast og blandast mjög mikið, jafnvel berast um skeið suður með Reykjaneshryggnum austanverðum. Vestan Reykjaness herðist tak norðanvinda á flæðinu, eins og Faxaflóarannsóknirnar 1966–67 sýndu.²

Sjór við Norðausturland

Svipuð ferli eiga sér stað víðar við landið þar sem stórfljót ná til sjávar. Á tímabilinu mars–júní 1994 voru fjórir leiðangrar farnir til rannsókna á Skjálfanda og Axarfirði. Þetta verk var unnið fyrir Orkustofnun – Landsvirkjun til að kanna a) útbreiðslu ferskvatns sem

rekja mætti til vatnsfalla sem renna til Skjálfandaflóa og Axarfjarðar, b) áhrif ferskvatns á stöðugleika yfirborðssjávar og næringarefnabúskap og c) áhrif ferskvatns á vorkomu í svifi og dreifingu dýrasvifs og fiskeggja.^{7,8}

Á útmánuðum er sjórinn á landgrunninu fyrir Norðurlandi kaldur og oft einsleitur frá yfirborði og niður á talsvert dýpi. Seltan fer einkum eftir hlutdeild sjávar sem kominn er norðan úr höfum annars vegar og hins vegar hlutdeild hlýsjávar sem streymir norður vestan Íslands og inn á norðurmið. Meginstefna strauma á landgrunninu fyrir norðan er til austurs og þegar hlýsjór berst þar austur á bóginn fer hann um 5,5–7,5 km/dag.¹ Næst landi lækkar seltan vegna ferskvatns sem fellur til sjávar af landi og strandsjórinn berst sömuleiðis austur á bóginn. Ástand sjávar á Skjálfanda og Axarfirði tekur því breytingum vegna aðstreymis sjávar inn á svæðið vestan að og vegna streymis út af svæðinu austur fyrir Melrakkaslétu. Jafnframt breytast

eiginleikar sjávar þar vegna ferla innan svæðisins, svo sem upphitunar við hækkanði sól, ferskvatnsrennslis af landi (3. mynd), uppgufunar og úrkomu, og enn fremur vegna blöndunar af völdum vinda og strauma.

Ferskvatnsmagn á Skjálfanda og Axarfirði var metið af seltumælingum og reyndist mjög breytilegt (7. mynd).⁷ Á rannsóknatímanum tók rennsli af landi, þar með talið frá Skjálfandafljóti og Jökulsá á Fjöllum, miklum breytingum eftir vorleysingar. Vindar voru einnig með ýmsum hætti og niðurstöður athugana bentu til þess að bæði rennsli af landi og vindar á hverjum tíma ráði ferskvatnsmagni í Skjálfanda og Axarfirði. Viðstöðutími ferskvatns á hafsvæðinu var áætlaður 12–25 dagar.⁷

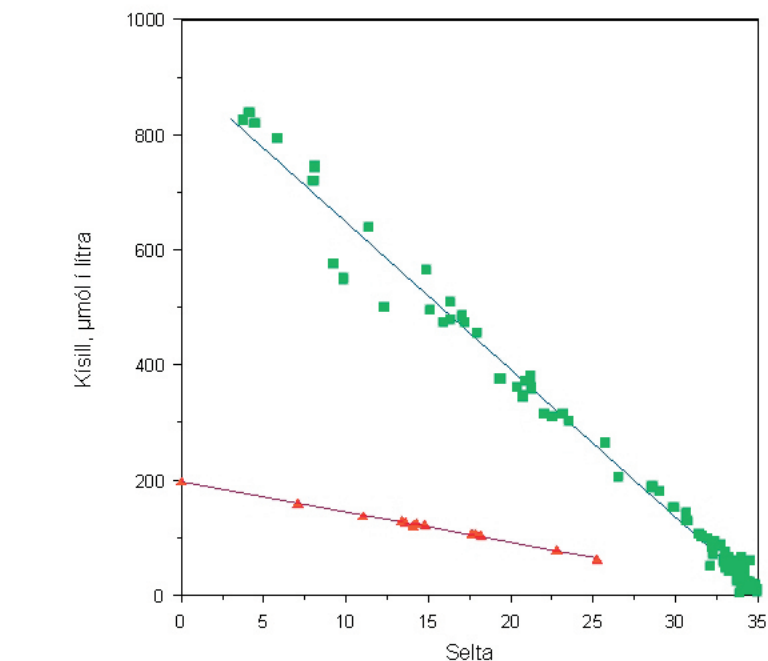
Annað sem kom fram í rannsókninni á Skjálfanda og Axarfirði varðar lagskiptingu sjávar, þ.e. hvort vegi þyngra á vorin til lækkunar eðlismassa yfirborðslagsins upphitun vegna inngeislunar sólar eða seltu-lækkun vegna ferskvatns (1. rammi). Mat á þessum þáttum í Skjálfanda og Axarfirði sýndi að eðlismassabreytingar vegna áhrifa blöndunar ferskvatns voru í heild margfalt meiri, þ.e. tvisvar til fimm sinnum meiri, en eðlismassabreytingar vegna upphitunar.⁷ Í raun á sér stað samþætt þróun þar sem ferskvatn eykur lagskiptingu sem dregur úr lóðréttri blöndun. Vaxandi varmaorka sjávar við hækkanði sól, hækkar hitastig meira í ferskvatnsblönduðum sjó en fjær landi þar sem orkuskipti milli lofta og sjávar ná dýpra vegna veikrar lagskiptingar og upphitun á flatareiningu dreifist á meira rúmmál.

Ferskvatnsmagn í sjónum hér við land og dreifing þess með dýpi er ráðandi um það hvernig háttað er lagskiptingu sem aftur ræður miklu um það hve snemma vors þörungablómi kviknar (2. rammi). Á hinn bóginn dregur sterk lagskipting mjög úr lóðréttri blöndun og þar með flæði næringarefna upp í yfirborðslagið, en vikið verður að því síðar.

NÆRINGAREFNI Í ÁRVATNI OG SJÓ

Með ánum berast bæði uppleyst efni og agnir til sjávar. Bergvatnsárnar eru tiltölulega tærar en jökulárnar gruggugar en gruggið er að langmestu leyti ólífrænt efni, bergmylsna. Hlutfall lífræns kolefnis í gruggögnum í jökulám er minna en 1%, en hlutfall lífræns efnis er meira í lindám sem renna úr stöðuvötnum og dragám, 1–3%.^{9,10} Hins vegar er algengt að stórflyót heimsins beri með sér bæði ólífræn uppleyst næringarefni og mikið af lífrænum leifum frá gróðurþöktum eða þéttbyggðum svæðum.¹¹ Það lífræna efni getur verið búbót fyrir sjóinn sem við tekur. Þegar á nær til sjávar og blandast söltum sjó hefst ýmis ferli, jafnt af ólífrænum og lífrænum toga, og athuga þarf bæði afdrif gruggsins og uppleystu efnanna í árvatninu. Gruggið dregur úr gegnsæi sjávarins og þar með ljósorku sem þörungar geta nýtt, en gruggið í jökulánum tekur fljótt að sökkva, stærstu agnirnar hraðast. Þannig skilst það frá uppleystu efnunum í árvatninu sem blandast sjónum og myndar yfirborðslag sem smám saman verður gegnsærra Vegna fínasta gruggsins, sem sekkur hægt, eða vegna svifþörunga má oft greina rennslisferla strandstraumsins af litbrigðum yfirborðsins (1. og 2. mynd).

Styrkur uppleystra næringarefna hefur verið rannsakaður allitarlega í mörgum íslenskum ám bæði á móbergs- og blágrýtissvæðum landsins.^{t.d. 16} Hér verður stuðst við



8. mynd. Uppleystur kísill við breytilega seltu og reiknaðar aðfallslínur við blöndun sjávar og vatns Skeiðarárhlaupsins mikla í nóvember 1996 (fernigar) og utan Þjörðsáróss vorið 1996 (þríhyrningar). – Dissolved silicate observed at variable salinity levels and linear regression lines for the great Skeiðarár Jökulhlaup in November 1996 (squares) and off the Þjörðsá river mouth in spring 1996 (triangles).

yfirlit um styrk næringarefna í ám og samanburð við sjó til að meta vægi ferskvatns sem næringarefnaforða fyrir strandsjóinn umhverfis landið (1. tafla).¹⁴ Fyrst má benda á hvað styrkur næringarefna í ám hér á landi er lágur í samanburði við það sem gerist á þéttbyggðum landbúnaðar- og iðnaðarsvæðum Evrópu. Styrkur fosfats í íslensku ánum er svipaður og í sjónum á landgrunninu en styrkur nítrats miklu lægri en í sjónum. Vegna efnaveðrunar er styrkur kísils í íslenskum ám og fljótum margfalt

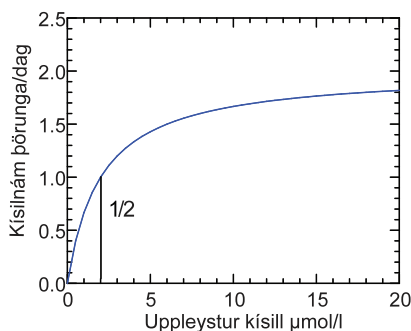
hærri en í fullsöltum sjó við landið. Á grundvelli þessa yfirlits og með hliðsjón af straumhraða á landgrunninu og blöndun árvatnsins við sjó var ályktað að vægi fosfats og nítrats sem berst með ánum væri almennt lítið fyrir næringarefnabúskap strandsvæða.¹⁴ Jafnvel minnkar styrkur nítrats við blöndunina. Öðru máli gegnir um uppleysta kísilinn frá ánum, sem eykur umtalsvert við forðann og kísilþörungar geta nýtt hann.

Það verða miklar breytingar á efnafræðilegu umhverfi þegar nær ferskt árvatn blandast söltum sjó. Þær sviptingar geta leitt til þess að snefilefni sem voru uppleyst í árvatninu falli út úr upplausn eða að efni tengd gruggögnum berist í upplausn. Þessi ferli skipta talsverðu máli fyrir vistkerfið, einkum ef styrkur efnanna hefur áhrif á vöxt og viðgang lífvera. Með mælingum á styrk uppleystra efna við breytilega seltu fást upplýsingar um það hvort uppleysing eða útfelling eigi sér stað (1. rammi, 4. mynd).

1. tafla. Ársmeðaltöl á styrk uppleystra næringarefna, µmol/l. – Annual means of nutrient concentrations, µmol/l.

	Íslenskar ár ¹⁴ – Iceland rivers	Sjór á íslenska landgrunninu ¹⁴ – Iceland shelf sea water	Fljót og ár við Norðursjó * – North Sea rivers
Fosfat – Phosphate	0,61	0,7	4–8
Nítrat – Nitrate	2,7	9,5	50–200
Kísill – Silicate	201	5	

* Algengustu gildi margra mælistaða eru á þessu bili.¹⁵ – Results from many sites are commonly in this range.¹⁵



9. mynd. Dæmi um vaxtarhraða kísilþörunga, kísilnám, við breytilegan styrk uppleysts kísils þegar önnur næringarefni skortir ekki. Við kísilstyrk 2 $\mu\text{mol/l}$ er vaxtarhraðinn helmingur hámarksvaxtar.²⁴ – An example of diatom growth rate at variable amounts of dissolved silicate when other nutrients are not lacking. At dissolved silicate concentration of 2 $\mu\text{mol/l}$, the growth rate is half the maximum rate.²⁴

Í Skeiðarárhlaupinu mikla í nóvember 1996 var styrkur uppleysts kísils óvenjuhár og aurburður mikill.^{12,13} Blöndunarsvæði hlaupsins náði langt til hafs og vestur með suðurströndinni. Mælingar á uppleystum kísil í sjónum þar bentu einfaldlega til beinna blöndunaráhrifa, þ.e. að útfelling eða uppleysing hefði ekki marktæk áhrif á styrk-

inn (8. mynd). Þessi hegðan kísils frá íslenskum ám hefur áður komið fram við eðlilegt rennsli og aurburð, t.d. utan ósa Þjórsár og Ölfusár, þar sem ferskvatn með kísilstyrk á bilinu 200–250 $\mu\text{mol/l}$ berst til sjávar^{14,17} (8. mynd), sem og á Skjálfanda og Axarfirði.⁷ Tilraunir á rannsóknastofu með sjó og grugg hafa sýnt uppleysingu kísils úr gruggi.¹³ Athuganir á blöndunarsvæðum sýna þó að það er ekki alltaf hægt að heimfæra niðurstöður úr rannsóknastofu yfir á það sem gerist í hafinu. Þar eð vöxtur og vaxtarhraði kísilþörunga er háður styrk uppleysts kísils ef nóg er af öðrum næringarefnum (9. mynd), er ljóst að jökulárgruggið er ekki forði sem nýtist þeim beint. Uppleysti kísillinn í árvatninu er það hins vegar og hann stuðlar að kísilþörungavexti í strandsjónum á sumrin þegar uppleystur kísill er genginn til þurrðar í fullsöltum sjó utar á landgrunninu.¹⁸

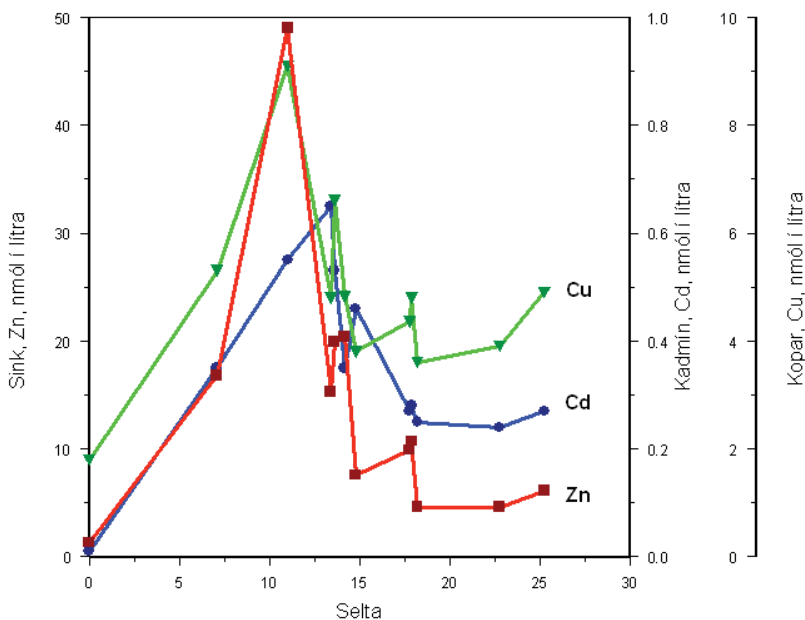
Dæmi eru vissulega um að efni berist í upplausn úr jökulárgrugginu þegar það berst til sjávar (10. mynd). Mikill munur var á styrk snefilmálmanna, kadmíns, kopars og sinks, utan Þjórsáróss en sam-

eiginlegt fyrir málmana þrjá var að styrkur hvers þeirra náði hámarki þegar blanda árvatns og sjávar var um það bil 1:3 (10. mynd).¹⁷ Í sömu rannsókn komu fram vísbendingar um að gruggið hefði áhrif til lækkunar á fosfatstyrk, en það atriði þarfnast nánari rannsókna.

VÖXTUR OG NÆRINGAR-EFNAÞÖRF SVIFÞÖRUNGA

Myndun lífræns efnis úr ólífrænu við frumframleiðni þörunga er undirstaða fæðuvefs sjávar og þar með frjósemi hafsvæða. Að ýmsu leyti er frumframleiðni í hafinu með öðru sniði en á þurrlendi. Þurrlendisjurtir eru rófstar, sækja næringarefni úr jarðvegi með rótum sem binda þær við staðinn og trefjaríkar stoðir halda þeim upp móti birtunni. Talsverður hluti frumframleiðninnar fer í þessa uppbyggingu. Í sam-anburði eru svifþörungar örsmáir, þeir færast til með sjónum og taka næringarefni beint gegnum frumveggi, og framleiðnin fer mest í vöxt og myndun próteinríks vefjar sem dýrasvif nýtir ört. Vöxturinn er hraður, lífskeiðið aðeins nokkrir dagar og veltan í þörungalífsmassanum mikil. Nokkur frumskilyrði eru fyrir vexti svifþörunga hér norðarlega í Atlantshafi (2. rammi).

Á okkar slóðum er birtan árstíðabundin og auk þess nýtur aðeins tiltölulega þunnt yfirborðslag birtunnar, hún dofna ört með vaxandi dýpi. Eftir vorjafndægur lengir daginn hratt en sjórinn á landgrunninu er þó yfirleitt gróðursnauður þar til annaðhvort upphitun ellegar lægri selta veldur lækku eðlismassa og stöðugt yfirborðslag myndast (1. rammi). Hér við land er það yfirleitt ekki fyrr en í síðari hluta maí sem upphitun ein leiðir til lagskiptingar en lagskipting vegna yfirborðsseltu verður annaðhvort af bráðnun íss eða íblöndun ferskvatns sem berst til sjávar. Lagskipting verður því í strandsjó en hversu sterk og útbreidd hún er fer eftir aðstæðum. Ljóst er þó að lagskipting myndast mun fyrr á vorin vegna seltu en upphitunar og þannig skapast



10. mynd. Styrkur uppleysts kadmíns, kopars og sinks á blöndunarsvæði árvatns og sjávar utan Þjórsáróss vorið 1996. – Dissolved cadmium, copper and zinc concentrations observed in the river water/sea water mixing zone off the Þjórsá river mouth in spring 1996.

2. rammi Vaxtarskilyrði þörunga hér við land

Þörungavöxtur er háður ýmsum umhverfisþáttum. Eftirtalin atriði ráða miklu um vöxt norðarlega í Atlantshafi þar sem árstíða-breytingar eru verulegar.

1. Birta, árstíðabundin og einungis yfirborðslagið nýtur hennar.
2. Hæfilega lagskiptur sjór svo svifþörungar í vexti haldist þar sem birtu nýtur fremur en að berast niður í myrkrið við lóðréttu blöndun.¹⁹
 - Vegna lægri seltu í yfirborði en dýpra.
 - Vegna upphitunar yfirborðslagsins.
3. Uppleyst næringarefni, sem eru snefilefni og þau geta gengið til þurrðar:
 - Fosfat og nítrat, sem allir þörungar þurfa.
 - Kísill, sem er kísilþörungum nauðsynlegur.
4. Er næringarefnin þrýtur í yfirborðslagi kunna þau að endurnýjast:
 - Með láréttu flæði, straumum, ferskvatnsflæði og loftbornum leysanlegum efnum.
 - Með lóðréttu flæði, öldur, rastir.
 - Við niðurbrot lífrænna leifa.

hagstæðar aðstæður á Suðvesturmiðum fyrir gróðurkomu, svifþörungavöxt.²⁰ Þá hefst gróðurskeið sem er nefnt vorblómi þörunga, þeir vaxa hratt og næringarefnastyrkur fellur og lágur styrkur veldur að lokum því að það hægir á vextinum og blómanum hnignar. Vorblóminn tekur aðeins 10–14 daga á hverjum stað, hann hefst almennt fyrst á grunnslóð en færir svo út eftir landgrunninu þegar líður á vorið.²¹ Eftir vorblómanna verður lagskiptingin, sem var forsenda blómans, að hindrun fyrir lóðréttu blöndun sem gæti fært næringarefnaríkan sjó upp í yfirborðslagið. Þau ferli sem getið er í fjórða lið 2. ramma hafa því mikil áhrif á það hver heildarframleiðni ársins verður.

Við frumframleiðni og öndun í hafinu verða breytingar á styrk súrefnis, koltvíoxíðs og næringarefna (3. rammi). Rannsóknir á efnasamsetningu þörunga og breytingum sem verða á styrk efna í upplausn við vöxt þeirra og rotnun hafa

leitt í ljós að efnasamsetning þeirra er í allföstum skorðum í heimshöfunum. Hlutföll breytinga á fjölda atóma af kolefni, nitri og fosfór (C:N:P) við frumframleiðni eru því sem næst 106:16:1. Þessi hlutföll eru kennd við Alfred C. Redfield sem lýsti þeim 1934.

Á grundvelli þeirra er unnt að setja fram efnajöfnu (3. rammi) sem lýsir tillífun og niðurbroti sem efnafarlum og þar með magnbundinni bindingu á kolefni og nýtingu á næringarefnunum fosfati og nitrati.

2. tafla. Hiti, selta og næringarefnastyrkur, $\mu\text{mól/l}$, að vetrarlagi í sjó undan Krísuvíkurbjargi og í ám sem falla til sjávar á suðurströndinni. – Winter temperature, salinity and nutrient concentrations, $\mu\text{mól/l}$, of sea water south of Krísuvíkurbjarg and of south coast rivers.

	Hiti °C – Temp.	Selta – Salinity	Fosfat – Phosphate	Nítrat – Nitrate	Kísill – Silicate
Sjór, feb.–mars * – Sea water, Feb.–March	5,77 ± 0,45	35,10 ± 0,04	0,94 ± 0,03	14,55 ± 0,31	7,99 ± 0,72
Árvatn, suðurströnd ¹⁴ – South coast rivers		0	0,99	5,5	216

* Um 270 mælingar á sjó ofan 100 m dýpis og með seltu >35,0 – Around 270 sea water samples from less than 100 m depth and with S>35,0.

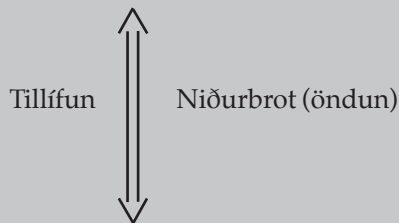
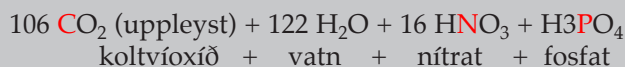
Redfield-hlutföllin eru mikilvægt verkfæri við mat á niðurstöðum mælinga á næringarefnum sem gerðar eru í vistkerfum hafsins. Aður en aðstæður hér við land eru skoðaðar í þessu ljósi er rétt að minnast þess að næringarefnin fosfat, nítrat og kísill eru snefilefni í sjó og að styrkur þeirra getur orðið afar lágur og sett þörungavexti takmörk. Þau eru því nefnd takmarkandi næringarefni. Hér við land er ekki óalgengt að styrkur kísils verði vart mælanlegur eftir vorblóma kísilþörunga. Sömuleiðis lækkar nítratstyrkur niður í ómælanlegan styrk á sumrin þegar lagskipting er sterk. Þörungar þurfa fleiri snefilefni en fosfat, nítrat og kísil til að vaxa, t.d. afar lítið af járn. Engar áreiðanlegar athuganir hafa verið gerðar á styrk járn í sjó við landið, en ólíklegt verður þó að telja að járnskortur takmarki þörungavöxt á strandsvæðum við Ísland. Hins vegar eru stór hafsvæði á suðurvæli þar sem talið er að járnskortur takmarki frumframleiðni og tilraunir með áburðargjöf hafa bent til þess.²⁵

STRANDSJÓRINN VIÐ SUÐVESTURLAND

Úr því sem fram kemur í 1.–3. ramma um ólífræn og lífræn ferli má gera sér verkfæri til að meta grunnþætti vistkerfa strandsjávar. Úr rannsóknum á hrygningar- og klakslóð undan Suðvesturlandi verður hér lýst niðurstöðum frá árunum 1983, 1990, 1991 og 1992 af sniðinu suður af Krísuvíkurbjargi sem fyrr var fjallað um (1. mynd). Athuganirnar ná yfir

3. rammi Breytingar á styrk næringarefna við frumframleiðni (vöxt) þörunga og niðurbrot lífræna þörungaleifa

Frumframleiðni svifþörunga og síðar niðurbroti eða rotnun lífræns efnis má lýsa með efnajöfnu:



þörungavefur + súrefni

Hlutfallslegar breytingar á styrk efna í upplausn miðað við atóm af kolefni (C), nitri (N) og fosfór (P), kenndar við Redfield:

$$\Delta\text{C}:\Delta\text{N}:\Delta\text{P} = 106 : 16 : 1.^{22}$$

Kísilþörungar mynda skel og þurfa uppleystan kísil til þess, auk fosfórs og niturs. Í hreinum kísilþörungablóma er algengt að hlutfallslegar breytingar á styrk kísils og nítats í upplausn séu $\Delta\text{Si}:\Delta\text{N} = 1.^{23}$

tímann frá febrúar til fyrri hluta júní og eru byggðar á mælingum á um 1400 sjósýnum. Í febrúar–mars er dæmigert vetrarástand í fullsalta sjónum sem berst inn á landgrunnið og styrkur næringarefna er í árlegu hámarki og á þröngu bili (2. tafla).

Af upplýsingum um styrk þeirra í fullsöltum sjó og í ánum sem falla til sjávar á suðurströndinni má áætla næringarefnastyrk sem ætti að vera í ferskvatnsblönduðum en þörungasnauduðum sjó þegar seltan er þekkt og gert er ráð fyrir því að blöndun sé línuleg (1. rammi). Þannig fást þrenn línuleg tengsl fyrir styrk næringarefnanna kísils (Si), nítats (NO_3) og fosfats (PO_4) við breytilega seltu (S):

$$\text{Si } \mu\text{mól/l} = 216 - 5,93 * \text{S}$$

$$\text{NO}_3 \mu\text{mól/l} = 5,50 + 0,258 * \text{S}$$

$$\text{PO}_4 \mu\text{mól/l} = 0,99 - 0,00142 * \text{S}$$

Með vorkomu í sjónum og frumframleiðni þörunga eykst vægi líf-efnaferla og styrkur næringarefnanna tekur að lækka (3. rammi). Af mælingum frá þeim tíma má áætla hve mikið af næringarefnunum sé búið að nema úr upplausn og binda í þörungavef:

$$\text{Si þörungar} = (216 - 5,93 * \text{S}) - \text{Si mælt}$$

$$\text{NO}_3 \text{ þörungar} = (5,50 - 0,258 * \text{S}) - \text{NO}_3 \text{ mælt}$$

$$\text{PO}_4 \text{ þörungar} = (0,99 - 0,00142 * \text{S}) - \text{PO}_4 \text{ mælt}$$

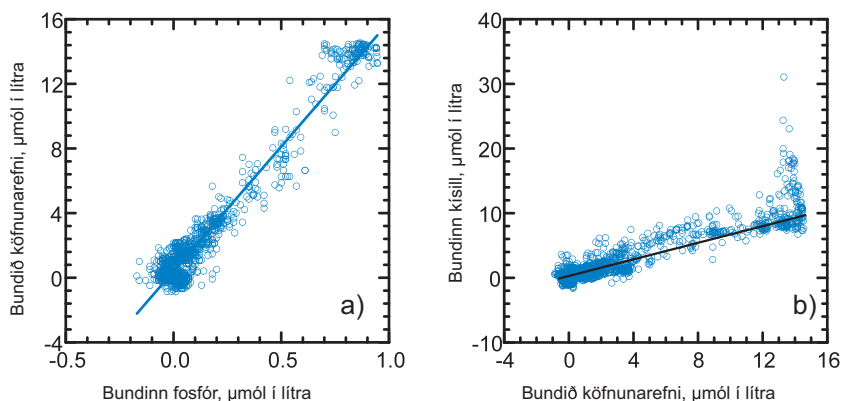
Með þessu móti fæst mat á nettó-upptöku næringarefna við þörungavöxt því niðurbrot, öndun, á sama tíma er ekki aðgreint. Hvað kísillinn varðar er endurnýjunin sennilega hverfandi lítil því kísillinn er bundinn í skeljum kísilþörunga og þær leysast hægt upp.²⁶

Þegar þessum jöfnum er beitt á gögnin af Krísuvíkursniðinu kemur fram að hlutfallsleg upptaka á nítati og fosfati, $\Delta\text{P}:\Delta\text{N}$, er 1:15,4

(11. mynd), sem er nálægt Redfield-gildinu 1:16 og í samræmi við það sem fram hefur komið í hafinu hér við land.^{14,27} Einnig kemur fram (11. mynd) að hlutfallsleg breyting á kísil og nítati, $\Delta\text{Si}:\Delta\text{N}$, er 0,705. Þar sem þetta hlutfall er lægra en 1 gefur það til kynna að aðrir flokkar þörunga en kísilþörungar séu einnig að vaxa og nýta nítat (3. rammi).

Það er sérstaklega eftirtektarvert hve fljótt þörungar vaxa og nýta uppleysta kísilinn þannig að nánast ekkert verður eftir í upplausn í yfirborðslaginu (5. og 11. mynd). Það virðist vera breytilegt frá ári til árs hvenær vorblómi þörunga hefst á svæðinu suður af Krísuvíkurbjargi. Þannig hefur hann byrjað fyrr 1991 en hin árin tvö, svo sem fram kemur af mælingum á bindingu kísils (12. mynd). Það er hins vegar ekki ljóst af þessum gögnum hvað veldur þeim breytileika. Augljóslega hefst þörungavöxtur fyrr nyrst á sniðinu, þar sem lagskiptingar af völdum ferskvatns gætir, en syðst á því, úti í fullsöltu hafinu, eins og áður hefur komið fram.²⁰

Athuganir á Krísuvíkursniðinu, sem er um 45 km frá Ölfusárósi og 65 km frá Þjórsárósi, sýna enn og aftur að ferskvatn hefur áhrif á vorkomu í hafinu undan ströndum landsins. Jafnframt er ljóst að uppleystur kísill í árvatninu er mikilvægt framlag í næringarefnabúskap strandsvæða og að á gróður-tímanum nýta svifþörungar kísilinn á tiltölulega stuttum tíma. Af þessum gögnum má ætla að viðstöðutími uppleysts kísils sem berst til sjávar á vorin sé fáir dagar, e.t.v. aðeins vika, áður en hann er lífrænt bundinn. Þess vegna hefur árvatn mótagandi áhrif á frumframleiðni og tegundasamsetningu svifþörunga, grunnvistkerfa, á svæðum sem eru tiltölulega afmörkuð hvað varðar fjarlægð frá árósum. Önnur áhrif árvatnsins á eiginleika sjávar, lagskiptingu og blöndun, ná lengra og eru áfram fyrir hendi þótt uppleysti kísillinn sé uppurinn. En



11. mynd. a) Reiknuð binding á fosfór og nitri í lífrænt efni við ljóstillífun. Byggt á 1135 sýnum af sjó úr athugunum á Krísvíkursniði árin 1983, 1990, 1991 og 1992. Hallatala aðfallslínunnar er 15,4 og $r^2 = 0,953$. b) Reiknuð binding niturs og kísils. Byggt á 1384 sýnum úr sama efniviði og a) en aðfallslína reiknuð fyrir kísilstyrk minni en 15 μmol í lítra. Hallatala aðfallslínunnar er 0,708 og $r^2 = 0,881$. – a) Calculated photosynthetic assimilation of phosphorus and nitrogen into organic matter. Based on 1135 samples from the Krísvík transect from 1983, 1990, 1991 and 1992. The regression line has a slope of 15.4 and $r^2 = 0.953$. b) Calculated assimilation of nitrogen and silicon. Based on 1384 samples from the same stations as in a) but regression line calculated for silicate concentrations < 15 $\mu\text{mol/l}$. The regression line has a slope of 0.708 and $r^2 = 0.881$.

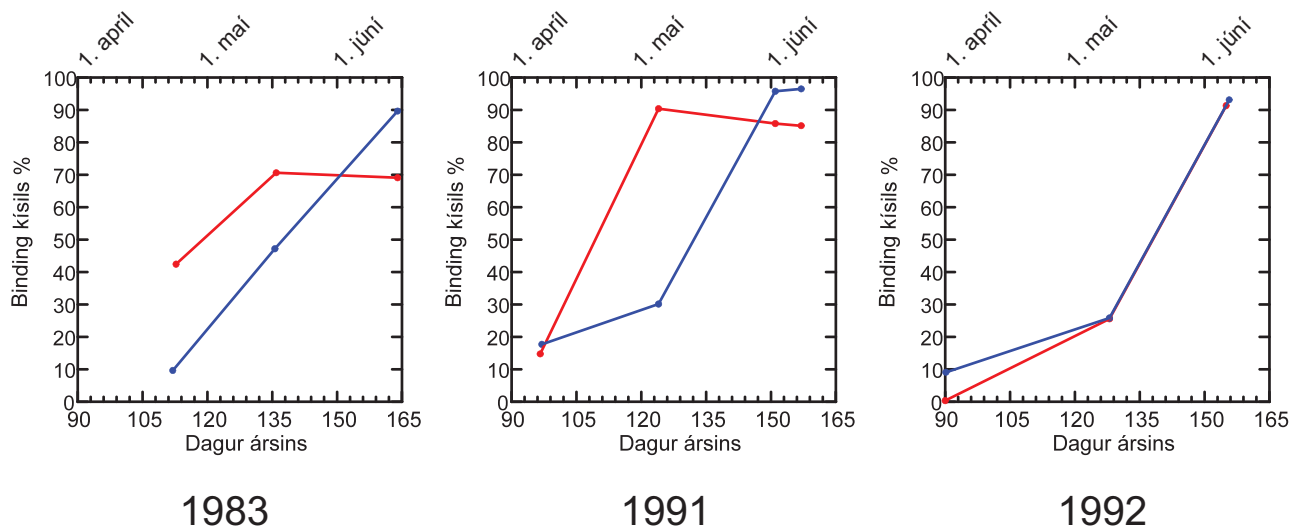
hægt og bítandi dregur þó úr þeim með blöndun og dreifingu.

FISKURINN OG VORIÐ

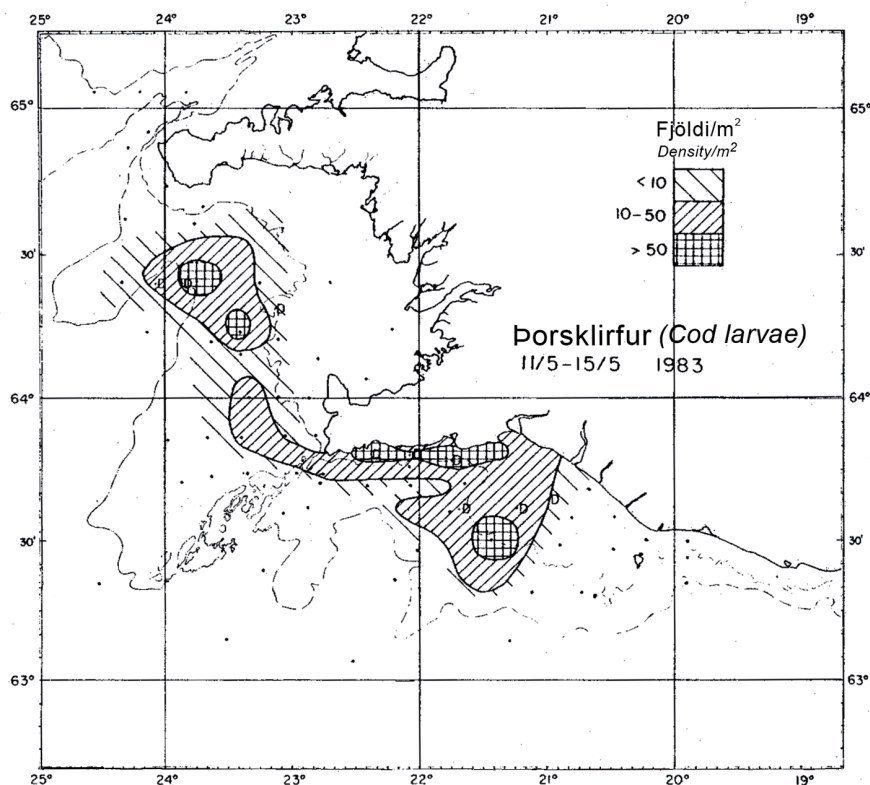
Um hávetur, þegar skammdegi ríkir og blöndun í hafinu við landið er mikil vegna kælingar og vinda, er nánast enginn svíförungagróður

né frumframleiðni. En vorið kemur fyrir í sjónum en á landi, birta vex ört eftir vorjafndægur og þá fer lagskipting að skipta máli. Á suðvestursvæðinu eru mikilvægar hrygningarstöðvar margra nytjastofna, t.d. þorsks, ýsu, loðnu, ufsa og síldar. Hrygningarstöðvar þorsksins eru víða á Suður- og Suðvesturmiðum. Ákveðin svæði

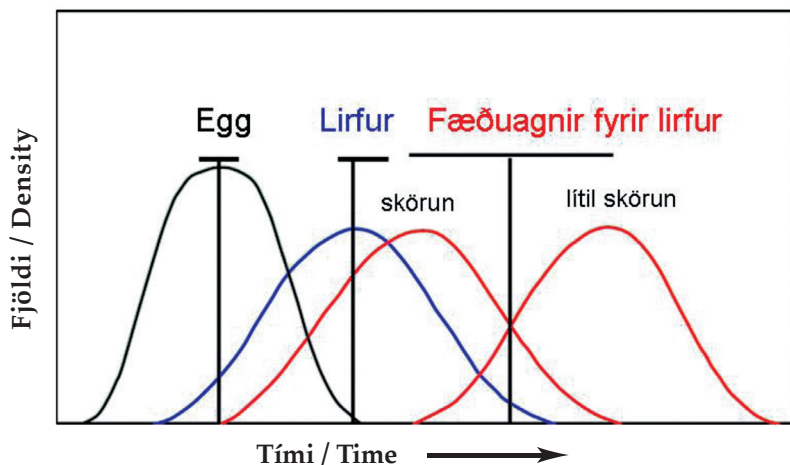
grunnt á Selvogsbanka og við suðurströndina hafa nokkra sérstöðu, því þar hrygnir stærsti fiskurinn og framlag stórra hrygna er talið vænt hvað varðar gæði hroga og fjölda.^{28,29} Ennfremur hefst hrygning snemma vors hjá stóru hrygnunum, um miðjan mars, og stendur lengur en hjá smáhrygnunum. Rannsóknir á magni og dreifingu nýgotinna eggja þorsks og ýsu sýna að á hrygningartímanum er mikið af þeim í ferskvatnsblönduðum sjó.³⁰ Athuganir í maí 1983 bentu til þess að þau reki fyrir straumi vestur með Reykjanesi sunnanverðu og inn á Faxaflóa þar sem myndarlegur flekkur af nýklöktum lirlfum fannst (13. mynd).³¹ Á þessu lífskeiði er dreifing lirlfanna háð ytri öflum, straumum og blöndun. Aðeins lítill hluti þorskhroga klekst og verður að lífvænlegum lirlfum³² og örlítið brot af þeim verður að 3ja ára fiski, en við þann aldur kemst þorskurinn inn í bókhald um árgangastyrk og stofnstærð.³³ Fjölmargir þættir og samspil þeirra geta haft áhrif á það hvernig til tekst á fyrstu mánuðum í ævi þorskfiska, þegar afföll eru mikil og fjöldi einstaklinga í árganginum fær á sig mynd. Stærð og aldursamsetning hrygningarstofnsins vegur þar eflaust þungt²⁸ en



12. mynd. Reiknuð binding kísilþörunga sem % af uppleystum kísil í efstu 15 m sjávar á Krísvíkursniði. Tímabilið er frá 1. apríl til miðs júní vorin 1983, 1991 og 1992. Rauðu ferlarnir eru ferskvatnsblandaður sjór, $S < 35,0$, en bláu ferlarnir fullsaltur sjór, $S > 35,0$. – Silicate uptake by diatoms calculated as % of available dissolved silicate in the 15 m surface layer of the Krísvík transect. The observation period is from 1 April to mid-June in the springs of 1983, 1991 and 1992. Red traces are for freshwater influence, $S < 35$, and the blue traces for undiluted seawater, $S > 35$.



13. mynd. Dreifing og fjöldi nýklakinna þorsklirfa suðvestanlands 11.–15. maí 1983.²⁵ Birt með heimild. – Distribution and newly hatched cod larvae southwest of Iceland 11–15 May 1983.²⁵ Printed with permission.



14. mynd. Eftir hrygningu og klak eru meiri líkur til þess að fjöldi lirfa hefji fæðunám og verði lífvænlegur ef tími framboðs á fæðuögnum skarast við tímann þegar flestar lirfur eru að klára kviðpokaforðann og verða að afla sér fæðu. Endurgert eftir Cushing.³⁴ – After spawning and hatching the likelihood for larvae survival increases if the time of yolk sac depletion and first feeding matches with a period of high food particle availability. Redrawn from Cushing.³⁴

aðstæður í umhverfinu gera það einnig. Umhverfisaðstæður geta til dæmis snúist um það hvort hentug fæða sé í boði þegar kviðpoka-stigi er að ljúka og lirfan verður að rekast á og innbyrða fæðuagnir eða veslast upp. Þetta örlagaríka skeið er í brennidepli „match/mismatch“-kenningarinnar um að þá ráðist árgangstyrkurinn (14. mynd).^{34,35} Það er einnig talið skipta máli hvort straumar og blöndun flytji lirfurnar til hentugra uppeldisstöðva eða eitt-hvað annað. Afrán og samkeppni um fæðu kemur einnig við sögu. Könnuð hefur verið tölfræðileg fylgni nýliðunar í þorskstofninum við stærð hrygningarstofsins og ýmsa umhverfisþætti í hafinu hér við land. Niðurstöðurnar eru þær að auk stærðar hrygningarstofsins skýri ferskvatnsmagn í strandsjónum við Vesturland að vorlagi breytilega nýliðun fremur en aðrir umhverfisþættir.^{6,36} Þótt aðeins um 30% breytileika í nýliðun skýrist af þessum tveimur þáttum bendir þetta til vistfræðilegra orsakatengsla. Í ferskvatnsblandaða strandsjónum eru meiri líkur á heppilegu fæðuframboði en utar á landgrunninu³⁰ og strandstraumurinn flytur egg og lirfur í átt til uppeldisstöðva.

Það er markmið fiskveiðiráðgjafar Hafrannsóknastofnunarinnar að hrygningarstofn þorsksins stækki og að hluti stórþorsks í aldurs/stærðarsamsetningu stofnsins aukist.³³ Því hafa hrygningarsvæði til dæmis verið friðuð 10–14 daga á vorin um það leyti sem hrygning er talin vera í hámarki.³⁷ Það eru gildar ástæður til þess að huga einnig að strandsjónum og vistkerfi hans og auka þekkingu á þeim breytilegu ytri aðstæðum sem hafa þar áhrif, veðurfari og rennsli með vatnsföllum til sjávar. Það kann að vera mikilvægt að varast breytingar á vatnsföllum sem geta raskað framleiðslugetu strand-svæða eða leitt til rýrnunar á verðmætum sem þar verða til. Til þess þarf þekkingu byggða á rannsóknnum.

LOKAORÐ

Þegar ferskvatn berst til sjávar og blandast honum verða eðlis- og efnaeiginleikar blöndunnar þannig að þennan sjó má glöggst greina frá fullsöltu úthafinu og er hann nefndur strandsjór. Yfirlit úr ýmsum rannsóknum hér við land sýnir að strandsjórinn berst réttssælis um landið með strandstraumi og straumhraðinn er meiri en utar á landgrunninu. Ferskvatn lækkar eðlis massa sjávar og því verður lagskipting í strandsjó sem skiptir máli við uppaf gróðurtíma í sjónum á vorin. Vindar hafa mikil áhrif á strandstrauminn og blöndum strandsjávar. Með ferskvatni berast efni til sjávar bæði uppleyst og sem grugg. Svifþörungar, grunnur vistkerfa hafsis, þurfa ýmis efni til að vaxa og uppleystur kísill sem berst með árvatni er mikilvæg viðbót í næringarefnabúskap strandsjávar og stuðlar að vexti kísilþörungum. Vöxtur kísilþörungum getur verið mjög ör á vorin og á grunnslóð við Suðurland gengur uppleystur

kísill frá ánum til þurrðar á fáum dögum og þannig hefur árvatnið mótandi vistkerfisáhrif á afmörkuðum svæðum. Ár sem falla til sjávar á suðurströndinni hafa áhrif á frumframleiðni á svæðum sem eru jafnframt hrygningarslóð margra mikilvægra nytjastofna. Athuganir benda til tölfræðilegrar samsvörunar milli árgangastærða og ferskvatnsmagns í sjó að vorlagi. Vistfræðilega kann grunnur þessarar samsvörunar að vera sá að fæðuframboð á lægstu þrepum vistkerfisins á strandsvæðum tengist ferskvatnsrennsli af landi. Það kann síðan að hafa mikil áhrif ofar í fæðukeðjunni og jafnvel á viðkomu þeirra nytjastofna sem hrygna á landgrunninu.

SUMMARY

Freshwater discharge into the sea influences physical and chemical properties and thus characterizes coastal water distinctly from open ocean waters. Various studies conducted around Iceland have shown that the coastal water flows clockwise with a

coastal current with higher velocities than in the current further out on the shelf. Freshwater admixture lowers the seawater density and induces stratification, which favours onset of phytoplankton growth. Winds have strong influence on the coastal current and mixing in the coastal water. The river water discharged into the sea carries both dissolved and suspended materials. Dissolved silicate is a significant contribution to the coastal water nutrient budget and it enhances the growth of siliceous plankton, the diatoms. The springtime utilization of dissolved nutrients is very rapid and off south Iceland the river borne silicate is depleted from solution in relatively few days and the high river associated productivity is thus regionally distinct. The same regions are also spawning grounds for important commercial fish species. Statistical associations have been shown to be between year-class strength of cod and the amount of freshwater in the sea in the spring. Ecologically these associations can be related to a higher probability of food for larvae in the coastal water.

ÞAKKIR

Við þökkum starfsfólki á Hafrannsóknastofnuninni fyrir samstarf í þeim verkefnum sem hér er fjallað um. Einnig þökkum við Ingibjörgu Jónsdóttur, landfræðingi við Háskóla Íslands, fyrir aðstoð við vinnslu 1. og 2. mynda.

HEIMILDIR

- Jickells, T.D. 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science* 281. 217–222.
- Unnsteinn Stefánsson 1999. Hafið. 2. útgáfa. Háskólaútgáfan, Reykjavík. 480 bls.
- Unnsteinn Stefánsson & Guðmundur Guðmundsson 1978. The freshwater regime of Faxaflói, southwest Iceland, and its relationship to meteorological variables. *Estuarine and Coastal Marine Science* 6. 535–551.
- Unnsteinn Stefánsson 1994. Haffræði II. Háskólaútgáfan, Reykjavík. 541 bls.
- Schlitzer, R. 2007. Ocean data view. <http://odv.awi.de> (skoðað 26.02.08).
- Jón Ólafsson 1985. Recruitment of Icelandic haddock and cod in relation to variability in the physical environment. *ICES C.M.* 1985/G:59. 10 bls.
- Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig R. Ólafsdóttir & Jóhannes Briem 2002. Ferskvatnsáhrif í sjó við Norðausturland að vorlagi. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit nr. 86.
- Konráð Þórisson 1994. Ferskvatnsáhrif á strandsvæðum fyrir Norðausturlandi: Fiskasvif. Skýrsla til Orkustofnunar/Landsvirkjunar.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jónunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, Einar Örn Hreinsson, Torssander, P., Niels Örn Óskarsson & Oelkers, E.H. 2004a. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Austurlandi, V. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, RH-05-2004. 101 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen, Jónunn Harðardóttir, Ásgeir Gunnarsson, Einar Örn Hreinsson & Torssander, P. 2004b. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, VII. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, RH-06-2004. 40 bls.
- Chen, C.-T.A. & Wang, S.-L. 1999. Carbon, alkalinity and nutrient budgets on the East China Sea continental-shelf. *J. Geophys. Res.* 104(C9). 20675–20686.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Hrefna K. Kristmannsdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Peter Torsander, Jón Ólafsson, Castet, S. & Durpé, B. 2002. Effects of volcanic eruptions on the CO₂ content of the atmosphere and the oceans: the 1996 eruption and flood within the Vatnajökull Glacier, Iceland. *Chemical Geology* 190. 181–205.
- Mattildur B. Stefánsdóttir & Sigurður Reynir Gíslason 2005. The erosion and suspended matter/sea-water interaction during the 1996 outburst flood from the Vatnajökull Glacier, Iceland. *Earth and Planetary Science Letters* 237. 433–452.
- Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar* 12(3). 1–56.
- Crouzet, P., Leonard, J., Nixon, S., Rees, Y., Parr, W., Laffon, L., Bogestrand, J., Kristensen, P., Lallana, C., Izzo, G., Bokn, T. & Bak, J. 1999. Nutrients in European ecosystems. Í: *Environmental assessment report* (ritstj. Thyssen, N.). European environment agency, Copenhagen. 156 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Stefán Arnórsson & Halldór Ármannsson 1996. Chemical weathering of basalt in SW Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science* 296. 837–907.
- Sólveig R. Ólafsdóttir & Jón Ólafsson 1999. Input of dissolved constituents from River Þjórsá to S-Iceland coastal waters. *Rit Fiskideildar* 16. 79–88.
- Agnes Eydal & Sólveig R. Ólafsdóttir 2007. Sjór og svifgróður í Mjóafirði. Náttúrufræðingurinn 75(1). 51–59.
- Sverdrup, H.U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *Journal du Conseil* 18(3). 287–295.
- Þórunn Þórðardóttir 1986. Timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í: *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems* (ritstj. Skreslet, S.). Springer Verlag, Berlin Heidelberg. Bls. 345–360.
- Þórunn Þórðardóttir & Unnsteinn Stefánsson 1977. Productivity in relation to environmental variables in the Faxaflói region 1966–1967. *ICES C.M.* 1977/L:34. 26 bls.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. & Richards, F.A. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. Í: *The Sea* (ritstj. Hill, M.N.). Interscience Publishers. Bls. 26–77.
- Brzezinski, M.A. 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol.* 21. 347–357.
- Sarthou, G., Timmermans, K.R., Blain, S. & Tréguer, P. 2005. Growth physiology and fate of diatoms in the ocean: a review. *Journal of Sea Research* 53. 25–42.
- Boyd, P.W., Watson, A.J., Law, C.S., Abraham, E.R., Trull, T., Murdoch, R., Bakker, D.C.E., Bowie, A.R., Buesseler, K.O., Chang, H., Charette, M., Croot, P., Downing, K., Frew, R., Gall, M., Hadfield, M., Hall, J., Harvey, M., Jameson, G., LaRoche, J., Liddicoat, M., Ling, R., Maldonado, M.T., McKay, R.M., Nodder, S., Pickmere, S., Pridmore, R., Rintoul, S., Safi, K., Sutton, P., Strzepek, R., Tanneberger, K., Turner, S., Waite, A. & Zeldis, J. 2000. A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. *Nature* 407. 695–702.
- Van Cappellen, P., Dixit, S. & van Beusekom, J. 2002. Biogenic silica dissolution in the oceans: Reconciling experimental and field-based dissolution rates. *Global Biogeochemical Cycles* 16(4). 23.1–23.10.
- Sólveig R. Ólafsdóttir 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit nr. 122.
- Guðrún Marteinsdóttir 2006. Mikilvægi stórþorsks í viðkomu þorskstofnsins við Ísland. Náttúrufræðingurinn 74(1–2). 3–10.
- Gróa Pétursdóttir, Begg, G.A. & Guðrún Marteinsdóttir 2006. Discrimination between Icelandic cod (*Gadus morhua* L.) populations from adjacent spawning areas based on otolith growth and shape. *Fisheries Research* 80. 182–189.
- Erlendur Jónsson & Eyjólfur Friðgeirsson 1986. Observations on the distribution and the gut contents of fish larvae and environmental parameters, south-west of Iceland. *ICES CM* 1986/L:36.
- Eyjólfur Friðgeirsson 1984. Cod larvae sampling with a large pump off SW-Iceland. Í: *The Propagation of cod Gadus morhua*. Flødevigen rapportserie (ritstj. Dahl, E., Danielsen, D.S., Moksness, E. & Solemdal, P.L.). Bls. 317–333.
- Konráð Þórisson, Þór Ásgeirsson & Björn Gunnarsson 2000. Cod larval patches in Icelandic waters 1998. *ICES CM* 2000/N: 29.
- Anon. 2007. Nýttjastofnar sjávar 2006/2007. Aflahorfur fiskveiðiárið 2007/2008. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit nr. 129.
- Cushing, D.H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. Í: *Advances in Marine Biology* (ritstj. Blaxter, J.H.S. & Southward, A.J.) Academic Press, London. Bls. 250–293.
- Brander, K.M., Dickson, R.R. & Shepherd, J.G. 2001. Modelling the timing of plankton production and its effect on recruitment of cod (*Gadus morhua*). *ICES J. Mar. Sci.* 58. 962–966.
- Begg, G.A. & Guðrún Marteinsdóttir 2002. Environmental and stock effects on spawning origins and recruitment of cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 229. 263–277.
- Sigfús A. Schopka 2007. Friðun svæða og skyndilokanir á Íslandsmiðum. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit nr. 133.

UM HÖFUNDANA



Jón Ólafsson (f. 1943) er prófessor við jarðvísindaskóla Háskóla Íslands og sérfræðingur við Hafrannsóknastofnunina. Jón hefur unnið að rannsóknum á sjó, stöðuvötnum og efnagreiningaaðferðum frá því hann lauk prófum í efnasvæði og haffræði frá háskólunum í Wales 1968 og Liverpool 1974.



Sólveig Rósa Ólafsdóttir (f. 1966) lauk BS-prófi í efnasvæði frá Háskóla Íslands 1990 og M.Sc.-prófi frá sama skóla 1998. Sólveig starfar hjá Hafrannsóknastofnuninni.



Jóhannes Briem (f. 1933) stundaði nám í rafmagnsverkfræði við Technische Hochschule í München 1954–1957. Hann vann hjá Raforkumálastjóra 1958–1964, fyrst við raforkusölu og innheimtu en síðan við virkjunarrannsóknir, en hóf síðan störf við hafeðlisfræðideild Hafrannsóknastofnunarinnar árið 1970 og annaðist m.a. straummælingar stofnunarinnar til starfsloka árið 2003.

PÓST- OG NETFÖNG HÖFUNDA/AUTHORS' ADDRESSES

Jón Ólafsson
jon@hafro.is, jo@hi.is

Sólveig Rósa Ólafsdóttir
solveig@hafro.is

Jóhannes Briem
jbriem@isl.is

Hafrannsóknastofnunin
Skúlagötu 4
IS-101 Reykjavík