

Frumframleiðnimælingar á
Hafrannsóknastofnuninni
árin 1958–1999
Umfang, aðferðir og úrvinnsla

Kristinn Guðmundsson og Kristín J. Valsdóttir
Hafrannsóknastofnunin

EFNISYFIRLIT

CONTENT

	bls. / page
Ágrip / Abstract.....	5
1. Inngangur / <i>Introduction</i>	7
2. Efniviður og aðferðir / <i>Material and methods</i>	9
2.1. Frumframleiðnimælingar í sjó við Ísland	9
2.2. Sýnataka og undirbúningur sjósýna til ræktunar	10
2.3. Ræktun framleiðnisýna	10
2.3.1. Ræktunarskápar og kerfisbundnar leiðréttingar	12
2.4. Síun, þurrkun og geymsla framleiðnisýna	13
2.5. Mælingar á geislavirkni framleiðnisýna	13
2.5.1. Geigerteljarar, talningahraði og talningarheimt	14
2.5.2. Geislavirkni ¹⁴ C skammta með mismunandi framleiðslunúmer	16
2.5.3. Sindurteljarar og samanburður geigertalninga	17
2.6. Skráðar mælingar, aðrar en frumframleiðni	17
2.6.1. Mælingar á a-blaðgrænu	17
2.6.2. Sjóndýpi	19
2.6.3. Lithlutfall (colour index)	20
3. Niðurstöður / <i>Results</i>	21
3.1. Skráning framleiðnimælinga	21
3.2. Tengingar við aðrar gagnatöflur	22
3.3. Umfang framleiðnimælinga	22
4. Umræða / <i>Discussion</i>	26
4.1. Aðferðir til að reikna frumframleiðni og samanburður við önnur hafsvæði	26
4.2. Afkastaferlar	27
4.3. Ljósdeyfing	29
5. Þakkir / <i>Acknowledgements</i>	29
6. Heimildir / <i>References</i>	30
7. Viðaukar / <i>Appendices</i>	34
Viðauki A, Ráðleggingar prófessors Steemann Nielsen varðandi aðlögun geislakols-aðferðar hans (Steemann Nielsen 1952) að íslenskum aðstæðum / <i>The suggested adaptations of the C-14 method (Steemann Nielsen 1952) for Icelandic waters, a reply to Thórunn Thordardóttir from professor Steemann Nielsen</i>	34
Viðauki B, Geislavirkni frumframleiðnisía mæld í geigerteljurum / <i>The radioactivity on filters in primary production measurements, using Geiger counters</i>	35
Viðauki C, Frumframleiðnimælingar, útreikningar og umreikningar á slagafjölda á mínútu (cpm) í útgeislun á mínútu (dpm) þegar tekið er tillit til mismunar í talningarheimt einstakra sýna samkvæmt BOF-talningaraðferð (Páll Theodórsson	

1984) / <i>Primary production measurements, the calculations and the conversions of counted radioactivity per minute (cpm) to disintegrated radioactivity per minute (dpm), using the BOF-method (Páll Theodórsson 1984)</i>	38
Viðauki D, Samanburður á framleiðnimælingum fyrir 1982 og frá 1983, byggt annars vegar á mælingum í geigerteljurum og hins vegar á mælingum í vökvasindurteljara / <i>Comparisons of primary productivity measurements, using Geiger counters for measuring the activity of filters, counted from one side until 1983 and from both sides of the filters later on and some recountings made on the filters in liquid scintillation counters</i>	39
Viðauki E, Bréf Páls Theodórssonar, varðandi rök fyrir meintu vanmati frumframleiðnimælinga fyrir 1983, meðan geislavirkni var aðeins metin frá framhlið síanna / <i>A letter from Páll Theodórsson with arguments regarding possible underestimate of primary productivity measurements prior to 1983, using to the earlier method of single sided filtercounting</i>	47
Viðauki F, Litarefnamælingar, samanburður á niðurstöðum samkvæmt nokkrum aðferðum / <i>Pigment analysis, comparison of the results from different methods</i>	48
Viðauki G, Mælingar á lóðréttri deyfingu ljóss í sjó / <i>Measurements on vertical attenuation of light in the sea</i>	55

ÁGRIP

Kristinn Guðmundsson og Kristín J. Valsdóttir 2004. Frumframleiðnimælingar á Hafrannsóknastofnuninni árin 1958-1999: Umfang, aðferðir og úrvinnsla. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 107. 56 s.

Mælingar á frumframleiðni í hafinu umhverfis Ísland hófust árið 1958 og þeim var markvisst haldið áfram með sama sniði til 1999. Gögnum var safnað í ýmsum leiðöngrum, skipulögðum á mismunandi forsendum, en meiri hluta mælinganna má þó rekja til árlegra leiðangra, sem farnir voru réttisælis umhverfis landið í seinni hluta maí og fram í júníbyrjun. Markmið þeirra rannsókna var að fylgjast með ástandi sjávar, gróðurs og átu, ár hvert á miðunum umhverfis landið. Markmið mælinga í öðrum leiðöngrum, á mismunandi árstímum, var meðal annars að afla upplýsinga um framvindu svifgróðurs á hafsvæðinu umhverfis Ísland svo reikna mætti meðalársframleiðslu íslenska hafsvæðisins. Til að ná báðum þessum markmiðum var mikilvægt að gæta þess að gögnin væru sambærileg allan tímann og hefur þess verið gætt af kostgæfni. Rannsóknir á svifgróðrinum hafa yfirleitt verið gerðar samhliða mælingum á eðlis- og efnafræði sjávar. Niðurstöður framangreindra mælinga á svifgróðri og eðlis- og efnafræði sjávar hafa allar verið skráðar á gagnagrunn Hafrannsóknastofnunarinnar á þann veg að þær eru samþættalegar. Það gerir þessar umfangsmiklu og aðgengilegu upplýsingar um svifgróður í sjónum við Ísland sérlega áhugaverðar til rannsókna á samspili umhverfis og vaxtar gróðursins. Gögnin hafa þegar nýst í margar vísindagreinar. Í skýrslunni er samantekt á því hvernig hefur verið staðið að söfnun og meðhöndlun sýna, úrvinnslu gagna og skráningu þeirra í gagnagrunn Hafrannsóknastofnunarinnar.

ABSTRACT

Kristinn Guðmundsson og Kristín J. Valsdóttir 2004. Primary production measurements at the Marine Research Institute in Iceland 1958-1999: The extend of data and the methods used. Marine Research Institute. Report, No. 107. 56 pp.

Measurements of the primary productivity in the oceans around Iceland were performed systematically during the years 1958-1999. The main objectives of the research were, on the one hand to monitor annually the environmental conditions and the state of phytoplankton growth in late May to early June. This has provided the most substantial part of the available data. On the other hand, a long term aim was to collect sufficient data to reconstruct the average development of phytoplankton annual cycles at different locations in the oceans around Iceland, and then to calculate the average annual primary production of these oceans. Therefore all opportunities to join others cruises were made use of, especially if the plan also included some hydrographic sampling. Obviously, both the above objectives stressed the need to keep the results comparable from the first to the last observation, and accordingly this has been taken care of. The considerable amount of data now available on phytoplankton in the oceans around Iceland is an interesting material for further studies of the interactions of interannually changing environmental factors with the development of phytoplankton growth. Especially as the physical and chemical properties of the water columns have been analysed simultaneously with the phytoplankton research at most of the stations concerned. The data are all easily accessible and have to date been used in several studies and publications. The report is an overview of how the samples have been taken and prepared for analysis, as well as the methods used and assumptions made for calculations of the results recorded in the databank of the Marine Research Institute in Iceland.

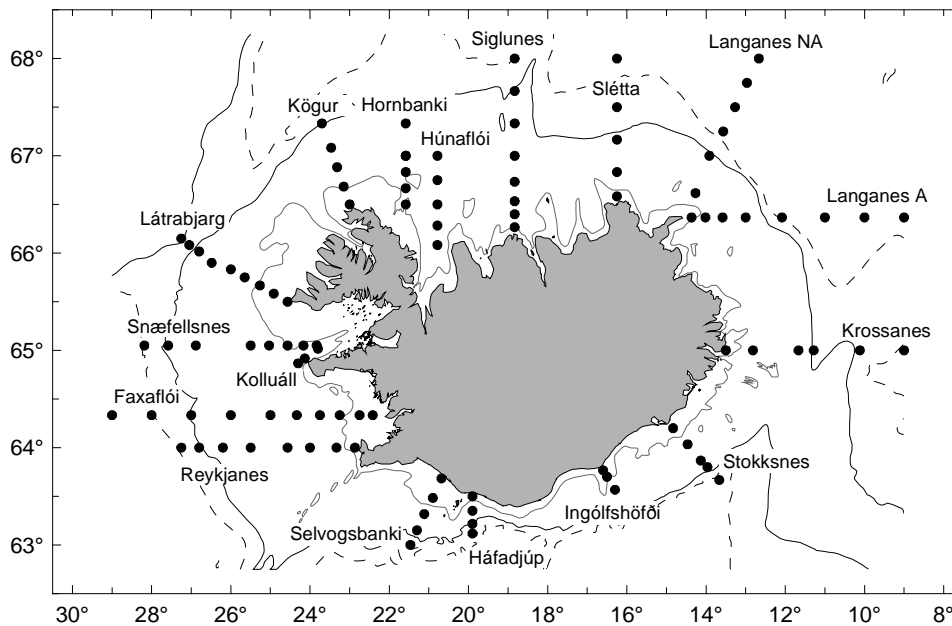
1. INNGANGUR / INTRODUCTION

Frumframleiðsla svifgróðurs er undirstaða lífs í sjó. Það er því ekki að furða að ljóstillífun þessarra smágerðu plantna hafi verið viðfangsefni rannsókna til fjölda ára og verði það áfram í fyrirsjáanlegri framtíð. Þetta á við hér á landi eins og annars staðar. Þórunn Þórðardóttir var ráðin sérfræðingur til rannsókna á þörungum við Atvinnudeild Háskóla Íslands, Fiskideild, árið 1956. Atvinnudeild Háskóla Íslands var síðan lögð niður árið 1965 og þá var Fiskideildinni breytt í Hafrannsóknastofnunina. Þórunn hóf strax að undirbúa mælingar á frumframleiðni plöntusvifs. Geislakolsaðferð Einars Steemann Nielsen prófessors í Kaupmannahöfn var nýlunda þá (Stemann Nielsen 1952). Þórunn hafði kynnt sér þessa aðferð er hún var við háskólanám í Osló. Hún kom sér upp aðstöðu til þessarra verka, með góðri aðstoð samstarfsfólks í Háskóla Íslands, og mótaði það verklag sem unnið var eftir. Hún ráðfærði sig við Steemann Nielsen og fékk tillögur um hvernig laga mætti aðferðina sem hann hafði sett fram í fyrrnefndri grein, að íslenskum aðstæðum (Viðauki A). Ráðleggingum hans var fylgt, enda hafði hann rannsakað plöntusvif við Ísland meira en flestir aðrir á þessum tíma (Stemann Nielsen 1935, 1937, 1938, 1943) og þekkti aðstæður hér vel. Síðari rannsóknir hafa sýnt fram á að þær aðferðir sem Þórunn valdi, og þar með taldar ábendingar Steemann Nielsen, hafa reynst vel og staðist tímans tönn.

Elstu framleiðnimælingar sem eru skráðar í gagnagrunn stofnunarinnar eru frá leiðangri frá Reykjavík, norður fyrir land og austur fyrir Langanes árið 1958. Leiðangurinn var farinn til að rannsaka síld og umhverfisaðstæður í sjó. Farið var árlega til rannsókna á þessar slóðir í lok maí og fram í júní, enda var mikið kapp lagt á að fylgjast með síldinni í þá daga. Allar götur síðan er til nær óslitin runa sjó- og framleiðnimælinga á þessum árstíma frá hafsvæðinu við Ísland. Árið 1971 hamlaði þó rekis siglingu norður fyrir landið og leiðangur sem farinn var í byrjun maí það ár var látinn duga. Mikill áhugi var á að kanna vistkerfi sjávar á Íslandsmiðum á þessum árum, enda urðu verulegar breytingar á flæði hafstrauma norður og vestur af landinu um miðjan sjöunda áratuginn (Svend Aage Malmberg 1972) líklega til þess að síldveiði brást (Jakob Jakobsson 1978). Hlýsjór barst lítið inn á norðurmið síðari hluta sjöunda áratugarins og allan áttunda áratuginn skiptust á svokölluð hlý og köld ár með tilheyrandi breytingum á framvindu gróðurs í sjónum norðanlands (Þórunn Þórðardóttir 1977, 1980, 1984). Eftir að síldin brást hafa umhverfisaðstæður verið kannaðar árvisst, hvert vor, á föstu stöðvaneti umhverfis landið. Föstu stöðvunum er raðað á nokkur snið út frá landinu og út yfir landgrunnshallann (1. mynd).

Rannsóknir á svifgróðri hafa líka verið gerðar á öðrum árstímum, þó það hafi ekki verið eins reglulegt, né staðið yfir í jafn mörg ár. Þórunn gerði sér strax ljóst, að til að afla gagna sem nýttust til að reikna frumframleiðslu svifgróðurs á ári fyrir íslenska hafsvæðið yrði hún að nýta öll hentug tækifæri til rannsókna og gagnasöfnunar. Hún útskýrði þetta stundum með myndlíkingu og sagðist hafa „fyllt í þá mosaik mynd“ sem matið á ársframleiðslu svifgróðurs á Íslandsmiðum er byggt á (Þórunn Þórðardóttir 1975, 1976a, 1994).

Breytilegar umhverfisaðstæður sjávar hér við land orsaka umtalsverðan mun á gróðurfari frá ári til árs. Þetta kom berlega fram á miðjum sjötta áratugnum (Jón Jónsson 1990) þegar kaldir hafstraumar urðu allsráðandi á norðurmiðum, með tilheyrandi ísreki og viðkomubresti. Áhersla hefur því verið lögð á að tengja niðurstöður framleiðnimælinga við umhverfisaðstæður hverju sinni. Samþætting plöntusvifsrannsókna og rannsókna á eðlis- og efnafræði sjávar hefur nýst í margar úttektir á áhrifum umhverfis á framvindu svifgróðurs (Þórunn Þórðardóttir 1976b, 1977, 1980, 1986, 1994, Þórunn Þórðardóttir og Unnsteinn Stefánsson 1977, Unnsteinn Stefánsson og Þórunn Þórðardóttir 1965, Unnsteinn Stefánsson o.fl. 1987, Þórunn Þórðardóttir og Kristinn Guðmundsson 1998, Kristinn Guðmundsson 1998).



1. mynd. Stöðvarkort sem sýnir öll helstu sniðin umhverfis landið og staðsetningu fastra stöðva. Dýptarlínur fyrir 100, 500 og 1000 m dýpi eru sýndar.

Figure 1. The station grid used for monitoring in hydrobiological conditions around Iceland. Depth contours are shown for 100, 500 and 1000 m depth.

Frumframleiðslu einstakra ára er ekki mögulegt að reikna með svo strjálum rannsóknum á skipum eins og hér um ræðir, þ.e. ein til tvær yfirferðir á ári og sjaldnast meir en tvær til fjórar mælingar á svifgróðri á einstökum stöðvum á sama árinu. Ekki er fyrirsjáanlegt að á þessu verði breyting og því er líklegasta leiðin til að meta framleiðni einstakra ára einhvers konar reiknilíkan sem tekur mið af breytilegum aðstæðum sjávar hverju sinni. Við slíka vinnu yrði fyrirbyggjandi gagnasafn helsta viðmiðið, ásamt gögnum frá nokkrum verkefnum sem voru unnin til að fylgjast náið með minni og afmörkuðum svæðum. Í þeim tilvikum var farið oftast yfir tiltekið svæði í takmarkaðan tíma, t.d. eitt ár. Fyrsta slíka verkefnið voru rannsóknir í Faxaflóa 1966-1967 (Þórunn Þórðardóttir og Unnsteinn Stefánsson 1977), en síðar fylgdu rannsóknir í Ísafjarðardjúpi 1986-1987 (Ólafur S. Ástþórsson og Ástþór Gíslason 1990, 1991, Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal 1998), Eyjafirði 1992-1993 (Steingrímur Jónsson og Kristinn Guðmundsson 1994, Øivind Kaasa og Kristinn Guðmundsson 1994, Steingrímur Jónsson 1996, Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal 1998, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002), Hvalfirði 1997 (Agnes Eydal 2000, 2003) og Mjóafirði 2000 (Agnes Eydal o.fl. 2001, Karl Gunnarsson 2003). Þessar rannsóknir eru oft ítarlegar, en falla yfirleitt ekki að gagnasafninu sem hér verður greint frá og því verður ekki fjallað nánar um þær hér.

Meginhluta gagna um frumframleiðni plöntusvifs í sjó við Ísland hefur verið safnað í fyrrgreindum vorleiðöngrum Hafrannsóknastofnunarinnar, en margir aðrir leiðangrar koma þó við sögu. Í flestum tilfellum voru rannsóknirnar gerðar í samfloti með sjórannsóknum. Skráning á niðurstöðum rannsókna á plöntusvifi og tenging þeirra við gagnagrunn sjóedlis- og sjóefnafræðirannsókna auðveldar samþættingu gagna af mismunandi tagi. Af því er augljóslega mikill ávinningur.

Upplýsingar um ljósdeyfinu í sjó eru nauðsynlegar þegar reikna á frumframleiðslu á flatareiningu. Samhliða nefndum framleiðnimælingum hefur sjónþýpi verið mælt á stöðvum sem teknar eru meðan dagsbirtu nýtur. Auk þess var farið að mæla a-blaðgrænu árið 1973 og þær niðurstöður eru líka skráðar á umræddan gangagrunn. Tilgangur eftirfarandi skýrslu er að taka saman á einum stað upplýsingar um hvernig staðið hefur verið að sýnatöku, undirbúningi og ræktun framleiðnisýna, mælingum og úrvinnslu gagna um plöntusvif og tilgreina umfang fyrirbyggjandi gagna. Einnig verður reynt að leiðbeina væntanlegum notendum varðandi aðgengi að þessum upplýsingum og tilgreina hvernig gögnin hafa nýst

til þessa. Þar sem það á við verða reifaðir möguleikar og takmarkanir varðandi úrvinnslu gagnanna.

Frá fyrstu tíð hefur verið kappkostað að hafa umrædd gögn sambærileg í árána rás. Því hefur gætt umtalsverðrar íhaldsemi varðandi allar breytingar á aðferðum og tækjabúnaði. Engu að síður hefur þurft að endurnýja tæki og búnað sem hugsanlega gæti haft áhrif á notkun eða túlkun gagnanna og því hefur stundum verið talið rétt að geta slíkra þátta. Saga gagnasöfnunar og gagnaúrvinnslu verður rakin hér eins ýtarlega og ástæða þykir til og aðgengilegar heimildir leyfa. Vísað er til frumgagna og prófana á aðferðum þar sem það á við. Jafnframt hefur verið talið við hæfi að benda á aðrar upplýsingar, t.d. um veðurfar, ljósaðstæður og ferskvatnsrennsli, sem tengjast þessum rannsóknum sem hér er fjallað um. Þá verða nokkur hafsvæði tilgreind, sem þykja hæfa til samanburðar við það íslenska.

2. EFNIVIÐUR OG AÐFERÐIR / MATERIAL AND METHODS

2.1. Frumframleiðnimælingar í sjó við Ísland

Danski prófessorinn Einar Steemann Nielsen tók þátt í leiðangri til Íslands sumarið 1935, á M/S Thor, og mældi framleiðni á nokkrum stöðum við sunnan- og suðvestanvert landið (Stemann Nielsen 1935). Hann beitti þá svokallaðri súrefnisaðferð. Tæpum tveimur áratugum síðar lýsti hann annarri aðferð, geislakolsaðferðinni, til mælinga á frumframleiðni (Stemann Nielsen 1952). Aðferðin hefur verið notuð nær óbreytt síðan af flest öllum sem fást við mælingar á frumframleiðni svifþörungum.

Margar greinar hafa verið birtar um kosti og galla geislakolsaðferðarinnar. Spurningarkerki má setja við ýmislegt henni tengt og þá ekki síst ýmsar hefðir sem hafa skapast á mismunandi rannsóknastofum á undanförunum 50 árum. Mest á þetta við um meðhöndlun sýna og úrvinnslu mælinga (Vollenweider 1969, Peterson 1980, Carpenter og Lively 1980, Richardson 1987, 1990, Richardson 1991). Spurningar um hvort aðferðin mælir brúttó- eða nettó- ljóstíllífun svifþörungum (Marra 2002) og hvernig beri að túlka niðurstöður sem sýna upptöku geislakols í myrkvuðum sýnum (Banse 1993) hafa verið til umræðu frá fyrstu tíð. Ljóst er að skiptar skoðanir eru um ýmis atriði varðandi útfærslu og framkvæmd geislakolsaðferðarinnar. Takmarkanir sem fylgja aðferðinni verða mest áberandi þegar framleiðnin sem verið er að mæla er mjög lág, eins og vænta má á úthafssvæðum um miðbik jarðarinnar. Þetta er sjaldnast vandamál á þeim svæðum sem við erum að vinna á.

Þórunn Þórðardóttir var ráðin í stöðu þörungasérfræðings við Atvinnudeild Háskóla Íslands, Fiskideild, að loknu námi árið 1956, eins og áður er getið. Hún hafði kynnst geislakolsaðferð Steemann Nielsen meðan hún stundaði nám við Háskólann í Ósló og beitti þeirri aðferð frá upphafi rannsókna sinna á frumframleiðni við Ísland. Aðferð Steemann Nielsen (1952) var aðlöguð íslenskum aðstæðum, sumpart samkvæmt ráðleggingum Steemann Nielsen sjálfs um hæfilegan styrk lýsingar í ræktunarkassa og varðandi útreikninga á dagsframleiðni (sjá bréf í Viðauka A). Annað vinnulag var mótað á Fiskideild og síðar á Hafrannsóknastofnuninni. Aðferðin hefur haldist að mestu óbreytt, bæði hvað varðar söfnun og meðhöndlun sýna og megnið af mælingum á frumframleiðni fram til ársins 1999 hafa því fylgt þeirri stöðluðu aðferð sem Þórunn mótaði í byrjun.

Nokkur áberandi sérkenni eru á aðferðinni eins og hún er framkvæmd á Hafrannsóknastofnuninni. Til dæmis er notuð loftkæling til að stýra hita í ræktunarskápum. Loftkæling í ræktunarskápum er dæmi um aðlögun að aðstæðum og afbrigði sem hefur sýnt sig að standast fyllilega samanburð við aðrar útfærslur af ræktunarskápum. Mælingar á geislavirkni framleiðnisýna er dæmi um að aðferðin hefur tekið breytingum. Upphaflega var geislavirkni kolefnis í svifgróðri, sem síður var frá framleiðnisýnum eftir rækt, mæld frá yfirborði síanna í geigerteljara (Geiger-Müller counter). Aðferðin var endurskoðuð á árunum 1974-1984 og ný aðferð Páls Theodorssonar (1984) tekin í gagnið árið 1983 á Hafrannsóknastofnuninni. Nýja aðferðin til mælinga á geislavirkni framleiðnisýna hefur fyrst og fremst áhrif á nákvæmni hverrar einstakrar mælingar, en breytir sennilega ekki

niðurstöðum reiknaðra meðaltala. Aðrar rannsóknastofur höfðu á þessum tíma tekið að mæla frumframleiðnisýnin í vökvasindurteljum.

Elstu skráðu niðurstöður mælinga á frumframleiðni við Ísland með geislakolsaðferðinni eru frá árinu 1958 og fram til ársins 2000 bættust árlega við nýjar mælingar á framleiðni svifgróðurs frá þessu hafsvæði. Fyrstu heimildirnar voru auðvitað handskrifaðar og eru nú rykfallnar í geymslum. En allar gömlu niðurstöður framleiðnimælinga, auk nýrri gagna, má auðveldlega nálgast á gagnagrunni stofnunarinnar. Allar fyrirliggjandi niðurstöður framleiðnimælinga frá áður nefndu tímabili eru samviskusamlega skráðar í tveimur töflum, *phyto.station* og *phyto.prod* (3 kafli), svo fremi þær uppfylli þau skilyrði að vera unnar samkvæmt fyrrnefndri geislakolsaðferð og að tilgreina megi hvar og hvenær sýnið var tekið.

2.2. Sýnataka og undirbúningur sjósýna til ræktunar

Lýsingar á geislakolsaðferðinni með upplýsingum um vinnulag við undirbúning og framkvæmd framleiðnimælinga má finna í mörgum heimildum. Okkar aðferðir falla að mestu leiti að lýsingum í Strickland and Parson (1972) og Parson o.fl. (1984). Það væri því að bera í bakkafullan lækinn að lýsa aðferðinni í smáatriðum. En ástæða er til að segja frá í almennum orðum hvernig staðið hefur verið að þeim mælingum, sem hér um ræðir, til að gefa hugmynd um verklagið. Geislakolið hefur alla tíð verið fengið frá *Carbon 14 Centralen*, Danish Institute for Fisheries and Marine Research (www.vhi.dk), sem tryggja á að sérhver glerlykja (ampoule) standist ítrustu kröfur um innihald, bæði hvað varðar efnasamsetningu og geislavirkni. Þaðan hefur líka verið fenginn ýmis búnaður til mælinga á svifgróðri, s.s. ræktunarflöskur og síunar búnaður.

Þegar geislakolsaðferðin er notuð til mælinga á frumframleiðni, hefst undirbúningur fyrir sýnatöku með hreinsun á ræktunarflöskum. Ræktunarflöskurnar eru 50 ml bórksísl glerflöskur með slípuðum glertappa (Jena/Schott). Þær eru þvegnaðar með 10% saltsýru og skolaðar þrisvar sinnum með eimuðu vatni. Sjó er safnað í þar til gerða sjótaka á völdum dýpum, sem í okkar tilfelli eru svokallaðir Nansen sjótakar (Hydrobios), gerðir úr plastefni og hólkurinn úr glæru plexi. Verja þarf sjósýnin fyrir skæru sólarljósi. Hver ræktunarflaska fyrir sig er svo skoluð aftur þrisvar sinnum með viðkomandi sjósýni áður en flaskan er fyllt upp í stút. Átöppunina þarf að framkvæma án tafar til að forðast botnfellingu og misdreifingu plöntusvifs í sjótökum. Til að rýma fyrir skammti geislakols, sem bæta á í sýnið, eru fyrst fjarlægðir u.þ.b. tveir millilítrar úr hverri flösku ef rúmmál geislakolslausnarinnar er einn millilítri. Við það myndast nægilegt rými til að hægt sé að bæta þekktum skammti af geilsavirku kolefni í flöskuna og einnig hæfilegt loftrými til að blöndun sýnisins geti átt sér stað meðan sýnið er í ræktun.

Framan af voru notaðir skammtar af geislavirku kolefni með u.þ.b. 4 μ Curie virkni í einum millilítra (148 kBq) og allt innihald hveirrar glerlykju var tæmt í viðkomandi sýni með því að skola glerlykjuna að innan með vökva frá sýninu. Síðan 1982 hafa verið keyptar lykjur með 10 μ Curie (370 kBq) virkni og verklagið frá 1983 hefur því verið að skammta 200 μ l í hvert sýni með míkropípettu. Það er því nóg að fjarlægja u.þ.b. einn millilítra úr sýnaflöskunni áður en skammtinum er bætt í sýnið. Upphafsstyrkur geislakols sem er bætt í hvert einstakt sýni, þarf að vera nákvæmlega kvarðaður og jafnframt þarf að gæta þess að ofgnótt geislakols sé bætt í hvert sýni. Samanburðarmælingar hafa sýnt í marg endurteknum tilraunum að skipting innihalds 10 μ Curie glerlykja með míkropípettu stenst fyllilega samanburð við notkun á heilum 4 μ Curie glerlykjum hvað nákvæmni varðar.

2.3. Ræktun framleiðnisýna

Þegar geislakolinu hefur verið bætt í sýnaflöskurnar er þeim komið fyrir í klemmum á hringlaga skífu í ræktunarskápnum. Þeim er raðað meðfram bríkinni sem snýr að flúrljósunum til að tryggja að allar flöskurnar fái sömu meðallýsingu. Aukaflaska með innbyggðum hitanema, sem tengdur er við hitastýringu ræktunarkassans, er fest á miðjuás sem hjólið með ræktunarflöskunum snýst á. Snúningur hjólsins heldur vökvanum í flöskunum uppblönduðum og tryggir að allar flöskurnar fá jafn mikla birtu meðan ræktað er.

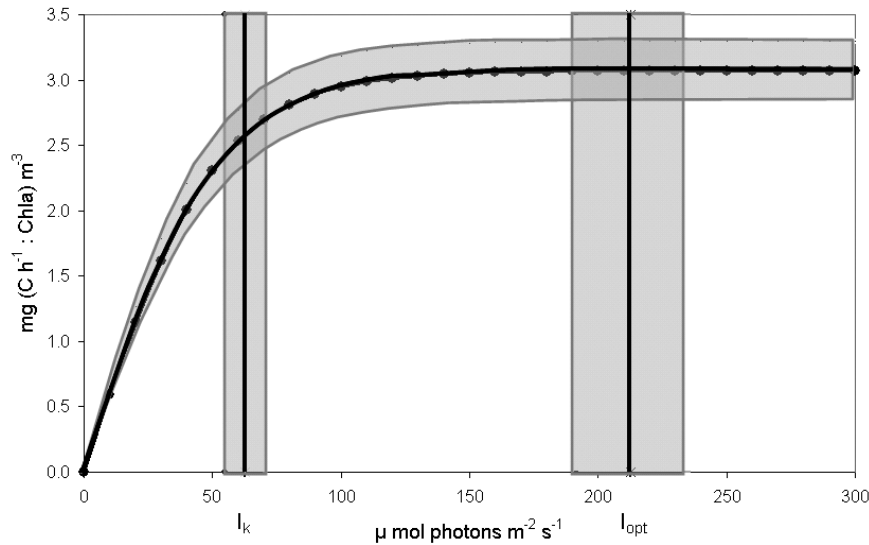
Hitastýringin í ræktunarskápnum á að sjá til þess að hitastigið í viðmiðunarflöskunni á miðju hjólsins víki ekki út fyrir ásættanleg mörk ($\pm 1^\circ\text{C}$) þess hitastigs sem skápurinn var stilltur á fyrir ræktunina. Hitastigið í miðjuflöskunni með hitanemanum og hitinn í ræktunarflöskunum þarf að vera sem líkastur frá upphafi til þess að hitastýring skápsins nái sem fyrst að stilla saman hitann í öllum flöskunum. Miðjuflaskan er því fyllt með sjósýninu og meðhöndluð á sama hátt og aðrar sýnaflöskur fram að ræktun. Vifta í skápnunum sér til þess að hitinn í skápnunum helst jafnt dreifður.

Fyrstu árin var notaður ræktunarskápur sem var fylltur með kælivökva (vatni). Það fyrirkomulag er yfirleitt ákjósanlegt og virkar eins og hitastýrt vatnsbað, enda er slíkur búnaður notaður víðast hvar annars staðar. En fljótlega komu upp vandkvæði, þegar rækta átti sýni við hitastig sem var nálægt frostmarki vatns átti kælíbúnaðurinn það til að frysta vatnið eða sjóinn sem notaður var sem kælivökvi. Þess vegna var skipt yfir í loftkælingu í okkar ræktunarskápum. Ýmsar prófanir hafa sýnt að þetta fyrirkomulag á hitastýringu, þ.e. loftblásturinn, stenst vel samanburð við skápa með vökvakælingu. Árið 1987 var til dæmis farið með einn skáp héðan á vinnufund Alþjóðahafrannsóknaráðsins í Hirshals þar sem gerður var samanburður á mismunandi búnaði og aðferðum (Anon. 1990 og Richardson 1991). Niðurstöður okkar mælinga eru auðkenndar með „Laboratory 22“ í umfjöllun um rannsóknirnar í nefndum greinum. Nokkrir loftkældir skápar hafa komið við sögu í árána rás (kafla 2.3.1, kafla 2.5 og Viðaukar B og D).

Ræktun hefst þegar ljósið er kveikt og lýkur þegar það slokknar. Rekki með flúrljósarörum andspænis skífunni með ræktunarflöskunum lýsir upp sýnin, en stillanlegur tímarofi slekkur ljósin eftir að valinn ræktunartími hefur runnið sitt skeið. Gert er ráð fyrir línulegri upptöku geislakols og óverulegrar breytingar á hlutfalli geislakols og annars kolefnis í sýninu ef ræktunartíminn er á bilinu 1-8 klukkustundir (Barnett and Hirota 1967, Savidge 1978, Peterson 1980, Hitchcock 1986). Venjulega hefur ræktunartíminn verið fjórar klukkustundir, en mestu máli skiptir að vita hver ræktunartíminn er hverju sinni. Þá er einfaldlega hægt að reikna hve hratt plönturnar taka upp og binda geislakolið í framleiðslu lífræns efnis, t.d. miðað við klukkustund innan fyrrgreindra tímamarka.

Fyrstu árin var styrkur ljóss í ræktunarkössunum hafður 12-13 klux, sem er u.þ.b. $250 \mu \text{ mól fótónur m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, eins og Steemann Nielsen ráðlagði (Viðauki A). Síðar, líklega 1982, var ljósstyrkurinn lækkaður í $220 \mu \text{ mól fótónur m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ samkvæmt niðurstöðum tilrauna og rannsókna á afkastuferlum plöntusvifs (Kristinn Guðmundsson 1983). Hvort tveggja er innan marka fyrir ljósmettaða frumframleiðni hér við land, mestan part gróðurtímans. Helst er ástæða til að víkja frá þessari viðmiðun ef ræktuð eru sýni með plöntum sem aðlagast hafa litlu ljósi, t.d. ef sýni eru tekin neðan lagskiptingar eða af miklu dýpi þar sem lítil blöndun á sér stað við yfirborðslög sjávar. Við slík skilyrði aðlagast plöntusvifið að litlu ljósi og ljósmettun getur átt sér stað við lágan ljósstyrk. Sama getur líka átt við snemma vors, síðla hausts og að vetri til eða þegar lagskipting er viðvarandi. Fyrrgreind lækkun á styrk lýsingar í ræktunarskápum var gerð í kjölfar rannsókna á frumframleiðni plöntusvifs við mismikla lýsingu. Rannsóknir á framleiðniafköstum plöntusvifs hafa haldið áfram (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002) og styðja þær framan- greint val á ljósstyrk til mælinga á framleiðni plöntusvifs við ljósmettun á íslenska rannsóknasvæðinu (2. mynd).

Öðru hvoru eru tekin aukalega sýni sem eru meðhöndluð og ræktuð á sama hátt og hin sýnin, nema hvað þau eru myrkvuð með því að vefja flöskurnar í álþynnu. Áhöld eru um hvernig túlka eigi þessar niðurstöður (Banse 1993), þ.e. hvað ræður upptöku geislakols í myrkri, en vissulega er æskilegt að hlutfall þess miðað við lýstu sýnin sé lágt. Þessar niðurstöður úr svörum flöskum (black bottles) hafa aldrei verið notaðar í útreikningum okkar og aðeins að hluta til verið skráðar í gagnatöflurnar.



2. mynd. Afkastaferill plöntusvifs, skv. meðaltali 85 tilrauna frá 1980-1990. Skyggðu svæðin sýna víkmörk staðalskekkju miðað við 95% öryggismörk fyrir I_k , I_{opt} og afkastaferilinn.

Figure 2. P vs. I curves for marine phytoplankton according to 85 experiments around Iceland in 1980-1990. The range of standard error, at 95% level, are shown for the curve, I_k and I_{opt} .

2.3.1. Ræktunarskápur og kerfisbundnar leiðréttingar

Þegar niðurstöður mælinga frá árunum 1973 til 1989 voru reiknaðar þurfti að taka tillit til þess í hvaða ræktunarskáp sýnin voru ræktuð, jafnframt því að nota réttan talningahraða og talningarheimt við ákvörðun á geislavirkni hvers sýnis. Munur á ræktunarskápum fólst fyrst og fremst í rangri kvörðun á hitastilli viðkomandi skáps.

Upp úr 1980 var smíðaður nýr ræktunarskápur, sem var sérstaklega ætlaður til að meta framleiðniáfköst við mismikla lýsingu. Ræktunarskápurinn var nefndur Landskápur af því að hann var ekki ætlaður til nota í neinu ákveðnu skipi. Hitastillingin í Landskápnum var talin rétt, samkvæmt mælingum, og því laus við hitaleiðréttingar. Aðrir skápar voru kvarðaðir með samanburði við niðurstöður úr Landskápnum. Kvarðarnir voru byggðar á ræktun nokkurra deilisýna í öllum skápunum samtímis. Deilisýnin voru öll tekin úr einni fötu með upplönduðum sjó.

Fyrir vorleiðangur árið 1982 var gerður samanburður á deilisýnum sem voru ræktuð samtímis í þeim þremur skápunum sem voru í notkun þá, bæði fyrir lagfæringar á hitastillingum í ræktunarskápum beggja rannsóknaskipanna og svo eftir lagfæringuna. Samanburðurinn sýndi að munur á skápunum var talsverður (Tafla 1). Árið 1989 voru síðan endurnýjaðir hitastillar í viðkomandi skápunum og frá þeim tíma hafa leiðréttingar vegna rangra hitastillinga í ræktunarskápum verið óþarfar. Til að sannreyna hver hitinn var í skápunum var síritandi hitamælum, sem þróaðir voru til notkunar í fiskmerkjum (Stjörnu Oddi), komið fyrir í ræktunarflöskum og þær meðhöndlaðar eins og aðrar ræktunarflöskur meðan ræktunarskápur var í gangi. Niðurstöðurnar sýndu að hitafrávik í ræktunarflöskunum var eftir 20-30 mínútna aðlögun innan ± 1 °C frá innstilltu hitastigi skápanna, hvort heldur flöskurnar voru dekkar með ljóssíu eða án ljóssía, og hélst innan þeirra marka á ræktunartímanum (Kristinn Guðmundsson, óbirt gögn).

Fyrir utan nefndar leiðréttingar vegna rangrar stillingar á hita einstakra skápa var um nokkurra ára skeið fengist við að leiðrétta niðurstöður framleiðnimælinga með tilliti til mismunar á völdu hitastigi í ræktunarskápum og hitastigi sjávar þar sem sýnið var tekið. Vel má vera að þessar leiðréttingar eigi rétt á sér en engu að síður var ákveðið, þegar gögnin voru yfirfarin í tilefni af flutningi þeirra yfir í núverandi gagnagrunn, að hafa þennan þátt ekki með í útreikningunum á framleiðninni og gæta þar með samræmis við önnur og eldri gögn. Þar með er það sett í hendur notenda gagnanna að velja hvort taka eigi tillit til þessa

þáttar. Til að það verði aðgengilegt þyrfti þó að bæta við tveimur dálkum í gagnatöfluna *phyto.prod* og skrá þar hvaða ræktunarhitastig var valið og muninn á völdu hitastigi og raunverulegum hita í ræktunarskápnum. Upplýsingar um sjávarhitann þar sem viðkomandi sýni var tekið má í flestum tilvikum sækja í gagnagrunn sjóeðlisfræðinnar, *hydro.observation*. Innstillt hitastig á ræktunarskápum yrði að sækja í frumheimildirnar, á stöðvarblöðum.

Tafla 1. Leiðréttingarstuðlar, notaðir til að leiðrétta framleiðni, mældi í mismunandi ræktunarskápum vegna ónákvæmni í kvörðun hitastillinga. Leiðréttingarstuðlarnir voru fundnir með því að rækta deilisýni í öllum skápunum samtímis og nota síðan þann sem þótti best kvarðaður sem viðmiðun.

Table 1. Corrections coefficients, used in order to correct the calculated primary productivity, measured in different incubators and time intervals. The coefficients were found by incubations of subsamples in all three incubators simultaneously and using the best incubator selected for reference.

Skip	Skápur	Leiðréttingarstuðull	frá	til
AE	Ægir	1	1958	1967
HA	Hafþór	1	1966	1967
MJ	María	1	1966	1967
FR	Árni Friðriks	1	1968	1978
FR	Árni Friðriks	1.25	1978	31.júní 1982
FR	Árni Friðriks	0.92	31.júní 1982	1. maí 1989
FR	Árni Friðriks	1	1. maí 1989	
BS	Bjarni Sæm	0.77	1973	31.júní 1982
BS	Bjarni Sæm	1.11	31.júní 1982	1. maí 1989
BS	Bjarni Sæm	1	1. maí 1989	
	Landskápur	1	1982	

Nýr skápur í Árna Friðrikssyni 1978 var til vandræða fyrsta árið

2.4. Síun, þurrkun og geymsla framleiðnisýna

Að lokinni ræktun eru sýnin síuð á membransíur (nitrat cellulosa) sem eiga að halda eftir ögnum stærri en 0,2 μm að þvermáli. Allar síur sem nota á til síunar á framleiðnisýnum eru fyrirfram vegnar og massinn skráður á jaðarinn. Fyrir síun eru síurnar einnig merktar leiðangurseinkenni, stöðvarnúmeri og sýnatökudýpi, auk annarrar auðkenningar ef þörf krefur. Til þessa hefur reynst vel að nota rauðan kúlupenna. Massi sía skiptir máli þegar reikna á geislavirkni sýnisins eftir talningu í geigerteljara eins og komið verður að síðar (kaflí 2.5.1). Sýnin þarf að sía við vægan undirþrýsting, tilsvarendi tæplega þriðjungu úr loftþyngd, þar til allt vatn hefur verið síað í gegn. Áður en allur vökvinn síast frá þarf að skola út dreggjar úr viðkomandi ræktunarflösku með síuðum sjó, því mikilvægt er að allur vökvinn, sem geislakolinu var bætt út í skili sér gegnum síuna. Að öðrum kosti þarf að vita nákvæmlega rúmmál ræktunarsýnisins og rúmmál deilisýnisins sem síað er. Það er mjög mikilvægt að yfirborð síu þorni aldrei á meðan á síun sýnis stendur, því ef sían þornar og yfirborðsspennan breytist geta frumur sprungið og frymi úr þeim tapast við áframhaldandi síun á sýninu. Samkvæmt aðferðalýsingu á síun framleiðnisýna að vera lokið einni klukkustund eftir að ræktunartíminn er yfirstaðinn. Eftir síun er sían þurrkuð, fyrst í 5-10 mínútur á pappírþurrku, en síðan í þurrkklemmu sem tryggir að sían haldi réttu formi og hlutföllum fyrir talningu í geigerteljara. Talning í geigerteljara gerir ráð fyrir að upprunalegur síunarflötur framleiðnisía haldist óbreyttur. Þurrar síur má síðan geyma í fjölda ára í lokuðu íláti án þess að teljandi breytingar á geislavirkni þeirra eigi sér stað, enda er helmingunartími geislakols 5730 ár.

2.5. Mælingar á geislavirkni framleiðnisýna

Frá því að framleiðnimælingar með geislakolsaðferð hófust hefur geislavirkni á síuðum sýnum verið mæld með aðferð sem kennd er við Geiger og Müller. Til margra ára voru sýnin mæld í geigerteljrum raunvísindadeildar Háskólans. Í ársbyrjun 1963 var tekinn í notkun geigerteljari sem Páll Theodórsson, eðlisfræðingur við Raunvísindastofnun Háskólans, hannaði og þannig hefur það verið allar götur síðan. Nokkrar útgáfur af geigerteljrum hafa komið við sögu, eins og sjá má nánar í Viðaukum B og D. Páll hefur

verið ráðgjafi og óþreytandi hjálparhella Hafrannsóknastofnunarinnar varðandi þessar mælingar. Upp úr 1980 endurbætti hann þá aðferð sem notuð hafði verið fram að þeim tíma. Samkvæmt eldri aðferðinni var aðeins talin geislavirkni frá yfirborði síanna, hér nefnd OFAN-talning. Með nýrri aðferð (hér nefnd BOF-talning, bak og fyrir talning) var farið að telja síurnar frá báðum hliðum og leiðrétt geislavirkni hvers sýnis síðan reiknuð (Páll Theodórsson 1974, 1975, 1984). Leiðrétt er fyrir smugi lífræns efnis ofan í massa framleiðnisía, því síumassinn skermir útgeislun frá geislavirku kolefni ef það liggur ekki á yfirborði síunnar (Páll Theodórsson 1975). Leiðréttingin er í réttu hlutfalli við niðurstöður talninga frá báðum hliðum (B:F) og massa síunnar (Páll Theodórsson 1984).

Ef geislavirknin væri öll í svifþörungum á yfirborði síunnar, eins og gert var ráð fyrir í upphafi, þá væri hlutfall talningar af bakhlið og framhlið sýnis að jafnaði 0,2. Þetta samsvarar 80% skermingu á β -geislum, þ.e. skerming síumassans. En hlutfallið er í reynd talsvert herra, því hluti útgeislunarinnar á upptök sín í massa síanna. Mælikvarði á efnisþykkt síanna fæst með því að vikta síurnar fyrir notkun. Upplýsingar um hlutfall B:F og efnismassinn duga til að leiðrétta niðurstöður geigertalninga á geislavirku kolefni í síum þannig að nákvæmnin verði sambærileg við niðurstöður mælinga í vökvasindurteljara (Páll Theodórsson 1974, 1975, 1984). Rétt ákvörðun á talningahraða geigerteljarans ræður því hinsvegar hver útkoman verður, svipað og á við með vökvasindurteljara. Nefndar breytingar á aðferðum og tækjum hafa því áhrif á niðurstöður mælinga á geislavirkni, bæði slög á mínútu (cpm) og umreikninga í geislanir á mínútu (dpm), en ætti í sjáfu sér ekki að breyta niðurstöðum útreikninga á framleiðni (Viðauki C).

Aðferð Páls Theodórssonar (1984) var tekin í notkun á Hafrannsóknastofnuninni árið 1983 og sama ár var tekinn í notkun nýr geigerteljari, PPC-0, sem var talsvert frábrugðin fyrri teljurum. PPC-0 teljarinn byggði á notkun rökrása og rafrænnar klukku og þar með var hægt að lesa slagafjöldann og tímann beint af mælitækinu. Í eldri teljurum voru rafmótorar og snúningsteljarar notaðir til að mæla tímann. Talningartíminn var fundinn með því að deila með fasta fyrir snúningshraða viðkomandi rafmótors í snúningafjöldann sem talinn var meðan geigerteljarinn nam ákveðinn fjölda slaga. Miðað var við að telja 3000 slög. Skipt var um rafmótor í september árið 1978 í teljara sem nefndur var PS-II, teljara sem líklega var notaður frá árinu 1965 til 1983. Þar með breyttist snúningshraðinn úr 100 í 250 snúninga á mínútu (Viðauki C).

2.5.1. Geigerteljarar, talningarhraði og talningarheimt

Fyrsti geigerteljarinn sem var smíðaður sérstaklega, á raunvísindadeild Háskóla Íslands, með það í huga að telja framleiðnisúr var tekin í notkun árið 1963. Hann var byggður á möguleikum glóðarlampa og einföldum lóðningum víra. Teljarinn var sambyggður sjálfvirkum prufuskiptabúnaði. Búnaðurinn renndi nýju sýni undir teljarann þegar talningu lauk á því sýni sem á undan var, allt að 12 sýnum í röð. Slíkir teljarar voru auðkenndir með skammstöfuninni PS (*prufuskiptir*, I og II). PS-II var líklega, eins og komið er fram, notaður frá 1965 til 1983 (mynd 3 A). Síðan 1983 tóku við, hver af öðrum, mælar sem tóku mið af tækniþróun hvers tíma. Búnaður eins og þéttar, viðnám og rökrásir opnuðu nýja möguleika í hönnun tækja (mynd 3 B) og árið 1996 var farið að nota forrit í laustengdum tölvum til að stýra teljurunum og skrá niðurstöðurnar jafnóðum. Í fyrstu voru þessir teljarar auðkenndir með stöfunum PPC (*primary production counter*) og voru með fjórum raðtengdum nemum, sem töldu samtímis hvert sitt sýnið frá einni hlið. Árið 1996 tók við teljari sem ber skammstöfunina PPS-GG og er með hringlaga bakka fyrir 8 sýni. Í honum eru tveir namar, staðsettir bæði fyrir ofan og neðan sýnið sem talið er hverju sinni. Tækinu er stýrt frá forriti í laustengdri tölvu sem skráir jafnframt niðurstöðurnar.

Talningahraði fyrstu mælanna var til að byrja með um 15%, en með notkun nýrra plastefna og endurbótum í smíði á nemum ásamt þróun tækja hefur talningarheimtin þokast upp í um 20%. Talningahraði hvers mælis er eiginleiki sem líta má á sem næmni tækisins, sem ræðst fyrst of fremst af eiginleikum viðkomandi nema og fjarlægð sýnisins frá honum. Með talningarheimt er átt við hlutfall útgeislana sem neminn telur og raunverulegar útgeislunar geislavirka efnisins sem er í einstökum sýnum. Meðan enn var aðeins talin geislun frá efra borði sýnanna (OFAN-talning) þurfti að laga talningahraða geigerteljara að

talningarheimt fyrir frumframleiðnisúr og Stemann Nielsen (1965) lagði til að miðað skyldi við talningaheimt sem væri 31% lægri en eiginlegur talningahraði viðkomandi teljara. Ástæðan fyrir leiðréttingu af þessu tagi var ekki kunn þá, en þessi leiðrétting var notuð á Hafrannsóknastofnunni fram til 1982, eins og víðast annars staðar þar til farið var að mæla sýnin í vökvasindurteljurum. Í raun var þetta nálgun sem leiðrétti að einhverju leyti fyrir þeirri skerminu sem að jafnaði á sér stað á útgeislun frá framleiðnisýnum þegar hluti geislavirkinnar situr í massa síanna, eins og sýnt hefur verið fram á (Páll Theodórsson 1974, 1975, 1984). Páll sýndi jafnframt fram á að talsverður breytileiki er á talningarheimt frá einu sýni til annars af þessum sökum og að hann mætti leiðrétta.



3. mynd. Geigerteljarar, (A) PS-II með glóðarlömpum, notaður frá 1965 til 1983 og (B) PPC-1, sem var með fjórum nemum og rökrásum, kom til sögunnar árið 1985.

Figure 3. Geiger counters, (A) one of the first built at the University of Iceland in 1965, PS-II, and (B) PPC-1, another one made 20 years later

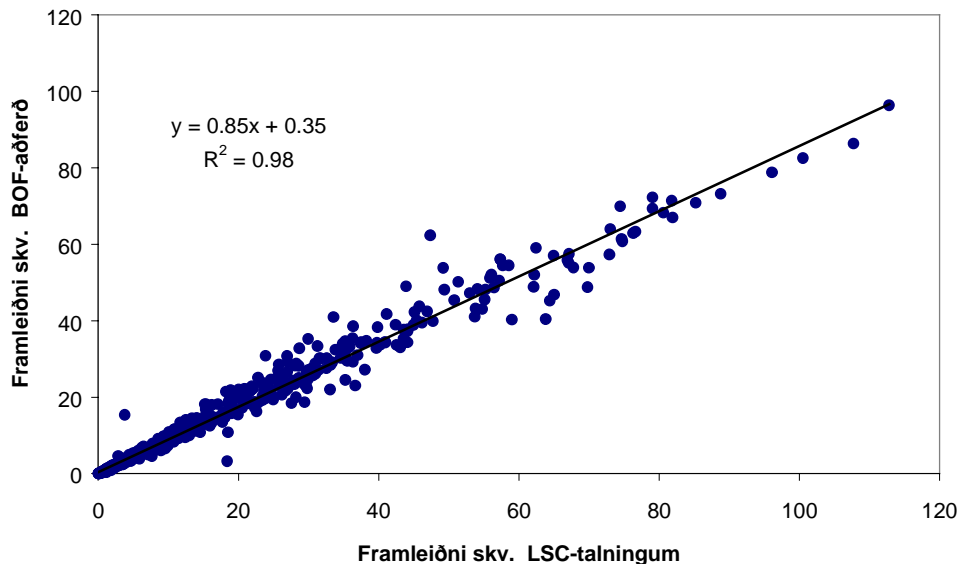
PS-II var notaður til ársins 1983, þ.e. lengst af meðan stuðst var við OFAN-talningar. Frá því teljarinn var tekin í notkun árið 1965 og fram til ársins 1976 var miðað við að talningarheimtin væri 11,8%, en þá var sett þynnri rúða á nema og við það jókst talningarheimtin um 39%. Talningarheimt í PS-II var því 16,4% frá 1976 til 1983.

Miðað var við að geigerteljarinn PPC-0, sem tók við af PS-II, hefði 16,6% talningarheimt fyrir talningar á framleiðnisým. Í ágúst/september, árið 1987, var skipt um nema í PPC-0 og við það breyttist talningahraði tækisins í 19,5%. En eftir 1983 voru allar framleiðnisúr taldar frá bæði fram- og bakhlið, BOF-talningar, og þá er notuð skilgreiningin á talningarahraða en ekki talningarheimt. Eins og komið hefur fram hafa flestir teljarar fleiri en einn nema og því á ekki lengur við að tilgreina einn talningahraða teljarans né eina núlltölu. Þess í stað var farið að fylgjast með talningarahraða hvers einstaks nema með því að telja reglulega þekktan staðal. Geislavirkni sýna er svo reiknuð með tilliti til hvers nema fyrir sig samkvæmt talningu á staðli á hverjum tíma. PPC-0 var lítið notaður til talninga eftir 1986, því þá var kominn í gagnid líttill og meðfærilegur teljari, PPC-1. Hann hafði talningarahraðann 20% og var notaður allar götur fram til 1996. Eftir það var farið að nota geigerteljarann PPS-GG, sem hefur sama talningarahraða og gildi fyrir PPC-1, 20%.

Þegar Páll Theodórsson (1984) lýsti þeirri aðferð, sem notuð hefur verið frá og með 1983 á Hafrannsóknastofnuninni, til að auka nákvæmni talninga á þurrkuðum síum framleiðnimælinga höfðu flestar vestrænar rannsóknastofur lagt af geigerteljara til þessarra verka og komið sér upp vökvasindurteljurum. Margir þeirra sem fengust við frumframleiðnimælingar litu jafnvel á geigerteljara sem einhverja gallagripi og gera það líklega enn, en með notkun vökvasindurteljara er komist hjá þeim vanda sem fylgir smugi geislavirks kolefnis í massa síanna (smog¹). Endurbætur á aðferðinni og endurhönnun

¹ Páll Theodórsson hóf snemma að nota orðið smog sem hugtak fyrir það lífræna efni, merkt með geislakoli, sem situr eftir í massa frumframleiðnisía, eftir að svifþörungarnir hafa verið síaðir frá, til

geigerteljara hefur því ekki endurvakið notkun geigerteljara til mælinga á geislavirkni frumframleiðnisía. Geigerteljarar eru samt bæði einfaldari og ódýrari í rekstri en vökvasindurteljarar. Samanburður á niðurstöðum framleiðnimælinga samkvæmt BOF-talningum í geigerteljara og endurtalningum í vökvasindurteljara sýnir að fylgnin er góð (4. mynd).



4. mynd. Niðurstöður frumframleiðnimælinga ($\text{mg C m}^{-3} \text{klst}^{-1}$), 713 sýni mæld annars vegar í geigerteljara (BOF-talning) og hins vegar í vökvasindurteljara (LSC). Úrtak sýna er frá árunum 1983-1995 og það var allt endurtalið í LSC árið 1996.

Figure 4. Results of primary production measurements ($\text{mg C m}^{-3} \text{klst}^{-1}$). All the 713 samples were first measured from both sides of the filter (Páll Theodórsson 1984), with a Geiger counter and later remeasured in a liquid scintillation counter (LSC). The selection of samples was sampled during 1983-1995 and was recounted in a LSC in 1996.

Vönduð kvörðun og gott eftirlit með tækjunum er ávallt forsenda réttar mæliniðurstaðna. Reglubundnar talningar á staðli veita talsvert öryggi og þannig má fylgjast náið með frávikum í talningarhraðanum á hverjum tíma á meðan mælingar standa yfir. En ekki verður hjá því komist að talningarhraði geigerteljara er í besta falli um fjórðungur af því sem næst í vökvasindurteljurum. Því er auðveldara að ná viðunandi nákvæmni þegar geislavirknin er mæld í vökvasindurteljurum þegar virknin í sýnum er mjög lítil. Þess utan virðist efri þröskuldur vera á talningarafköstum geigerteljara, sem minnir á metnun, og sterk sýni sýna því líka frávik frá línulegri talningarheimt í geigerteljurum (Viðauki D). En kostir geigerteljara eru hve einfaldir þeir eru í notkun og að þeir eru bæði meðfærilegri og vistvænni en vökvasindurteljarar (sindurvökvi er heilsuspillandi efni).

2.5.2. Geislavirkni ^{14}C skammta með mismunandi framleiðslunúmer

Frá upphafi framleiðnimælinga hefur verið notað geislavirkt kolefni í bikarbonatlausn, keypt frá C-14 Centralen í Danmörku, eins og fram er komið. Geislavirknin er nánast eins í hverri glerlykju með tiltekið framleiðslunúmer (*batch*). Framan af voru keyptir skammtar með 4 μCurie (74 kBq), eins og áður hefur verið nefnt, en frá því 1982 hafa verið keyptir skammtar með 10 μCurie virkni (370 kBq). Fram til 1980 þurfti að kvarða virknina í glerlykjunum í hvert skipti sem keyptar voru nýjar birgðir með nýju framleiðslunúmeri. Fyrst var þetta gert með því að fella út bikarbonat úr nokkrum glerlykjum með sama framleiðslunúmeri og mæla síðan virknina í botnfallinu í geigerteljara. Frá 1974 var notaður

aðgreiningar frá því efni sem situr á yfirborði síanna. Þannig er það líka notað hér og þar sem ekki varð staðfest að þetta hugtak hafi ratað inn í orðabækur er þess getið hér.

sindurteljari á raunvísindadeild Háskóla Íslands til að mæla virknina. En síðan 1980 hafa fylgt kvörðunarskírteini frá seljanda með hverri sendingu (batch 413, Tafla 3 í Viðauka D).

Meðan notaðar voru glerlykjur með 4 μ Curie var allt innihald hverrar glerlykju skolað út í viðkomandi sýni. En samtímis því að farið var að kaupa geislakolskammta með meiri virkni árið 1983 var tekin upp sú nýbreytni að skammta 200 μ l í hvert sýni með míkropípettu í stað þess að skola öllu innihaldinu í hvert sýni. Ítarlegur samanburður á nákvæmni í samanburðarsýnum sýndi að þessi skömmtun var ekki síður nákvæm en fyrra verklag.

2.5.3. Sindurteljarar og samanburður geigertalninga

Í fyrstu voru vökvasindurteljarar í þessum rannsóknum aðeins nýttir til að kvarða nýfengna skammta með bikarbonatlausnum, eins og fram er komið, en síðar voru einnig sýni mæld til að bera saman niðurstöður talninga í geigerteljurum og vökvasindurteljurum. Í árána rás hafa fjölmörg sýni verið endurtalin, bæði með BOF-aðferð í geigerteljarum og í vökvasindurteljara. Þannig hefur fengist góður samanburður á niðurstöðum mismunandi aðferða. Jafnframt hefur fengist samanburður sem spannar mælingar í nokkrum geigerteljurum og margar talningarlotur, sem styðjast við mismunandi kvarðanir á tækjum og skömmtum (Viðauki D). Fyrsti samanburður á talningum á framhlið sýna (OFAN-talningar) annars vegar og fram og bakhlið (BOF-talningar) hins vegar var gerður 1984. Niðurstaðan þá var að eldri mælingar á ^{14}C -upptöku hefðu leitt til vanmats á framleiðni, sennilega 20% að jafnaði. Páll Theodórsson benti jafnframt á með fræðilegum rökum, að fyrri framhliðsmælingar hafi vanmetið geislavirkni sýna um 18% (Viðauki E). Endurskoðun á gögnunum sem notuð voru í samanburðinum 1984 sýndi að tekið hafði verið tillit til 5% tregari upptöku á geislavirku bikarbonati miðað við venjulegt bikarbonat við reikninga á endurtalningum, en það hafði ekki verið gerti í eldri útreiningum. Því má ætla að niðurstaðan hefði átt að vera 15% vanmat í stað 20%. Munurinn getur þó vitanlega verið verulega breytilegur fyrir einstök sýni og frá einni talningarhrinu til annarrar og í ljósi þess hefur þótt varhugavert að breyta öllum niðurstöðum mælinga á frumframleiðni fyrir 1983 til samræmis við framangreindar niðurstöður. Niðurstöður mælinga á frumframleiðnisýnum sem skráðar eru í gagnagrunninn fram til ársins 1983 eru því samkvæmt upphaflegum OFAN-talningum, þ.e.a.s. óbreyttar hvað þetta varðar. Nánar er skýrt frá útreikningum á upptöku geislakols og frumframleiðnimælingum, auk samanburðar sem gerður var á niðurstöðum endurtalninga á sýnum í viðaukum (Viðaukar A - D).

2.6. Skráðar mælingar, aðrar en frumframleiðni

Megnið af skráðum niðurstöðum mælinga frá rannsóknum á plöntusvifi í gagnagrunni Hafranssóknastofnunarinnar eru niðurstöður mælinga á frumframleiðni, eins og komið hefur fram. Auk þeirra eru skráðar niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu, sjóndýpi og lithlutfalli. Eftirfarandi er stutt yfirlit um hvernig staðið hefur verið að öðrum mælingum en frumframleiðni.

2.6.1. Mælingar á a-blaðgrænu

Árið 1973 hófust mælingar á a-blaðgrænu samhliða framangreindum framleiðnimælingum og öðrum rannsóknum á plöntusvifi í sjónum hér við land. Frá fyrstu tíð hefur verið stuðst við aðferðalýsingu frá SCOR/UNESCO (Anon. 1966).

Fyrstu þrjú árin, 1973-1975, var notaður litrófsmælir af gerðinni Unicam SP500, sem þá var til á stofnuninni. Ljósangur kúvettunnar í tækinu var of þröngur, sem olli vanmati á mældri a-blaðgrænu. Allar niðurstöður viðkomandi mælinga þurfti að hækka um 60%, samkvæmt samanburðarmælingum árið 1976 og framkvæmdar voru í gamla mælinum og öðrum nýjum litrófsmæli, Beckman M26. Tekið hefur verið tillit til þessara leiðréttinga í gagnagrunninum. Litrófsmælir stofnunarinnar hafa verið endurnýjaður tvisvar eftir þetta, annars vegar var tekinn í notkun Varian mælir árið 1989 og hins vegar mælir af gerðinni Cary 100 Conc árið 1999. Ekki hefur verið tilefni til að leiðrétta kerfisbundið aðrar niðurstöður a-blaðgrænumælinga en þær fyrstnefndu.

Annað sem vert er að nefna er að fram til 1976/1977 var notast við Millipore membran síur, sem halda eftir ögnum stærri en 0,2 μm eins og síurnar sem notaðar eru við mælingar á frumframleiðninni. Þessar síur leysast upp við útdrátt blaðgrænu í 90% acetoni. Vegna vandræða með grugg sem hlaut af uppleystum membransíunum var farið að nota Whatman GF/C glerfíbersíur árið 1977 og þær hafa verið notaðar við allar mælingarnar á blaðgrænu eftir það. Gruggvandamálið var þar með úr sögunni, en GF/C síurnar eru grófari en membransíur og agnir allt að 1,2 μm geta sloppið í gegnum þær (Mantoura o.fl. 1997). Munurinn á síum sem notaðar eru til að sía agnir frá framleiðnisýnum og a-blaðgrænu sýnum er því orðinn talsverður hvað varðar minnstu svifþörunga. Erlendar rannsóknir hafa sýnt fram á að þetta geti verið umtalsverður hluti af heildinni (Li o.fl. 1983, Joint o.fl. 1984, Vault o.fl. 1990). Þetta á sérstaklega við úti á opnu næringarsnaudu hafi í hitabeltinu þar sem þéttleiki gróðurs er gjarnan lítill. Hérlendis hefur ekki verið rannsakað hvort þessir smáu svifþörungar geti verið umtalsverður hluti af gróðrinum, en það er álitíð sennilegt að þetta skipti yfirleitt ekki miklu máli miðað við heildina, m.a. vegna þess að hér er sjaldnast varanlegur skortur á næringarefnum. Whatman GF/F síur sía betur þær agnir sem eru minni en 1 μm í þvermál. Notkun þeirra samrýmist því betur notkun membransía en GF/C síur (Mantoura o.fl. 1997).

Eins og komið er fram hefur yfirleitt verið farið eftir aðferðalýsingu SCOR/UNESCO (Anon. 1966) þegar magn a-blaðgrænu hefur verið mælt á Hafrannsóknastofnuninni. Samkvæmt þeirri aðferð er hæfilegt rúmmál af sjó síað (1 lítri). Framan af var 1 ml af mettaðri MgCO_3 lausn bætt út í hvert sýni. Magnesíumlausnin sem sett var út í sýnin fyrir síun, var talin hindra niðurbrot a-blaðgrænu og bæta síunareiginleika glerfíbersíanna. Þessu var hætt árið 1997, enda breytir það engu varðandi niðurstöður mælinga (Holm-Hansen og Riemann 1978, Nusch 1980, Marker o.fl. 1980, Mantoura o.fl. 1997). Ávallt er miðað við að undirþrýstingur við síun sé tæplega 1/3 úr loftþyngd. Sýnin hafa ýmist verið þurrkuð í boxi með þurrksteinum (silikagel) og geymd þannig í kæli eða fryst strax eftir síun og geymd í frysti fram að mælingu. Báðar geymsluaðferðirnar hafa gefið góða raun og ekki fannst marktækur munur við samanburð á deilisýnum þegar tilraunir á geymsluþoli voru gerðar. Enginn greinarmunur er gerður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu, hvort heldur magnesíumlausn var bætt í sýnin eður ei og heldur ekki eftir því hvort sýni voru mæld strax eftir sýnatöku eða fryst eða þurrkuð og geymd í kælikáp í allt að þrjú mánuði.

Fyrir mælingu er blaðgrænan á síunni leyst upp í 90% acetoni. Blaðgrænulausnin úr þekktu rúmmáli af síudum sjó er leyst upp í ákveðnu rúmmáli leysiefnis og síðan mæld við fjórar bylgjulendir í litrófsmæli. Þrjár bylgjulengdanna eru til að meta ljósgleypni mismunandi blaðgrænu, a, b og c, en sú fjórða er notuð til að meta hve tært sýnið er. Grugg í sýninu eykur ljóstapið og dregur úr næmni aðferðarinnar, en magn blaðgrænu er í réttu hlutfalli við gleypni ljóss á viðkomandi bylgjulengd.

Bylgjulendirnar þrjár sem gleypni er mæld á þegar notaðar eru þrílitamælingar (trichromatic methods) til að mæla blaðgrænu eru lítið eitt breytilegar frá einni aðferð til annarrar og sömuleiðis fastarnir sem notaðir eru til útreikninga á magni blaðgrænu, en óverulegur munur er á útkomunni í flestum tilvikum (Jeffrey & Welschmeyer 1997). Fjöldi birtra aðferða er mikill og munurinn felst meðal annars í hvaða leysiefni er valið, hvort lausnin er mæld í ljósgleypnimæli eða flúrljómunarmæli og hvort litarefnin eru einfaldlega mæld í lausninni eins og hún kemur fyrir að loknum úrdrætti eða hvort litarefnin eru aðskilin fyrir mælingu (chromatography). Ýmsar tilraunir og samanburðarannsóknir hafa verið gerðar á undanförunum árum á Hafrannsóknastofnuninni til að veða og meta hvort ástæða er til að hagræða vinnuferlinu, eða taka upp nýrri aðferðir en áður höfðu verið valdar. Mismunandi leysiefni og aðferðir til að rjúfa frumuveggi til að hámarka úrdrátt á blaðgrænu hafa verið prófuð og auk þess hefur verið gerður samanburður á geymsluaðferðum og könnun á geymsluþoli a-blaðgrænu fyrir mælingar. Mismunandi mæliaðferðir hafa verið prófaðar, bæði ljósgleypnimælingar og flúrljómunarmælingar, og mælingar með og án leiðréttingar fyrir niðurbrotsefnum a-blaðgrænu. Loks hafa verið mæld önnur afbrigði af blaðgrænu og karóten litarefni, meðal annars í háþrýstivökvagreini (HPLC).

Niðurstöður deilisynda sem leyst hafa verið upp með mismunandi leysiefni (acetone, etanol) hafa verið bornar saman og einnig mismunandi aðferðir við að leysa upp a-blaðgrænu (mölun, hátíðnihljóð og lenging uppleysingartímans). Munur á niðurstöðum þessarar mismunandi aðferða er yfirleitt lítill og sjaldnast marktækur. Engin ein aðferð hefur sýnt sig að vera öðrum fremri við þær aðstæður sem hafa verið prófaðar hér til mælinga á litarefnum í litrófsmæli og því hefur ekki þótt ástæða til að breyta um vinnulag. Sömu sögu má segja varðandi samanburð á niðurstöðum mælinga með litrófsmælum annars vegar og flúrljómunarmælum hins vegar. Mælingarnar hafa skilað sambærilegum niðurstöðum ef tillit er tekið til hvort aðferðin aðgreinir niðurbrotsefni frá a-blaðgrænu eða ekki. Kostir flúrljómunarmælinga, sem eru fyrst og fremst mikil næmni, hafa verið nýttir í einstökum verkefnum, sér í lagi þegar fjöldi sýna er mikill og tiltækt rúmmál af sjó því takmarkað. Aðeins takmarkaður hluti niðurstaðna úr þessum prófunum hefur verið birtur.

Í rannsóknum á aðstæðum til kræklingaræktar í Mjóafirði árið 2000 voru tekin tvö sambærileg sýni hverju sinni, annars vegar til mælinga í litrófsmæli og hins vegar í háþrýstivöskvilju (Ása G. Kristjánsdóttir 2003). Litrófsmælingarnar tóku mið af nokkrum mismunandi aðferðum til mælinga á litarefnum í úrdrætti í 90% acetoni og niðurstöðurnar voru bornar saman bæði innbyrðis og við niðurstöður mælinga í háþrýstivöskvilju (Viðauki F). Samkvæmt þessum niðurstöðum var lítill munur á magni a-blaðgrænu sem mælt var í litrófsmæli, en magn a-blaðgrænu samkvæmt mælingum í háþrýstivöskvilju var hins vegar talsvert lægra, sem er í samræmi við niðurstöður annarra (Gieskes 1991, Þórarinn S. Arnarson 1996, Ása G. Kristjánsdóttir 2003).

Niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu í háþrýstivöskvilju (HPLC) hafa almennt skilað lægri niðurstöðum en samhliða mælingar í litrófsmæli. Birtar niðurstöður hafa verið á bilinu 10% (Ása Kristjánsdóttir 2003) til 30% lægri (Gieskes 1991, Þórarinn S. Arnarson 1996). Sennilegasta skýringin á þessum mun er að í háþrýstivöskviljum eru litarefni aðskilin og þar með talin a-blaðgræna, sem er þá aðgreind frá ýmsum öðrum efnum sem mælast sem a-blaðgræna í litrófsmæli vegna skörunar í ljósgleypni efnanna (Ása G. Kristjánsdóttir 2003). Þetta á m.a. við um niðurbrotsefni a-blaðgrænu, en að einhverju leyti geta þau myndast við meðhöndlun sýna við síun og útdrátt í leysiefnum, eða við annan undirbúning sýna fyrir mælingu (Porra o.fl. 1997). Þá er og álitamál hvort réttmætt er að aðgreina þau með þessum hætti frá mældri a-blaðgrænu.

Megnið af þeim sýnum sem tekin hafa verið í rannsóknaleiðöngurum stofnunarinnar til mælinga á a-blaðgrænu á undangengnum árum eru frá 10 m dýpi. Í seinni tíð hefur hins vegar árlegur fjöldi sýna til mælinga á a-blaðgrænu aukist, en mælingum á upptöku geislakols fækkað. Sýnataka til mælinga á blaðgrænu, hefur tekið mið af kvörðun flúrljómunarmælinga í dýptarsniðum sem mæld eru með sondu (CTD). Það er enn ein aðferðin til að mæla a-blaðgrænu, en helsti kostur hennar er að mæla má blaðgrænumagn í sjó án undangenginnar sýnatöku og undirbúningsmeðhöndlunar og aðeins þarf að taka sýni til kvörðunar. Það má því mæla samfelt, bæði tímarunur á baujulögn, um borð í skipi á ferð, með tækjum sem dregin eru aftan í skipi milli staða eða sökkt lóðrétt frá skipshlið. Til mælinga á flúrljómun í dýptarsniðum í leiðöngurum stofnunarinnar hafa verið notaðir SeaTech™ flúrljómunarmælar sem komið er fyrir á Seabird™ sonnum. Niðurstöður mælinganna eru geymdar sem hluti af gagnasafni sjófræðirannsókna, þ.e. seltu- og hitamælingar gerðar með sonnum.

2.6.2. Sjóndýpi

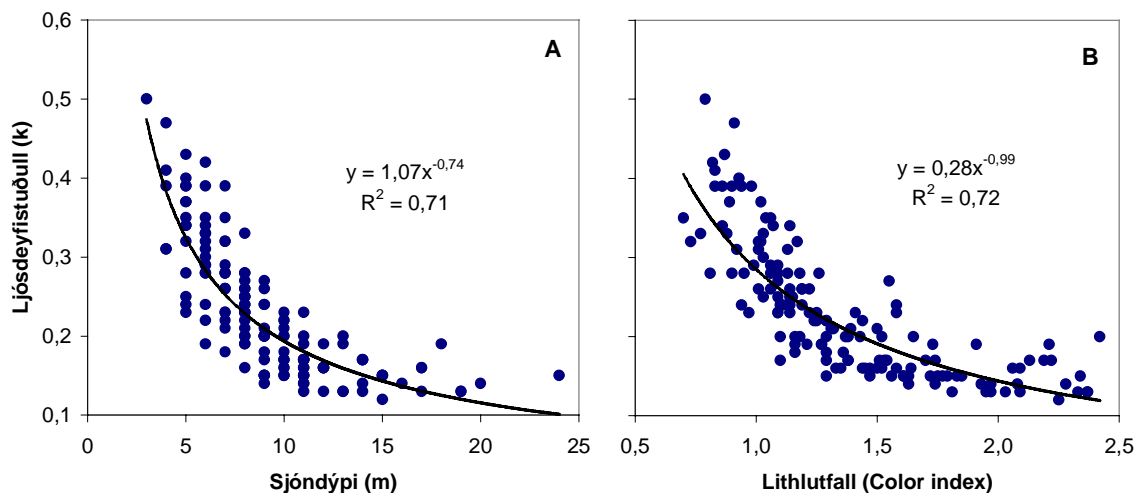
Frá því byrjað var að rannsaka plöntusvifið í reglubundnum leiðöngurum hér við land hefur sjóndýpi, sem stundum er kallað rýni, verið kannað samhliða sýnatöku til mælinga á framleiðni. Sjóndýpi hefur verið mælt á flestollum þeim stöðvum sem rannsakaðar hafa verið þegar bjart er af degi og þessar einföldu mælingar eru helsta heimildin um ljósdeygingu í sjó við Ísland. Sjóndýpið er mælt með því að slaka rólega hvítri skífu (Secchi disc), sem er 30 cm að þvermáli, frá skipshlið þar til hún hverfur sjónum. Dýpið þar sem skífan var ekki lengur greinanleg er skráð sem sjóndýpi, eða rýni, á viðkomandi stöð. Sjóndýpið ræðst af því hve gruggugur sjórinn er. Mælingin gerir ekki greinamun á því hvort deyging ljóss með dýpi er af völdum agna af lífrænum eða ólífrænum toga, eða jafnvel

uppleystum efnum sem gleypa sýnilegt ljós. Nærri landi, yfir grynningum og undan jökulám, má búast við talsverðum áhrifum af leirkenndum ögnum á sjóndýpið. Úti á hafi er það hins vegar fyrst og fremst plöntusvifið sem dregur úr skyggni í sjónum. Almenn notkun sjónskífa (Secchi disc) í rannsóknum á plöntusvifi segir sitt um notagildi aðferðarinnar. Talsverð umfjöllun er til um slíkar mælingar og kostum og göllum aðferðarinnar lýst í ýmsum greinum (Pool & Atkins 1929, Tyler 1968, Højerslev 1978, Aas 1980, Preisendorfer 1986). Aðferðin hefur haldið gildi sínu þrátt fyrir að fram hafi komið ýmsir rafræni mælar. Samanburðarannsóknir á niðurstöðum mælinga á sjóndýpi og annarra mælinga á ljósdeyfinu í sjó hafa verið gerðar á Hafrannsóknastofnuninni (Viðauki G).

2.6.3. Lithlutfall (colour index)

Danskur eðlisfræðingur (Jerlov 1974), lýsti aðferð til að meta ljósdeyfinu sjávar út frá mælingum á endurvarpi á bláu og grænu ljósi rétt undir yfirborði sjávar, þ.e. lithlutfallinu $F = 447 \text{ nm} / 521 \text{ nm}$ (colour index). Lithlutfallsmælir Jerlovs metur því lit sjávar, eða endurvarp ljóss frá sjónum, svipað og gert er þegar blaðgrænumagn í yfirborðslögum sjávar er mælt frá gervitunglum. Af lit sjávar má ráða magn svifgróðurs því sjórinn er í eðli sínu blár, endurvarpar bláum ljósgeislum, en verður grænleitur þegar magn blaðgrænu eykst því blaðgrænan í svifþörungum endurvarpar grænu ljósi. Jákvæð fylgni er því milli annars vegar hlutfalls græns ljóss miðað við blátt og hins vegar magns a-blaðgrænu í sjó.

Lithlutfallsmælir var smíðaður á Raunvísindastofnun Háskólans árið 1979. Hann var notaður um nokkra ára skeið samhliða mælingum á sjóndýpi. Vonir voru bundnar við að lithlutfallsmælingar skilufu betra mati á ljósdeyfinu í sjó en sjóndýpi. Niðurstöður lithlutfallsmælinga áttu til dæmis að vera óháðar gárum í yfirborði og endurvarpi ljóss á sléttum yfirborðsfleti, sem hindrar oft skyggni þeirra sem rýna eftir sjónskífum frá skipshlið.



5. mynd. Samanburður mælinga frá 147 stöðvum á árunum 1980–1983 á lóðréttri deyfingu ljóss í sjó. A) Sjóndýpi borið saman við deyfistuðul ljóss (k) sem fundinn var með beinum mælingum ljóss á mismunandi dýpum sem hlutfall af yfirborðsljósi og leiðréttinga vegna endurvarps í yfirborði og B) mælt lithlutfall á eins metra dýpi (sbr. Jerlov 1974) borið saman við ljósdeyfistuðulinn.

Figure 5. Comparison of measurements on vertical light attenuation at 147 station around Iceland in 1980-1983. A) Secchi depth compared with the light attenuation coefficient, found by direct measurement of light at different depth as ratio of surface irradiation, corrected for reflection of light at the surface and B) measured color index (c.f. Jerlov 1974) at 1 m depth compared with the light attenuation coefficient (k).

Lithlutfallsmælirinn mældi ljós á eins metra dýpi og var festur neðan í flotholt sem kastað var út frá skipshlið og fylgdi því ölduhreyfingum. Dýpið þar sem mælingarnar voru framkvæmdar átti því ekki að raskast af ölduhreyfingum, en þegar sjóndýpi er mælt þá skapast talsverð óvissa um hvert sé rétta dýpið þegar skip ýmist rís eða hnígur í öldum. Þess utan átti rafræni mælirinn að skila niðurstöðum sem væru ekki einstaklingsbundnar eins og

sjón manna vissulega er. Sýnt hafði verið fram á gott samband lithlutfallsmælinga og beinna mælinga á ljósdeyfingu í sjó (Højerslev & Jerlov 1977, Højerslev o.fl. 1977). Tilraunir með þessum búnaði á Hafrannsóknastofnuninni sýndu hins vegar að breytileiki í niðurstöðum mælinga á lithlutfalli og sjóndýpi var mjög áþekkur. Ekki var marktækur munur í fylgni mælinganna þegar þær voru bornar saman við samtíma ákvarðanir á 10% ljósdýpi ($Z_{10\%}$). Ljósdýpið var fundið með línulegri aðfallsgreiningu beinna mælinga á deifingu ljóss með dýpi á viðkomandi stöðvum. Við útreikninga á 10% ljósdýpum var tekið tillit til endurvarps ljósgeislunar í yfirborði sjávar. (5. mynd a,b). Bilanatíðni tækisins var hins vegar mikil og notkun lithlutfallsmælisins var því hætt.

3. NIÐURSTÖÐUR / RESULTS

Gagnagrunnur Hafrannsóknastofnunarinnar er byggður á svo kölluðu ORACLE gagnagrunnskerfi. Allar frumframleiðnimælingar og upplýsingar þeim tengdar frá árabílinu 1958 til 1999 eru skráðar í töflur sem heita *phyto.station* og *phyto.prod*. Notast er við sameiginlegt kerfi tilvísana í gagnatöflum sjórannsóknna (hiti, selta, næringarefni o.fl) og plöntusvifsrannsóknna, kerfi sem auðveldar samþættingu niðurstaðna frá ólíkum fagsviðum.

3.1. Skráning framleiðnimælinga

Þórunn Þórðardóttir kynnti fyrstu niðurstöður um árlega meðalframleiðslu plöntusvifs á hafsvæðinu við Ísland á haustfundi Alþjóðahafrannsóknaráðsins árið 1976. Þá þegar var fjöldi mælinga orðinn álitlegur. Mikil vinna lá að baki gróðurkortsins sem lagt var fram, bæði margra ára gagnasöfnun og viðamiklir útreikningar. Gögnunum var í þetta sinn skipt upp eftir svæðum, sem voru talin tiltölulega einsleit. Nokkrum árum síðar opnuðust möguleikar á að farið yrði yfir dæmið á nýjan leik í kjölfar tölvuvæðingar. Markvissri skráningu gagnanna á tölvutækt form var hrundið af stað árið 1980. Ýmsir starfsmenn þörungudeildarinnar komu að þessu verki og nokkrum árum síðar voru gögnin að mestu komin á stafrænt og aðgengilegt form. Endurmat á meðalframleiðni íslenska hafsvæðisins, byggt á útreikningum niðurstaðna sem skipt var upp eftir reitum var unnið í framhaldi af þessu árið 1983. Stærð reita var fjórðungur úr breiddargráðu og hálf lengdargráða. Gögnin sem lágu til grundvallar útreikningunum voru frá árunum 1958 til 1982. Sömu gögn voru einnig notuð til útreikninga á meðalframleiðni svæðisins byggðri á skiptingu gagnanna eftir föstu stöðvaneti (1. mynd). Síðar hefur bæst við skrárnar, en tregðu gætti fyrst um sinn til að nota framleiðnimælingar sem gerðar voru eftir 1983 sökum óvissu varðandi breytingar á aðferð við mælingarnar (BOF-talningar á geislavirkni framleiðnisía). Einnig hefur farið mikill tími í yfirlestur og villuleit. Grannt var farið í saumana á niðurstöðum í úrtaki frá nær öllum einstökum leiðöngrum sem koma við sögu. Ef í ljós komu kerfisbundnar villur voru allar niðurstöður viðkomandi leiðangurs endurskoðaðar. Jafnframt hafa verið gerðar ýmsar prófanir á gögnunum til að koma auga á ótrúverðug gildi. Þau voru síðan borin saman við frumheimildir og kannað hvort þau væru nothæf.

Skrárnar hafa verið færðar milli nokkurra tölvukerfa á liðnum árum, en árið 1990 voru öll fyrirliggjandi gögn færð yfir í ORACLE-gagnagrunn. Helsti kostur þess fyrirkomulags er að það auðveldar alla samþættingu fyrirliggjandi gagna frá mismunandi fræðasviðum. Augljóst er að auðvelt aðgengi að gögnunum hefur mikla þýðingu fyrir frekari rannsóknir, til dæmis ef skoða á hvaða áhrif breytingar í umhverfi svifþörungna geta haft á gróðurfarið.

Niðurstöðurnar eru skráðar í tvær gagnatöflur í gagnagrunninum sem heita *phyto.station* og *phyto.prod* (Tafla 2). Taflan *phyto.station* er listi með öllum stöðvanúmerum og leiðangurseinkennum ásamt upplýsingum um staðsetningu stöðva og tímunn þegar sýnataka átti sér stað. Þar eru líka skráðar niðurstöður mælinga sem ekki tilheyra einstökum sýnatökudýpum, eins og t.d. sjóndýpi. Hvert stöðvarnúmer og viðkomandi leiðangurseinkenni kemur því aðeins fyrir í einni færslu í *phyto.station* töflunni. Taflan *phyto.prod* er hins vegar miðuð við að sérhver sýnataka sé aðskilin færsla. Í *phyto.prod* er því ein lína fyrir hvert sýnatökudýpi sem rannsakað var á hverri einstakri stöð, svo fremi

einhverjar niðurstöður slíkra mælinga liggja fyrir. Fjöldi skráðra sýnatökudýpa getur þannig verið ótakmarkaður á hverri stöð.

Tafla 2. Skýringar á dálkaheitum í gagnatöflunum *phyto.station* og *phyto.prod*.

Table 2. Names of columns in the ORACLE tables *phyto.station* and *phyto.prod*, and some relevant explanation and units of the records. The first section with column names applies to both the tables as the eight respective columns are for identification of records.

Eftirfarandi átta dálkar eru samhljóða í báðum töflunum

T_ID	sérstakt númerakerfi sem vísar til rannsóknar á stöð, númerakerfið er samhæft við gagnagrunn sjórannsóknna
ID	hlaupandi stöðvanúmer fyrir hvert skip og ár
THE_DATE	söfnunardagur
SHIP	skipakóði (3 = ÁF; 5 = BS)
SNN	hver skráði fyrst
SNT	hvenær skráð fyrst
SBN	hver breytti skráningu (síðast)
SBT	hvenær skráningu var breytt (síðast)

phyto.station

LATITUDE	gráður og mínútur norðlægrar breiddar (t.d. 6450 er 64°50′)
LONGITUDE	gráður og mínútur vestlægrar lengdar (t.d. 2430 er 24°30′)
RYN	sjóndýpi í metrum
INDX	indextala, hlufall af grænu og bláu ljósi
SNID_STOD	snið númerið réttisælis frá Reykjanesi umhverfis landið og stöðvnúmer frá landi og út
LEIDANGUR	einkenni leiðangurs (t.d. B7-95)
BLAD_INNTAK	blaðgræna, sýni frá sírennsliskerfinu

phyto.prod

DEPTH	söfnunardýpi í metrum
PROD	mæld ¹⁴ C-upptaka við ljósmettun (mg m ⁻³ h ⁻¹)
BLAD	mæld blaðgræna (mg m ⁻³)
BLACK	¹⁴ C-upptaka í myrkri
FLUOR_METER	hvaða flúrljómunarmælir var notaður
REL_FSU	aflestur flúrljómunar af mæli á sondu
CHL_FSU	reiknuð blaðgræna skv flúrljómunamæli á sondu

3.2. Tengingar við aðrar gagnatöflur

Ákveðnar lykilupplýsingar um hvar og hvenær rannsóknin var gerð á viðkomandi stöð, eru skilyrðislaust skráðar í *phyto.station* töfluna og sama á við dýpið í *phyto.prod* töflunni. Sérstakt númer sem er hlaupandi færslunúmer í dálknum *t_id*, er fært fyrir hverja stöð sem skráð er í töfluna *hydro.station* í gagnagrunni sjórannsóknna (hita-, seltu-, næringarefna- og mælingar o.fl.). Sama númerakerfið er einnig notað í umræddum gagnagrunni plöntusvifrannsóknna. Samhæfingin með notkun færslunúmeranna í *t_id* dálknum, auðveldar allar tilvísanir milli taflanna og samþættingu gagna sem sótt eru úr gagnagrunnum. Þessi færslunúmer fá væntanlega í framtíðinni tilsvarende samsvörun í gagnatöflum með niðurstöðum dýrasvifrannsóknna. Þannig eru fyrirbyggjandi niðurstöður mismunandi fagsviða samþættalegar og auðfundnar þeim sem hafa aðgang að viðkomandi gagnatöflum. Hver færsla er auk þess rekjanleg eftir dagsetningu (ár, mánuður og dagur), staðsetningu (lengd- og breidd gefið upp sem gráður og mínútur) og sýnatökudýpi. Gögnunum má þannig skipta upp að vild eftir tímabilum, svæðum og/eða dýpi.

3.3. Umfang framleiðnimælinga

Um 1990 voru allar eldri mælingar komnar á skrá og gagnasafnið yfirfarið. Grein sem fjallaði um samanburð á þremur mismunandi aðferðum til að reikna út dagsframleiðslu (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991) var kynnt á haustfundum Alþjóðahafrannsóknaráðsins 1991 og í framhaldi af því var meðal ársframleiðni íslenska hafsvæðisins endurmetin (Þórunn

Þórðardóttir 1994). Síðan hafa öll gögn verið skráð og yfirfarin fram til 1999, en það ár urðu tímamót varðandi gagnasöfnun. Upplýsingaöflun í vöktunarverkefnum var einfölduð árið 2000. Ekki er lengur mæld framleiðni í einstökum sýnum við ljósmettun á hverri stöð. Þess í stað eru valdar færri stöðvar til framleiðnimælinga og þar rannsakaður afkastaferill ljóstillífunar. Jafnframt er lögð aukin áhersla á a-blaðgrænumælingar, bæði með sýnatöku og óbeinum aðferðum (flúrljómun). Árið 1999 markar því endalok þeirrar hefðar í sýnatöku sem Þórunn Þórðardóttir mótaði í upphafi ferils síns varðandi mælingar á framleiðni í sjó við Ísland. En þó svo að upplýsingum sé ekki lengur safnað á þann hátt, þá eru þau umfangsmiklu gögn sem fyrir liggja enn mikilsverður grunnur sem rannsóknir á framleiðni við Ísland geta byggst á samhliða nýjum rannsóknarstöðum.

Flest árin frá 1958 til 1999 var venjan að rækta sýni frá fjórum föstum dýpum á hverri stöð, það er yfirborðssýni og sýni frá 10, 20 og 30 m dýpi. Fjöldi athugana er því um það bil fjórum sinnum meiri en fjöldi stöðva í umræddum töflum og er hér gert grein fyrir 31.969 sýnatökum á 8.835 stöðvum alls, teknum á 42 árum. Undantekningar frá ofangreindri sýnatökuvenju á stöðvum eru þó ekki óalgengar og sumar stöðvarfærslur eiga aðeins við mælingar á a-blaðgrænu eða sjóndýpi.

Fjöldi stöðva í hverjum leiðangri og fjöldi leiðangra á ári hefur verið mjög breytilegur frá ári til árs. Dreifing stöðva miðað við söfnunarár og dreifing stöðva miðað við mánuði hvers árs hefur verið tekin saman (Tafla 3). Eins og komið hefur fram má rekja mestan hluta gagnanna til svokallaðra vorleiðangra, sem farnir voru á tímabilinu frá miðjum maí og fram í miðjan júní á hverju ári (Tafla 3).

Staðsetning fastra söfnunarstöðva umhverfis Ísland er sýnd á korti (1. mynd), en þar kemur þó ekki fram fjöldi athugana á föstu stöðvunum. Yfirleitt voru tekin sýni á föstum stöðvum minnst einu sinni á ári. Rétt er að geta þess að með hugtakinu föstum stöðvum og sniðum er ekki átt við að þetta hafi verið óbreytt frá upphafi. Þegar staðsetningar stöðva eru skoðaðar kemur í ljós að í árunna rás hafa athuganir farið fram á u.þ.b. 24 skilgreindum sniðum, yfirleitt frá grunnsævi og út á landgrunnsbrún eða dýpra. Sum sniðin hafa lagst af og önnur tekið við. Þannig tók snið sem liggur í vesturátt út sunnanverðan Faxaflóann og til hafs við af tveimur sniðum, öðru vestur af Reykjanesi og hinu vestur af Snæfellsnesi, en þau höfðu bæði verið rannsökuð reglulega fram til ársins 1982. Annað dæmi um tilfærslu er sniðið í vestur frá Látrabjargi sem var snúið til norðvesturs.

Í *phyto.station* töflunni er dálkur sem heitir *snid_stod*, sem vísar til hlaupandi númers á sniðum, talið réttisælis frá Reykjanesnieti og umhverfis landið, og númera á stöðvum hvers sniðs, þar sem grynna stöðin er ávallt með lægsta númerið og síðan talið í áttina út frá landinu. Tölugildin í dálknum *snid_stod* eru lesin þannig að ef deilt er í þau með 100 þá á útkoman í heilum tölum við um númer sniðanna, en næstu tvö sætin fyrir aftan kommuna segja til um númer stöðvanna á sniðinu. Fyrsta stöð á sniði út frá Faxaflóa er staðsett vestur af Akranesi (1. mynd) og hefur númerakóðann 201 (Tafla 4), þ.e. snið 2 og stöð 01. Fjöldi stöðva á hverju sniði er mismunandi. Yfirlit yfir fjölda skráðra rannsókna í töflunni *phyto.station*, á hverri einstakri stöð á fyrrnefndum föstu sniðum, hefur verið tekinn saman fyrir árin 1958-1999 (Tafla 4).

Alls eru skráðar 8.835 stöðvatökur í töflunni *phyto.station* frá árunum 1958-1999. Þessi fjöldi á við allar færslur, óháð því hvað er mælt. Á sama tímabili er heildarfjöldi færsla með niðurstöðum mælinga á frumframleiðni 30.678, sem dreifast á 7.394 stöðvar og oftast fjögur dýpi á hverri stöð. Sjóndýpi er skráð á 4.847 af þessum stöðvum, eða í ríflega helmingi tilfella, enda aðeins mælt meðan dagsbirtu nýtur. Niðurstöður a-blaðgrænu eru skráðar frá 9.446 stöðvum, en þar á meðal eru 8.155 skráningar þar sem til er bæði mæling á a-blaðgrænu og framleiðni á sömu stöð og sama dýpi og þar af eru 5.293 frá 10 m dýpi. Dreifing framleiðni- og a-blaðgrænumælinga miðað við söfnunardýpin ber það með sér að venjulega var framleiðnisýnum safnað á fjórum stöðluðum sýnatökudýpum og sýnum til mælinga á a-blaðgrænu safnað lengst af á einu dýpi (Tafla 5).

Tafla 3. Fjöldi stöðva, sem skráðar eru á *phyto.station* skipt eftir mánuðum hvers árs.

Table 3. The distribution of stations recorded in the ORACLE-database, the table *phyto.station*, by months and years.

AR:\ MÁN:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	SAMT.:
1958					53	76							129
1959					57	75							132
1960					26	23	2	14					65
1961					39	66	50		38				193
1962					48	31	23	13					115
1963						46	26	26	30				128
1964	11					72	14	15	13				125
1965					72	61	8	54	13				208
1966			24	47	71	91	24	23	24	20	19		343
1967	24		19	4	66	26							139
1968				7		17	16						40
1969				9		26							35
1970						54							54
1971					66			64	21	15	45		211
1972		52		23	34	51	27						187
1973			24	25	24	83		48	19				223
1974			8	26	84	40	5	40	7	17	3		230
1975			9	26	84	53	51	50					273
1976				28	78	84	9	75					274
1977			1	55	182	66	20	77			5	6	412
1978			3	79	122	113		98	46				461
1979			8	90	108	107	19	91					423
1980				66	170	42	32	86					396
1981			30	104	165	94		81	5				479
1982				112	93	77		82	42				406
1983				49	114	103		30					296
1984					57	52							109
1985				11	30	65							106
1986					53	42				2			97
1987		25			24	57			64				170
1988					96	3			52				151
1989					41	114			56				211
1990			37	15	133	55		15					255
1991				40	132	38	9						219
1992			52		139	54		46	23				314
1993				24	80	15		57					176
1994			12	9	94	58		66	1				240
1995				45	82	49	12	70		12			270
1996					67	50							117
1997					67	34							101
1998					35	74							109
1999				49	149	15							213
ALLS:	35	77	227	943	3035	2352	347	1221	454	66	72	6	8835

Tafla 4. Fjöldi skráðra stöðva, samkvæmt gögnum í *phyto.station* þar sem tenging er við niðurstöður mælinga á framleiðni og/eða a-blaðgrænu, sem skráð er í töfluna *phyto.prod*, raðað eftir sniðum og stöðvanúmerum umhverfis landið (skv. upplýsingum í dálknum *name* í töflunni *hydro.station*).

Table 4. The distribution of records of stations in the ORACLE-database, according to the table *phyto.station*, where either primary productivity and/or chlorophyll *a* is recorded in the table *phyto.prod*. The numbers are divided (according to information in the table *hydro.station*) on the permanent transects (*Snið*) and the stations on each of the transects (*Stöð*), i.e. the station grid around Iceland (Figure 1).

Snið:	Stöð:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ALLS:	name
1. Reykjanes		53	51	49	42	31	28	30	27					311	RE
2. Faxaflói		53	38	61	39	39	25	23	23	21	7	5	2	336	FX
3. Kolluáil															
4. Snæfellsnes		48	43	47	46	44	24	27	20					299	SN
5. Látrabjarg_V															
6. Látrabjarg_NV		54	51	48	42	45	34	41	38	38				391	LB
7. Barðagrunn															
8. Djúpáll															
9. Kögursnið		72	73	75	52									272	KG
10. Húnaflói		28	31	40	42	38	4	1						184	HF
11. Siglunes		70	69	72	71	63	54	46	42					487	SI
12. Melrakkaslétta		37	49	42	37	17								182	MS
13. Langanes_NA		48	54	49	46	44	51	18	13					323	LN
14. Þríhyrningur															
15. Langanes_A		55	53	55	49	42	38	39	25	1	1			358	LA
16. Krossanes		51	49	46	45	42	32	1						266	KR
17. Stokksnes		57	57	54	49	39								256	ST
18. Ingólfshöfði		2	2	2										6	IH
19. Meðallandsbukt															
20. Reynisdjúp															
21. Háfadjúp		59	73	64	47									243	HD
22. Selvogsbanki		110	115	107	95	93								520	SB
23. Krísvík															
24. Reykjanestá															

Tafla 5. Dýptardreifing skráðra mælinga.

Table 5. The distribution of recorded measurements of primary productivity and chlorophyll-*a*, by the sampling depths, according to the recordings in the ORACLE-table *phyto.prod*.

Dýpi (m)	frumframleiðni	a-blaðgræna
0	7533	463
1-9	127	180
10	7820	5779
11-19	119	124
20	7464	343
21-29	8	14
30	7270	2153
31-39	9	11
40	97	94
41-49	2	2
50	189	234
51-99	33	31
100	6	17
>100	1	1
Samtals:	30678	9446

Stundum hafa verið tekin aukasýni sem ræktuð voru við sömu aðstæður nema hvað ljósið er útilokað með því að hylja ræktunarflöskuna með álpynnu (nefnt myrkvuð sýni eða svartar flöskur). Niðurstöður þessara mælinga hafa aðeins að hluta til verið skráðar í gagnagrunninn, þó svo að til sé dálkur fyrir þessi gögn. Ástæðan er sú að ekki var gert ráð fyrir þessum gögnum í skrá þar sem niðurstöður framleiðnimælinga voru upphaflega skráðar og túlkun þessara mælinga hefur verið umdeild. Alls 131 færsla með myrkvuðum sýnum hafði verið skráð í gagnagrunninn þegar þetta er skrifað. Til að gefa hugmynd um breytileika í skráðum gildum var tekið saman meðaltal skráðra gilda og lægsta og hæsta gildið í þeim dálkum þar sem það á við, fyrir umrætt árabíl (Tafla 6) og þar má sjá að í myrkvuðum sýnum er alla jafna ekki mæld mikil upptaka geislakols, en breytileikinn er talsverður (25% staðalskekka miðað við 95% öryggismörk).

Tafla 6. Viðeigandi einingar fyrir upplýsingar (vinstri helmingur í töflu) og niðurstöður (hægri helmingur í töflu), meðaltöl, lægsta og hæsta tölugildi tekin saman fyrir árin 1958-1999.

Table 6. The units (einingar) of information (left side columns) and of the recorded measurements (right hand columns) used in the ORACLE-databases on phytoplankton researches, the mean of all recorded values (meðaltal) and the respective range of the recorded values (lægst, hæst) during 1958-1999.

	<i>the_date</i>	<i>latitude</i>	<i>longitude</i>	<i>ryn</i>	<i>indx</i>	<i>blad_inntak</i>
einingar	dagsetning	ddmm	ddmm	m	ratio	mg/m ³
meðaltal				10	150	2,5
lægst	19.mai.1958	60° 10' N	1° 00' V	1	45	0,21
hæst	2.juni.1999	72° 30' N	35° 34' V	34	402	14,37

	<i>depth</i>	<i>prod</i>	<i>blad</i>	<i>black</i>
einingar	m	mg/m ³ á klst	mg/m ³	mg/m ³ á klst
meðaltal		5,3	2,6	0,2
lægst	0	0	0	0
hæst	150	99,64	23,79	1,45

Skáletruðu dálkarnir eru lykildálkar og útfylltir undantekningarlaust. Hæsta og lægsta gildi dagsetninga og staðsetninga sýna dreifingu sýnatöku í tíma og rúmi.

Auk skráðra gagna eru fyrirbyggjandi talsverður fjöldi greina þar sem fjallað er um niðurstöður mælinga á plöntusvifi, bæði þær sem skráðar hafa verið í umræddan gagnagrunn og aðrar. Að nokkru leyti hefur þeirra verið getið hér að framan, en auk þess er fjallað um aðrar rannsóknir í lokakaflanum.

4. UMRÆÐA / DISCUSSION

Skýrsla þessi er ekki vettvangur fyrir sérstaka umræðu um þær rannsóknir sem tengjast efniviðnum sem fjallað er um. Tilgangur skrifanna er leiðbeinandi fyrir notendur umrædds gagnasafns, rannsókna á frumframleiðni og magni plöntusvifs og ætti að auðvelda þeim sem vilja glöggva sig á hvaða efniviður er þar aðgengilegur. Aðallega er greint frá því hvað er að finna í gagnasafninu og hvernig staðið hefur verið að söfun og úrvinnslu sýna. Ýmsar birtar niðurstöður verkefna og prófana sem hver á sinn hátt draga saman upplýsingar um þær mælingar sem hér hafa verið kynntar, auk fyrirbyggjandi upplýsinga sem nýtast beint í útreikninga á framleiðni hafa þó verið dregnar fram. Þar á meðal eru niðurstöður sem sýna meðaltals afkastaferil frumframleiðni (2. mynd) og upplýsingar um ljósdeyfingu í sjó við Ísland, hvort tveggja atriði sem skipta miklu máli þegar dagsframleiðni er reiknuð fyrir vatnssúluna í ljóstillífunarlaginu. Nánar verður vikið að því hér á eftir. Að öðru leyti er vísað í þær birtu heimildir sem getið hefur verið á viðeigandi stöðum hér að framan.

4.1. Aðferðir til að reikna frumframleiðni og samanburður við önnur hafsvæði

Eins og þegar er komið fram eru til margar lýsingar á mismunandi aðferðum til að reikna dagsframleiðni svifþörungna á flatareiningu. Á Hafrannsóknastofnuninni var dagsframleiðnin upphaflega reiknuð samkvæmt aðferð Steemann Nielsen (1952), en árið 1968 var aðferðin aðlöguð að íslenskum aðstæðum samkvæmt tillögum frá honum. (Viðauki

A). Upp úr 1980 var farið að beita annarri nálgun við útreikninga á dagsframleiðni (Kristinn Guðmundsson 1983) og stuðst við rannsóknir á framleiðniafköstum plöntusvifs miðað við breytileg birtuskilyrði. Ýtarleg prófun og samanburður á þremur mismunandi aðferðum var gerð árið 1991 (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991²). Samanburðurinn sýndi að útreikningar á dagsframleiðni samkvæmt fyrrnefndri aðferð Steemann Nielsen, aðlagðri að íslenskum aðstæðum, gefur að jafnaði sambærilegar niðurstöður og fást með aðferð Platt og Jassby (1976) þegar notuð eru meðaltöl stuðla sem lýsa birtuháðum framleiðniafköstum (2. mynd). Mismunur á niðurstöðum einstakra athugana má fyrst og fremst rekja til þess að þegar notuð er aðferð Steemann Nielsen er ekki tekið tillit til mismunandi birtuskilyrða að öðru leyti en hvað varðar dagslengd á viðkomandi stað og tíma, en útreikningar samkvæmt Platt og Jassby (1976) og þriðju aðferðinni í samanburðinum taka báðar mið af ljósaðstæðum hverju sinni. Síðast nefnda aðferðin til að reikna dagsframleiðnina tók mið af fyrirbyggjandi niðurstöðum frumframleiðnimælinga sem gerðar voru samtímis á tvo vegu. Annars vegar voru sýni ræktuð í ræktunarskáp, eins og oftast er gert, en hins vegar ræktuð á viðkomandi dýpi í sjónum. Þegar sýnin eru ræktuð í sjó fá þau nánast sömu birtuskilyrði og plöntusvif í náttúrulegu umhverfi ef litið er fram hjá lóðréttri hreyfingu í sjó. Reiknuð dagsframleiðni samkvæmt umræddri aðferð var að jafnaði lægri en fyrstnefndu niðurstöðurnar, sem skýrist líklega af neikvæðum áhrifum of mikillar birtu á framleiðniafköst plöntusvifs (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991).

Reikningar á árlegri frumframleiðslu byggjast alla jafna á niðurstöðum útreikninga á dagsframleiðni (Þórunn Þórðardóttir 1976a, 1994, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002), en einnig er hægt að byggja slíka útreikninga t.d. á nýtingu næringarefna (Kristinn Guðmundsson 2003). Þórunn Þórðardóttir (1994) fann út að frumframleiðni í hafinu umhverfis Ísland er að jafnaði 218 g C m⁻² yfir landgrunninu, en 151 g C m⁻² í úthafinu. Samkvæmt því er ársframleiðni á flatareiningu að jafnaði hærri hér en í Barentshafi, 110 g C m⁻² (Sakshaug o.fl. 1992) enda talsvert sunnar þó aðstæður séu að öðru leyti um margt líkar. Önnur hafsvæði, þar sem aðstæður eru að mörgu leyti svipaðar og hér, eru t.d. Georges Bank og Eastern Scotian Shelf. Á Georges Bank er ársframleiðni á bilinu 265–455 g C m⁻², en 102–128 g C m⁻² fyrir Eastern Scotian Shelf (O'Reilly o.fl. 1987). Niðurstöður Þórunnar eru vel innan marka, miðað við þessi svæði.

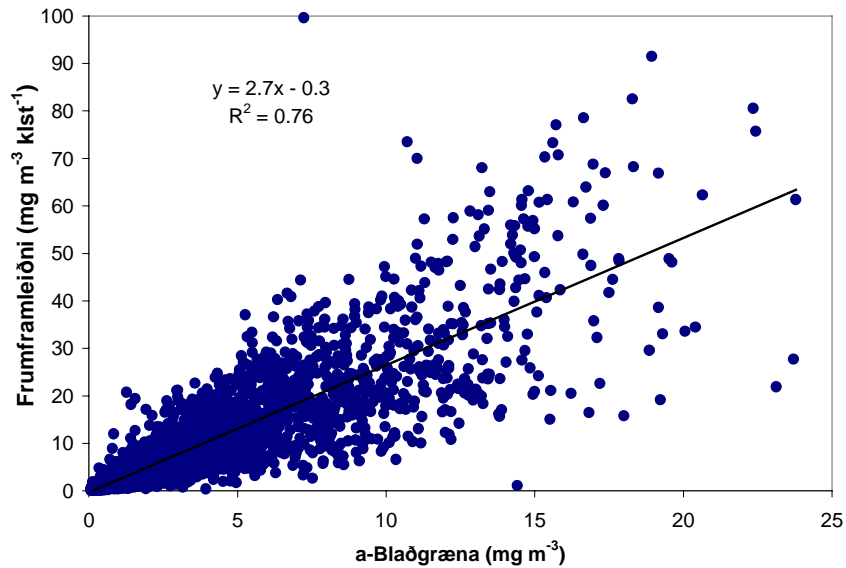
4.2. Afkastaferlar

Afkastaferlar (birtuferlar) eru mælingar á framleiðni deilisýna við mismunandi ljósstyrk, eins og kom fram í kafla 2.3. Framleiðnin er skoðuð sem hlutfall af lífmassa (a-blaðgrænu) í sýninu, en þannig fást sambærileg tölugildi um afköst plöntusvifs við mismunandi aðstæður, stað og tíma. Ef upplýsingar um viðeigandi afkastaferil og dýptarsnið a-blaðgrænumagnmælinga (t.d. kvarðaðar flúrljómumamælingar) eru fyrir hendi, ásamt vitneskju um birtuáðstæður fyrir gróðurinn, þá er hægt að reikna framleiðnina (Platt & Jassby 1976, Longhurst o.fl. 1995, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002). Hin síðari ár hefur áherslan verið lögð á söfnun upplýsinga um framleiðniafköst plöntusvifs og dreifingu lífmassa í sjó í stað þess að mæla framleiðnina á einstökum stöðvum og frá fyrirfram ákveðnum dýpum eins og gert var fram til 1999.

Rannsóknir á afkastaferlum plöntusvifs hafa verið stundaðar samhliða hinum venjubundnu frumframleiðnimælingum frá árinu 1980. Auk þess má líta á hlutföll framleiðnimælinga og a-blaðgrænu sem afkastamark plöntusvifs (AN, assimilations number), vegna þess að framleiðnisýnin voru ræktuð við ljósmettun (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991, Kristinn Guðmundsson o.fl. 1996). Hlutfallið AN hefur samsvörun með P^B_{max}, breytu sem notuð er til að lýsa hámarks framleiðniafköstum plöntusvifs (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991). Aðfallsgreining frumframleiðni- og a-blaðgrænumælinga í gagna-grunninum, mælinga frá árunum 1973–1999, gefur tölfræðilega marktæka fylgni (p < 0,001)

² Verkefnið, sem upphaflega var lagt fram til kynningar á haustfundi Alþjóðahafrannsóknaráðsins árið 1991, var endurskoðað og rúmum áratugi síðar og birt í Fjölríti Hafrannsóknastofnunarinnar nr. 106 (Kristinn Guðmundsson o.fl. 2004).

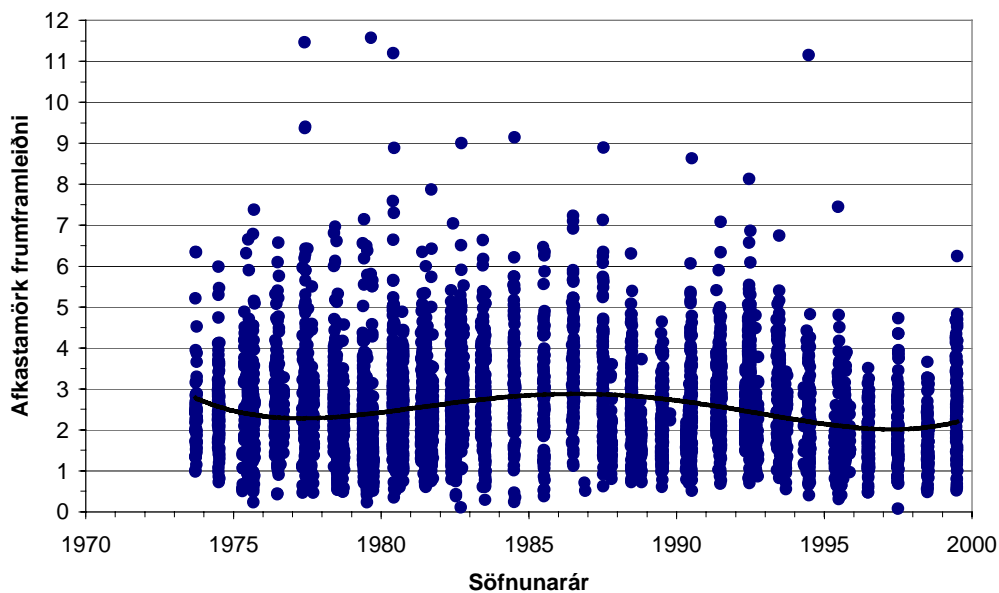
og hallatala bestu línulegrar aðfelli gefur vísbendingu um að hlutfallið framleiðni og a-blaðgræna sé að meðaltali $2,7 \text{ mg (kolefnis-upptaka: a-blaðgrænu) m}^{-3} \text{ klst}^{-1}$ (6. mynd).



6. mynd. Samband frumframleiðni og a-blaðgrænu í sjó við Ísland, árin 1973–1999.

Figure 6. The relationship of primary productivity and chlorophyll-a in the oceans around Iceland during 1973–1999.

Tölugildi afkastamarks plöntusvifs í hafinu umhverfis Ísland eru á bilinu $0,5\text{--}5 \text{ mg (kolefnisupptaka a-blaðgrænu) m}^{-3} \text{ klst}^{-1}$ ef tekið er mið af 95% öryggismörkum og dreifingin er svipuð frá ári til árs (7. mynd).



7. mynd. Afkastamark ($\text{mg kolefnisupptöku m}^{-3} \text{ klst}^{-1} / \text{mg a-blaðgrænu m}^{-3}$) plöntusvifs í sjó við Ísland á árabílinu 1973–1999.

Figure 7. Assimilation numbers ($\text{mg C m}^{-3} \text{ klst}^{-1} / \text{mg Chl-a m}^{-3}$) in oceanic waters around Iceland during 1973–1999.

Breytileikinn er yfirleitt lítill þrátt fyrir tífaldan mun á hæstu og lægstu gildunum. Það hefur m.a. verið skýrt með því að fyrir opnu hafi umhverfis Ísland er sjaldan viðvarandi skortur á næringarefnum og tegundir kísilþörungna eru ríkjandi í svifþörungasamfélögnum

(Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson 1991, Kristinn Guðmundsson o.fl. 1996, Kristinn Guðmundsson 1998). Öðru máli kann að gegna inni á fjörðum og við sérstakar aðstæður, en takmarkaðar upplýsingar eru fyrirliggjandi um það enn sem komið er (Þórunn Þórðardóttir 1973, Kristinn Guðmundsson & Agnes Eydal 1998, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002, Karl Gunnarsson 2003, Agnes Eydal 2003).

Breytileiki AN við Ísland hefur verið rannsakaður með tölfræðilegri greiningu á fylgni við valdar skýribreytur eins og stað, tíma og nokkra umhverfisþætti og niðurstöðurnar voru kynntar á haustfundi Alþjóðahafrannsóknaráðsins árið 1996 (Kristinn Guðmundsson o.fl. 1996). Vægi valinna skýribreyta til að útskýra breytileika í AN var metið tölfræðilega. Marktæk fylgni var á breytileika AN við hvar og hvenær sýnin voru tekin, þ.e. árstíma, stefnu frá miðju landsins (hafsvæði) og botndýpi (fjarlægð frá landi). Auk þess var sýnt fram á marktæka fylgni AN við hita og seltu sjávar, styrk nitrats og kísils og eðlisþyngdarmun sjávar í yfirborði og á 50 metra dýpi. Hvort heldur breytileiki AN var skýrður með stað og tíma sýnatöku, eða með bæði stað, tíma og framangreindum umhverfisbreytum, þá var niðurstaðan svipuð hvað varðar skýrðan breytileika, eða u.þ.b. 40% af heildar breytileika AN gilda. Að vísu getur þetta m.a. stafað af því að góð fylgni er líka milli staðsetningar og tíma sýnatöku og hinna ýmsu umhverfisbreyta. Þessar rannsóknir eru skref í rétta átt því sífellt verður auðveldara að nálgast upplýsingar um gróðurmagn, t.d. mælingar frá gervitunglum á lit sjávar og mælingar á flúrljómun með sjálfvirkum búnaði um borð í skipum eða á baujum. Ef reikna á frumframleiðslu plöntusvifs út frá upplýsingum um gróðurmagn, án beinna mælinga á frumframleiðni, þá er við hæfi að taka mið af þeim skýribreytum sem sýnt hefur verið fram á að skýra að hluta breytileikann í AN.

4.3. Ljósdeyfing

Mælingar á gleypni ljóss hefur verið notuð til að meta grugg í sjó (Jerlov 1951, 1953, 1957, Svend-Aage Malmberg 1968, Høyjerslev & Lundgren 1977) og jafnvel gerðar tilraunir til að meta frumframleiðni í sjó út frá gleypnimælingum í sírennsliskerfi um borð í rannsóknaskipum (Berge 1961). Højerslev og Lundgren (1977) mældu ljósdeyfingu mismunandi bylgjulengda á svæði milli Íslands og Færeyja í leiðangri sem nefndur var „Bjarni Sæmundsson Overflow 1973“ og Calkins og Þórunn Þórðardóttir (1980) athuguðu áhrif UV geisla á svifþörungum og deyfingu UV-ljóss með dýpi við Ísland.

Fyrstu rannsóknir á ljósdeyfingu í sjó, sem gerðar voru á vegum Hafrannsóknastofnunarinnar, voru sjóndýpismælingarnar sem þegar hafa verið nefndar (kafla 26.2), en á árunum 1980–1983 annaðist Páll Reynisson beinar mælingar á ljósdeyfingu í sjó með ljósnemum frá Li-COR (quanta-nemum, sem mæla PAR: *photosynthetic active radiation*, en það er nánast það sama og sýnilegt bylgjusvið sólarljóss). Notaðir voru tveir nemar, annar til að mæla yfirborðsljós (á dekki) og hinum var sókkt úr gálga út frá skipshlið. Með runu samtíma mælinga frá báðum þessum nemum, meðan neðansjávarnemanum var sókkt og þar til ljósið sem hann nam var orðið minna en eitt prósent af yfirborðsljósinu, fékkst dýptarsnið af deyfingu birtu á stöð. Árið 1981 gerði Páll Reynisson samantekt um beinar mælingar á deyfingu ljóss í sjó og bar þær saman við bæði sjóndýpi og lithlutfallsmælingar. Samantektin er óbirt og aðeins til á lausum blöðum, en greint er frá helstu niðurstöðum í Viðauka G, ásamt niðurstöðum útreikninga sem gerðir voru á öllum fyrirliggjandi ljósmælingagögnum árið 1990 og kynntar á veggspjaldi á fundi NATO/ASI í Aquafredda, Ítalíu, árið 1990.

5. ÞAKKIR / ACKNOWLEDGEMENTS

Fjöldi þeirra sem komið hafa að þeirri gagnasöfnun sem hér er greint frá er slíkur að ekki verður lagt í að tína alla til. Þórunn Þórðardóttir lagði upp stefnuna og stjórnaði verkinu fram á síðasta áratug liðinnar aldar. Aðstoðarmaður hennar var lengst af Jón Friðriksson, en margir aðrir störfuðu með Þórunni, enda stundum sagt að stór hluti þeirra starfsmanna sem unnið hafa á stofnuninni hafi starfað á þörungadeildinni, oftast í byrjun síns starfsferils og á það við um bæði sérfræðinga og rannsóknamenn. Auk þess hefur fjöldi einstaklinga unnið á þörungadeildinni eitt eða fleiri sumur, en síðan horfið til annarra starfa. Páli Theodórssyni er

þakkað fyrir ómetanlega aðstoð varðandi allt sem snýr að geislakoli og sömuleiðis er við hæfi að minnst á hlut sjómanna, bæði áhafna á rannsóknaskipum stofnunarinnar og þar áður áhafna varðskipa sem notuð voru til rannsóknaleiðangra. Hjálpfúsar hendur hafa fleytt verkinu að þeim tímamótum sem eru tilefni þessa yfirlits. Loks viljum við þakka Hafsteini Guðfinnssyni sérstaklega fyrir yfirllestur á handritinu og fyrir margar ábendingar varðandi efnistöð og framsetningu.

6. HEIMILDIR / REFERENCES

- Aas, E. 1980. Relations between total quanta blue irradiance and Secchi disc observations in the Norwegian and Barents Seas. Í *Studies in physical Oceanography, papers dedicated to professor Nils G. Jerlov in commemoration of his seventieth birthday*. Københavns universitet, Institute for fysisk oceanografi. Report 42: 11-27.
- Agnes Eydal 2003. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörungna í Hvalfirði. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 99:1-44*.
- Agnes Eydal, Ása Kristjánsdóttir, Elena Guijarro Garcia, Guðrún G. Þórarinsdóttir, Ingólfur Sigfússon, Jón Ólafsson, Karl Gunnarsson, Kristinn Guðmundsson, Kristín J. Valsdóttir, Magnús Danielsen, Sigfús Vilhjálmsson & Sólveig Ólafsdóttir 2001. Aðstæður til kræklingræktunar í Mjóafirði. *Hafrannsóknastofnunin, Gagnaskýrsla 2001, 50 bls.*
- Agnes Eydal 2000. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörungna í Hvalfirði. Háskóli Íslands, Meistaraprófsverkefni, 102 bls.
- Anon. 1990. Report of the ICES ¹⁴C primary production intercomparison exercise, Hirtshals, Denmark, June 1987. ICES Cooperative research report No. 170:1-46 bls.
- Anon. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs on oceanographic methodology, No. 1, UNESCO/SCOR, Paris, 69 bls.
- Ása G. Kristjánsdóttir 2003. Árstíðabreytingar í samsetningu þörungasvifs í Mjóafirði. Litarefni þörungna greind með háþrýstivöskvilju (HPLC). Í Karl Gunnarsson, 2003 (ritstj.) Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 92: 51-64*.
- Banse, K. 1993. On the dark bottle in the ¹⁴C method for measuring marine phytoplankton production. *ICES Marine Science Symposia 197:132-140*.
- Barnett, A.M. & J. Hirota 1967: Changes in the apparent rate of ¹⁴C uptake with length of incubation period in natural phytoplankton populations. *Limnology and Oceanography 12:349-353*.
- Berge, G. 1961. Measurements of the primary production and recording of the water transparency in the Norwegian Sea during May-June 1958. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions 149:148-157*.
- Calkins, J. & Þórunn Þórðardóttir 1980. The ecological significance of solar UV radiation on aquatic organisms. *Nature 283:563-566*.
- Carpenter E.J. & J.S. Lively 1980. Review of estimates of total algal growth using ¹⁴C tracer techniques.. Í Falkowski, P.G. (ritstj.) *Primary productivity of the sea*. Plenum Press, bls. 161-178.
- Gieskes W.W.C. 1991. Algal pigments fingerprints: Clue to taxon-specific abundance, productivity and degradation of phytoplankton in seas and oceans. Í Demers, S. (ritstj.) *Particle Analysis in Oceanographics, NATO ASI Series G27*. Springer, Berlin, bls. 61-98.
- Hitchcock, G.L. 1986. Methodological aspects of time-course measurements of ¹⁴C fixation in marine phytoplankton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 95:233-243*.
- Holm-Hansen, O. & B. Riemann 1978. Chlorophyll a determination: improvements in methodology. *Oikos 30:438-447*.
- Højerslev, N.K. 1978. Daylight measurements appropriate for photosynthetic studies in natural sea waters. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer, 38:131-146*.
- Højerslev, N.K. & N. Jerlov 1977. The use of the colour index for determining quanta irradiance in the sea. *Institut for Fysisk Oceanografi, Universitetet i København, Report 35:1-12*.
- Højerslev, N.K., N. Jerlov & G. Kullenberg 1977. Color of the ocean as an indicator in photosynthetic studies. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer 37:313-316*.
- Højerslev, N.K. & B. Lundgren 1977. Inherent and apparent optical properties of Icelandic waters "Bjarni Sæmundsson – Overflow". Report of Institute for Fysisk Oceanografi, Universitetet i København, 33:1-63.

- Jakob Jakobsson 1978. The North Icelandic herring fishery and environmental conditions 1960-1968. ICES C.M. 1978/Symposium Biological Basis Pelagic Stock Management No. 30:1-101.
- Jeffrey, S.W. & N.A. Welschmeyer 1997. Spectrophotometric and fluorometric equations in common use in oceanography. Í: Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura & S.W. Wright (ritstj.). *Phytoplankton pigments in oceanography*. Monographs on oceanographic methodology, UNESCO, Paris, s.597-615.
- Jerlov, N.G. 1974. Significant relationships between optical properties of the sea. Í Jerlov, N. G. og E. Steeman Nielsen (ritstj.): *Optical aspects of oceanography*, Elsevier, Amsterdam, bls. 77-94.
- Jerlov, N.G. 1957. A transparency-meter for ocean water. *Tellus* 9:229-233.
- Jerlov, N.G. 1953. Influence of suspended and dissolved matter on the transparency of sea water. *Tellus* 5:59-65.
- Jerlov, N.G. 1951. Optical measurement of particle distribution in the sea. *Tellus* 3:122-128.
- Joint, I.R., N.J.P. Owens & A.J.Pomroy 1984. Seasonal production of photosynthetic picoplankton and nanoplankton in the Celtic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 28:251-258.
- Jón Jónsson 1990. *Hafrannsóknir við Ísland. II. bindi*. Bókaútgáfa Menningarsjóðs, Reykjavík, 447 bls.
- Karl Gunnarsson, (ritstj.). 2003. Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit Nr. 92:1-89*.
- Kaasa, Öivind & Kristinn Guðmundsson 1994. Seasonal variations in the plankton community in Eyjafjörður, North Iceland. *ICES C.M. 1994/L:24*, 15 bls.
- Kristinn Guðmundsson 2003. Blaðgræna og vöxtur svifgróðurs í Mjóafirði. Í: Karl Gunnarsson (ritstj.). *Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði*. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 92:65-76*.
- Kristinn Guðmundsson 2004. Computation of daily primary production in Icelandic waters; a comparison of two different approaches. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 106:1-24*.
- Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson, Sólveig Ólafsdóttir & Öivind Kaasa 2002. Ecology of Eyjafjörður Project. Chemical and biological parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992-August 1993. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 89:1-129*.
- Kristinn Guðmundsson 1998. Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters. *ICES journal of Marine Science* 55:635-643.
- Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir & Garðar Jóhannesson 1996. Estimation of assimilation numbers in Icelandic waters. *ICES C.M. 1996/L:30*, 25 bls.
- Kristinn Guðmundsson & Agnes Eydal 1998. Phytoplankton, a potential risk for shellfish poisoning. Species identification and environmental conditions. 1) Ísafjarðardjúp 1987, 2) Eyjafjörður 1992. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit 70:1-33*.
- Kristinn Guðmundsson 1983. Primærproduksjónsberegningar, teoretisk studie og sammenligning med tidlige utregninger. Rapport til Nordisk Kollegium for Marin Biologi, Reykjavík.
- Li, W.K.W., D.V. Subba Rao, W.G. Harrison, J.C. Smith, J.J. Cullen, B. Irwin, T. Platt 1983. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. *Science* 219:292-295.
- Longhurst, A., S. Sathyendranath, T. Platt & C. Caverhill 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research* 17: 1245-1271.
- Mantoura R.F.C., S.W. Wright, S.W. Jeffrey, R.G. Barlow & D.G. Cummings 1997. Filtration and storage of pigments from microalgae. Í: Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura & S.W. Wright (ritstj.). *Phytoplankton pigments in oceanography*. Monographs on oceanographic methodology, UNESCO, Paris, s. 283-305.
- Marker, A.F.H., E.A. Nusch, H. Rai & B. Riemann 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: Conclusions and recommendations. *Archive für Hydrobiologie. Beih. Ergebnisse der Limnologie*, 14:91-106.
- Marra, J. 2002. Approaches to the measurement of plankton production. Í: Williams, P.J. le B., D.N. Thomas & C.S. Reynolds (ritstj.). *Phytoplankton productivity. Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems*. Blackwell Science, Oxford, bls. 78-108.
- Nusch, E.A., 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archive für Hydrobiologie. Beih. Ergebnisse der Limnologie*, 14:14-36.
- O'Reilly, J.E., C. Evans-Zetlin & D.A. Busch 1987. Primary production. Í: R.H. Backus (ritstj.). *Georges Bank*. MIT, bls: 220-233.

- Ólafur S. Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1991. Seasonal abundance and distribution of Caridea larvae in Ísafjord-deep, north-west Iceland. *Journal of Plankton Research* 13:91-102.
- Ólafur S. Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1990. Klak og dreifing rækjulirfa í Ísafjarðardjúpi. *Ægir* 83(6):296-301.
- Parson, T.R., Y. Maita & C.M. Lalli 1984: A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 bls.
- Páll Theodórsson 1984. Penetration correction of geiger counting and on board determination of primary productivity. *ICES C.M.* 1984/L:18, 10 bls.
- Páll Theodórsson 1975. The study of ^{14}C penetration into filters in primary productivity measurements using double side counting. *Limnology and Oceanography* 20:288-291.
- Páll Theodórsson 1974. Calibration of activity measurements in primary productivity studies using Geiger-Müller and liquid scintillation counters. *ICES C.M.* 1974/L:20.
- Peterson, B. J., 1980. Aquatic primary productivity and the ^{14}C -CO₂ method: A history of the productivity problem. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11:359-385.
- Platt, T. & A.D. Jassby 1976. The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton. *Journal of Phycology* 12:421-430.
- Pool, H.H. & W.R.G. Atkins 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association U.K.* 16:297-324.
- Porra, R.J, E.E. Pfündel & N. Engel 1997. Metabolism and function of photosynthetic pigments. Í: Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura & S.W. Wright (ritstj.). *Phytoplankton pigments in oceanography. Monographs on oceanographic methodology*, UNESCO, Paris, bls. 85-126.
- Preisendorfer, R.W. 1986. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography* 31:909-926.
- Richardson, K. 1991. Comparison of ^{14}C primary production determinations made by different laboratories. *Marine Ecology Progress Series* 72:189-201.
- Richardson, K. (ritstj.) 1987. Primary production: Guidelines for measurement by ^{14}C incorporation. *Techniques in marine environmental Science No 5*. ICES, Copenhagen, 21 bls.
- Sakshaug, E., A. Bjørge, B. Gulliksen, H. Loeng & F. Mehlum, (ritstj.) 1992 *Økosystem Barentshavet. Norges Allmennvitenskapelige Forskningsråd*, Oslo, 304 bls.
- Savidge, G. 1978. Variations in the progress of ^{14}C uptake as a source of error in estimates of primary production. *Marine Biology* 49:295-301.
- Steemann Nielsen, E. 1965. On the determination of the activity in ^{14}C ampoules for measuring primary productivity. *Limnology and Oceanography* 10 (suppl.):R247-R252.
- Steemann Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production of the sea. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 18:117-140.
- Steemann Nielsen, E. 1943. Über das Frühlingsplankton bei Island und den Faröer-Inseln. *Meddelelser fra Kommissionen for Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Serie Plankton* 3(6):1-13
- Steemann Nielsen, E. 1938. Über die Anwendung der Netzfängen bei quantitativen Phytoplanktonuntersuchungen. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 13:197-205.
- Steemann Nielsen, E. 1937. Undersøgelser om stofproduktionen i havet ved Island. Í *Beretning om M.S Thor's Havundersøgelsestogt 1935. Publikationer om Østgrønland* 5:63-72.
- Steemann Nielsen, 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* 3(1):1-93 bls.
- Steingrímur Jónsson 1996. Ecology of Eyjafjörður Project. Physical parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992-August 1993. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit* 48:1-160.
- Steingrímur Jónsson & Kristinn Guðmundsson 1994. An interdisciplinary study of Eyjafjörður, North Iceland. *ICES C.M.* 1994/C:6, 13 bls.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parson 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, *Bulletin* 167:1-310.

- Svend Aage Malmberg 1972. Annual and seasonal hydrographic variations in the East Icelandic Current between Iceland and Jan Mayen. Í: Þorbjörn Karlsson (ritstjóri), Sea Ice. Proceedings of an international conference. National Research Council, Reykjavík, bls. 42-54.
- Svend-Aage Malmberg 1968. Beam transmittance measurements carried out in the waters around Surtsey, 1-2 August 1966. Surtsey Research Progress Report, 4:195-196.
- Tyler, J.E. 1968. The secchi disc. *Limnology and Oceanography* 13:1-6.
- Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar XII(3):1-56*.
- Unnsteinn Stefánsson, Þórunn Þórðardóttir & Jón Ólafsson 1987. Comparison of seasonal oxygen cycles and primary production in the Faxaflói region southwest of Iceland. *Deep-Sea Research*, 34:725-739.
- Unnsteinn Stefánsson & Þórunn Þórðardóttir 1965. Nutrient-productivity relations in Icelandic waters in June 1964. *ICES C.M. 1964/No. 170*, 19 bls.
- Vaulot, D., Partensky, F., Neveux, J., Mantoura, R.F.C. & Llewellyn, C. 1990. Wintertime presence of prochlorophytes in surface waters of the north-western Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography* 35:1156-1164.
- Vollenweider, R.A. (ritstjóri) 1969. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments including a chapter on bacteria. IBP Handbook No. 12, F.A.Davis Co., Philadelphia. 213 pp.
- Þórarinn S. Arnarson 1996. Greining á litarefnum svifþörunga með háþrýsti vökvaskilju (HPLC). 4. árs ritgerð. Háskóli Íslands og Hafrannsóknastofnunin.
- Þórunn Þórðardóttir 1994. Plöntusvif og framleiðni í sjónum við Ísland. Í Unnsteinn Stefánsson (ritstjóri), Íslendingar, hafið og auðlindir þess. Ráðstefnurit IV, Vísindafélags Íslendinga, bls. 65-88.
- Þórunn Þórðardóttir 1986. Timing and duration of spring blooming south and south-west of Iceland. Í, S. Skreslet (ritstj.), The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. NATO ASI Series, G7. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. pp. 345-360.
- Þórunn Þórðardóttir 1984. Primary production north of Iceland in relation to water masses in May-June 1970-1980. *ICES C.M. 1984/L:20*, 17 bls.
- Þórunn Þórðardóttir 1980. Breytingar í frumframleiðni í hafinu norðan Íslands 1970-1979. *Sjávarfréttir*, 3:18-25.
- Þórunn Þórðardóttir 1977. Primary production in north Icelandic waters in relation to recent climatic changes. Í M.J.Dunbar (ritstj.), Polar Oceans. Proceedings of the polar oceans conference, Montreal 1974. SCOR/SCAR, Canada, bls. 655-665.
- Þórunn Þórðardóttir 1977. Framleiðni þörungasvifsins í sjónum við Ísland. *Rit Landverndar* 5:33-42.
- Þórunn Þórðardóttir 1976a. Preliminary assessment of the annual production in the shelf area around Iceland. *ICES C.M. 1976/L:32*. 4 bls.
- Þórunn Þórðardóttir 1976b. The spring primary production in Icelandic waters 1970-1975. *ICES C.M. 1976/L:31*. 4 bls.
- Þórunn Þórðardóttir 1975. Svifþörungur, undirstaða fiskaflans á Íslandsmiðum. *Fjármálatíðindi* 22:174-176.
- Þórunn Þórðardóttir 1973. Successive measurements of primary production and composition of phytoplankton at two stations west of Iceland. *Norwegian Journal of Botany*, 20:257-270.
- Þórunn Þórðardóttir & Kristinn Guðmundsson 1998. Plöntusvif. Námsgagnastofnun og Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík, 12 bls.
- Þórunn Þórðardóttir, Kristinn Guðmundsson & Gunnar Pétursson 1991. Computation for estimating daily primary production from incubator measurements of ¹⁴C uptake at light saturation. *ICES C.M. 1991/L:64*, 21 bls.
- 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.
-

7. VIÐAUKAR / APPENDIX

VIÐAUKI A. Ráðleggingar prófessors Steemann Nielsen varðandi aðlögun geislakols-
aðferðar hans (Steemann Nielsen 1952) að íslenskum aðstæðum.

*APPENDIX A. The suggested adaptatios of the C-14 method (Steemann Nielsen 1952) for
Icelandic waters, a reply to Þórunn Thordardóttir from professor Steemann Nielsen.*

DANMARKS FARMACEUTISKE HØJSKOLE
BOTANISK LABORATORIUM
Til. Tris 843

Universitetsparken 2, København, d. 21. november 1968.

Magister fru Thorun Thordardottir
Atvinnudeilt Háskolans-Fiskideilt
Skulagata 4
Reykjavik Island

Kære fru Thordarsdottir,

Endelig hører De fra mig - men jeg har haft meget travlt.
Jeg giver Dem her en formel, der er fremkommet rent empirisk.
Imidlertid har professor Rodhe teoretisk nået til en formel,
der i realiteten er helt identisk med min.

Jeg glæder mig meget til at se en samlet redegørelse for
produktionen ved Island. Deres materiale er meget værdifuldt.

Hermed en metode til at udregne produktionen pr. overfladeenhed:

Målinger i perioden 1. april - 1. oktober, når der ved foto
syntese-forsøget er benyttet 9 eller 13 klux.

a = målte fotosyntese per m³ pr. time 0 m dybde (mg C)
b = " " " " " " 10 " "
c = " " " " " " 20 " "
d = " " " " " " 30 " "

e = Secchi-dybden

f = timer fra solopgang til solnedgang

Produktion pr. m² pr. døgn

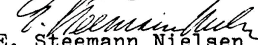
$$\frac{(2a + 2b + c + d) \cdot e \cdot 2.4 \cdot f}{6 \cdot 2} \text{ mg C}$$

Såfremt fotosyntesen har fundet sted ved 6 klux (1958) lægges
25% til værdien for a og b.

Såfremt formlen bruges for marts og oktober, bliver den udregnede
fotosyntese afgjort for høj, mellem antagelig 25 og 50%. I årets
øvrige måneder for farvandene omkring Island lader det sig vist
næppe gøre at regne blot tilnærmede værdier ud. Spiller vel heller
ikke nogen rolle ?

I formlen er fotosynteselagets dybde sat til 2.4 • Secchidybden.

Med venlig hilsen


E. Steemann Nielsen

VIÐAUKI B. Geislavirkni frumframleiðnisía mæld í geigerteljurum.

APPENDIX B. The radioactivity on filters in primary production measurements, using Geiger counters

Elsta heimildin á Hafrannsóknastofnuninni sem greinir frá framkvæmd mælinga á geislavirkni framleiðnisýna er að finna í minnisbók með mæliniðurstöðum frá janúar 1972. Bókin geymir niðurstöður mælinga á sýnum úr leiðangrinum B-6-71, mælt samkvæmt aðferð Steemann Nielsen 1952, en auk þess eru nokkrar athugasemdir varðandi mælingarnar. Efnislega er greint frá því að fyrir 1963 voru sýnin mæld í geigerteljurum frá Anton Electronics sem Raunvísindadeild Háskóla Íslands átti. Í ársbyrjun 1963 var tekinn í notkun geigerteljari sem Páll Theodórsson hannaði og lét smíða í Háskólanum. Fyrsta geigerteljarann sem Páll hannaði til mælinga á plöntusvifssýnum nefndi hann þrúfuskripti (PS-I) því hann var sambyggður við færslubúnað sem skipti um sýni í teljaranum. Stuttu síðar var smíðaður annar teljari, PS-II, sem lengst af var í notkun við þær mælingar sem hér er fjallað um. Sá hafði bakka fyrir 12 sýni í runu (3. mynd A). Síðar hefur Páll hannað og látið smíða marga geigerteljara.

Tilfni ofangreindra skrifa í minnisbókina árið 1972 voru meðal annars að greina frá því að samkvæmt endurteknum mælingum á staðli sást að talningahraði geigerteljarans (PS-II) hafði breyst árið 1966, miðað við fyrri mælingar. Breytingin er sögð tengjast flutningi á tækinu milli bygginga. Miðað við elstu ákvarðanir á talningahraða, sem árið 1972 hafði verið stöðugur um nokkra ára skeið, varð hlutfallsleg breyting á talningarhraðanum 0,9 um mitt árið 1966 og í byrjun árs 1967 var hún kominn niður í 0,8 af upprunanlegri viðmiðun. Um hálfu ári síðar, haustið 1967 jókst talningarhraðinn á ný í 0,9, en upp frá því dró svo úr honum jafnt og þétt og árið 1971 var hlutfallið kominn í u.þ.b. 0,8 af upprunanlegu viðmiðuninni. Ekki er gefin nánari skýring á orsök breytinga á talningarhraða tækisins eftir nefnda flutninga og út frá skráðum heimildum verður ekki heldur séð hvort reikningar á framleiðni hafi verið leiðréttir til samræmis við þessar niðurstöður.

Í sama texta frá janúar 1972 er sagt frá BaCO_3 útfellingum á geislavirku bíkarbonati úr glerlykjum fyrir mismunandi skammta árin 1964-1967. Páll Theodórsson framkvæmdi sumar þessar athuganir og aðstoðaði Hafrannsóknastofnunina varðandi aðrar. Hann var ráðgjafi varðandi mælingar á frumframleiðni öll árin sem gagnabankinn spannar og hannaði nokkra geigerteljara, sem sumir voru notaðir til þessarra mælinga. Á tímabilinu 1970–1980 endurskoðaði hann aðferðir sem notaðar voru til mælinga á geilsavirkni frumframleiðnisía.

Eftir 1972 má finna í gögnum Hafrannsóknastofnunarinnar mikið af upplýsingum sem varða mæliaðferðina og kvarðanir bæði teljara og skammta með geislakoli. Þar má nefna samantekt Páls Theodórssonar og Jóhanns Pálssonar á BaCO_3 fellingu og ályktun þeirra um að lækka ætti reiknaða skammtavirkni glerlykja miðað við niðurstöður fellinga um 31%, til samræmis við tillögur Steemann Nielsen (1965), vegna minni talningaheimtar þegar framleiðnisúr eru taldar en vænta mætti miðað við eiginlegan talningahraða tækjanna.

Tveimur árum síðar, 1974, voru kvarðanir á skammtavirkni mismunandi sendinga af glerlykjum með geislavirku kolefni aftur metnar. Að þessu sinni var gerður samanburður á niðurstöðum fyrrgreindra fellinga og endurtalninga í sindurteljara Raunvísindadeildarinnar. Árangur var góður eins og lesa má í óbirtri samantekt Hafsteins Guðfinnssonar frá þessum tíma. Innbyrðis skekkja var hverfandi lítil og fyrri ályktun um 31% lakari talningaheimtur þegar framleiðnisúr eru taldar, miðað við eiginlegan talningahraða tækisins, virtist passa eins og Páll Theodórsson og Jóhann Pálsson höfðu komist að tveimur árum áður. Talningahraði geigerteljarans, PS-II, var 17,1% skv. BaCO_3 fellingu og reiknuð talningaheimt fyrir síur frumframleiðnimælinga þá 31% lægri eða 11,8% (Páll Theodórsson 1974a). Í greininni sem hann lagði fyrir haustfund Alþjóðahafrannsóknaráðsins 1974 tekur hann fyrir mismunandi þætti varðandi ákvörðun á talningarhraða og rekur hugsanlegar ástæður fyrir minni og breytilegri talningaheimt þegar framleiðnisúr eru mældar. Þar er gerð grein fyrir hugmyndum Páls Theodórssonar um tvíhliða talningar og leiðréttingar fyrir smogi lífræns efnis í massa framleiðnisía. Niðurstöður rannsóknanna og ályktanir voru birtar sama ár í skýrslu Raunvísindastofnunarinnar (Páll Theodórsson 1974b) og efni þeirrar skýrslu var

birt ári síðar í ritrýndu tímariti (Páll Theodórsson 1975). Þar skýrði Páll frá því að hluti geislavirka efnisins sem síaður er úr framleiðnisýnum eftir ræktun er dreifður um síumassann, en liggur ekki allur á yfirborði síunnar eins og gert hafði verið ráð fyrir í upphaflegu aðferðalýsingunni. Næstu ár vann Páll að því að þróa aðferð sem gerir ráð fyrir breytilegri dreifingu geislakols í massa framleiðnisía.

Aðeins er hægt að ráða í þróun mæla og þróun framleiðnimælinga með því að glugga í skýrslur sem finna má á lausum blöðum um það sem gert var. Sumar greina frá kvörðun skammta með geislavirku kolefni í sindurteljara Raunvísindastofnunarinnar. Í einni skýrslunni má lesa að skipt hafi verið um rúðu í geigerteljaranum, PS-II. Þynnri rúða var sett yfir nemann árið 1976 og við það jókst talningahraði tækisins um 39%, þ.e. talningarheimtin sem miðað hafði verið við breyttist úr 11,8% í 16,4% í PS-II.

Önnur breyting kom til vegna þess að þann 19. september árið 1978 var skipt um rafmótor sem notaður var til viðmiðunar á hve langan tíma það tók að telja 3000 slög í geigerteljaranum. Snúningur rafmótoranna var eins konar tímaviðmiðun og var kvarðaður á móti klukku. Nýi mótorinn snérist 2,5 sinnum hraðar en sá fyrri, eins og kemur fram í jöfnu, sem notuð var til að reikna upptöku geislakols (sbr. Viðauki C).

Upp úr 1980 fóru í gang prófanir og mælingar til að þróa aðferð til að leiðrétta fyrir smogi lífræns efnis í massa framleiðnisía í réttu hlutfalli við niðurstöður talninga frá báðum hliðum (B : F) og massa viðkomandi síu. Árið 1983 var alfarið skipt um aðferð í kjölfar þessarar rannsóknar. Þar með var farið að telja öll sýnin frá báðum hliðum og geislavirkni framleiðnisýna reiknuð samkvæmt nýrri aðferð, aðferð sem kynnt var á haustfundi Alþjóðahafrannsóknaráðsins árið 1984 (Páll Theodórsson 1984).

Nýja aðferðin byggði á niðurstöðum mælinga undangenginna ára og umfangsmiklum prófunum sem sýndu fram á að með því að telja sýnin frá báðum hliðum var hægt að leiðrétta fyrir mismiklu smogi³, geislavirku efna sem dreifist í massa síanna þegar sýnin eru síuð, líklega vegna þess að frymi lekur út þegar frumveggir bresta. Með leiðréttingunum næst fram nákvæmni í talningum sem stenst samanburð við talningar í sindurteljurum. Jafnframt hannaði Páll nýja gerð geigerteljara á grundvelli tækniþróunar undangenginna ára. Fyrri teljarar höfðu verið byggðir á möguleikum glóðarlampanna, en í þeirra stað komu nú þéttar og rökrásir. Á þessum árum átti sér líka stað talsverð þróun í nemum geigerteljara, ekki síst vegna nýrra uppgötvanna á plastefnum, sem notuð eru í smíði nema í geigerteljara. Talningarahraði fyrsta tækisins, PPC-0, var á þessum árum 16,6% og í næsta teljara, PPC-1 sem tók við árið 1986, var talningarahraðinn kominn í 20%.

Það má segja að kaflaskil hafi orðið varðandi mælingar á frumframleiðnisýnum árið 1983, þegar farið var að telja sýnin frá báðum hliðum (BOF-talningar). Nákvæmni frumframleiðnimælinga batnaði og frá því að fyrst var gerður samanburður á niðurstöðum framleiðnimælinga samkvæmt fyrri talningaraðferð og endurtalningum á sömu síum með BOF-talningum, hefur það verið áleitin spurning hvort að framleiðni hafi verið vanmetin um 20% að jafnaði fram til ársins 1983 (Viðauki D). Það er álitamál hvort beri að hækka viðkomandi niðurstöður tilsvareandi. Samanburðurinn árið 1984 var byggður á niðurstöðum mælinga á 230 síum frá árunum 1970-1980, sýnum sem safnað hafði verið norðan landins. Ályktunin um 20% vanmat fékk auk þess stuðning frá Páli Theodórssyni, eftir endurskoðun á gömlum kvörðunarmælingum á geigertalningum (Viðauki E). Enn fleiri samanburðir hafa verið gerðir síðar, en niðurstöður frá þeim voru ekki alltaf eins afgerandi (Viðauki D). Samanburður frá 1996 á miklum fjölda sýna, sýnaúrtaki frá hverju ári frá 1974 til 1995, sýndi hins vegar enn á ný að talningar fram til 1982 skila lægri niðurstöðum, þótt talsverður breytileiki sé frá ári til árs. Niðurstöður mælinga, sem skráðar eru í gagnagrunninum, eru engu að síður óbreyttar, bæði í ljósi nefnds breytileika milli mælihrina og þess að talningar frá aðeins annarri hliðinni geta ýmist skilað van- eða ofmati, allt eftir því hve mikið af geislavirku efni hefur smogið inn í síumassann. Endanleg ákvörðun um réttmæti upphækkana á eldri niðurstöðum er því sett í hendur þeirra sem nota gagnagrunninn.

³ Hugtakið smog er útskýrt á bls. 16.

Heimildir:

- Páll Theodórsson 1984. Penetration correction of geiger counting and on board determination of primary productivity. ICES C.M. 1984/L:18.
- Páll Theodórsson 1975. The study of ^{14}C penetration into filters in primary productivity measurements using double side counting. *Limnology and Oceanography*, 20:288-291.
- Páll Theodórsson 1974a. Calibration of activity measurements in primary productivity studies using Geiger-Müller and liquid scintillation counters. ICES C.M. 1974/L:20.
- Páll Theodórsson 1974b. The study of ^{14}C penetration into filters in primary productivity measurements using double side counting. Report RH-P-74-B1 of the Science Institute, University of Iceland, 21 bls.
- Stemann Nielsen, E. 1965. On the determination of the activity in ^{14}C -ampoules for measuring primary production. *Limnology and Oceanography*, 10(Suppl.):R247-R252.
- Stemann Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production of the sea. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 18:117-140.
-

VIÐAUKI C. Frumframleiðnimælingar, útreikningar og umreikningar á slagafjölda á mínútu (cpm) í útgeislun á mínútu (dpm) þegar tekið er tillit til mismunar í talningarheimt einstakra sýna samkvæmt BOF-talningaraðferð (Páll Theodórsson 1984).

APPENDIX C. Primary production measurements, the calculations and the conversions of counted radioactivity per minute (cpm) to disintegrated radioactivity per minute (dpm), using the BOF-method (Páll Theodórsson 1984).

¹⁴C - upptaka er reiknuð með einföldum hlutfallsreikningi, samkvæmt OFAN-talningu:

$$\text{mg kolefni } m^{-3} \text{ klst}^{-1} = \frac{\text{dpm}_{\text{sýni}} \times 90 \times 12 \times 1000 \times 1,05}{\text{dpm}_{\text{skammtað}} \times 44 \times \text{klst}}$$

$\text{dpm}_{\text{sýni}} = \{ \text{cpm}_{\text{sýni}} - \text{cpm}_{\text{grunn}} \} \times \text{th}$; þar sem
 $\text{cpm}_{\text{sýni}} =$ mæld geislun á mínútu frá sýni
 $\text{cpm}_{\text{grunn}} =$ núlltala, mæld á mínútu án sýnis
 $\text{th} =$ talningahraði geigerteljarans (th fyrir geislakolssýni)

$\text{dpm}_{\text{skammtað}} =$ geislavirkni kolefnis sem bætt er í viðkomandi sýni
 1,05 : leiðrétting fyrir tregri upptöku geislakols miðað við venjulegt kolefni
 90 : er magn kolsýrings í lausn í fullsöltum sjó (mg CO₂ m⁻³)
 12 : er þyngd eins mólar af kolefni (g/mól)
 1000 : er margföldunarfasti til að breyta lítra í rúmmetra
 44 : er mólþyngd koltvísýrings (g/mól)
 klst = ræktunartími í klukkustundum

Ath 1: Þessi leiðrétting var líklega notuð þegar framleiðni var reiknuð fyrstu árin, en var síðar hætt fram til 1982. Við breytingarnar sem gerðar voru á aðferðum til að meta geislavirkni á framleiðnisínumum 1983 var á ný farið að reikna með þessari leiðréttingu og þannig hefur það verið gert fram til 1999 (meðreiknað í L-fastann). Það er álita málf hvort þessi leiðrétting ætti ekki að stytast út á móti annarri leiðréttingu (sbr. Parsons o.fl. 1984, bls 120). Þess utan eru líkur á að framleiðninidurstöður fyrir 1982 séu að jafnaði u.þ.b. 5% vanmat og því má færa rök fyrir því að hækka beri allar nidurstöður framleiðnimælinga sem reiknaðar voru eftir að 1,05 leiðréttingarfastinn féll út og fram til 1983. Því er hins vegar ósvarað, hvenær hætt var við að reikna með umræddum leiðréttingastuðli. Umrædd skekkja er hlutfallslega lítil miðað við aðra óvissu í mælingunum og því hafa þær upplýsingar sem þarf til að lagafæra þetta, ekki verið grafnar fram.

Leiðréttingar vegna mismunar í talningarheimt einstakra sýna (BOF-aðferðin), þ.e. viðbót við framangreinda útreikninga, sbr. fastann L.

$L = (90 \times 12 \times 1000 \times 1,05) / (0,2 \text{ ml} \times 0,2 \text{ th} \times 44 \times 4) \times (\text{ml í glerlykju} / \text{dpm í glerlykju})$

gert er ráð fyrir að sýnið sé tekið í fullsöltum sjó (fasti fyrir magn CO₂ í sjó), að ræktunartíminn sé 4 klukkustundir en leiðrétt ef annað á við og að notaður sé 200 µl skammtur af geislakoli (¹⁴C)

$\text{cpm}_{\text{framhlið}}$ og $\text{cpm}_{\text{bakhlið}}$ eru slagafjöldi hlið / talningartími hlið, skv. niðurstöðum mælinga í geigerteljara. Gert er ráð fyrir að talningahraði beggja nemanna í PPC-1 sé 20%.

$M =$ massi síu fyrir síun / 32,1

$F = \text{cpm}_{\text{framhlið}} - \text{cpm}_{\text{núlltala framhliðarnemans}}$

$B = \text{cpm}_{\text{bakhlið}} - \text{cpm}_{\text{núlltala bakhliðarnemans}}$

$C = \exp(-M)$

$D = (1 - C) / M$

$K = D / ((D - C) + B / F * (1 - D))$

$E = (1 - C) * K$

$S = (1 - B/F) * E / (1 - C)$

$Fz = F / E$; dpm/sýni

$X = 1 - S$; smog (dreifing geislavirks efnis, frymis úr svifþörungum í síumassanum)

$P = Fz * L$; framleiðni sýnisins; skv. gefnum forsendum

Heimild:

Páll Theodórsson 1984. Penetration correction of geiger counting and on board determination of primary productivity. ICES C.M. 1984/L:18.

VIÐAUKI D. Samanburður á framleiðnimælingum fyrir 1982 og frá 1983, byggt annars vegar á mælingum í geigerteljurum og hins vegar á mælingum í vökvasindurteljara.

APPENDIX D. Comparison of primary productivity measurements, using Geiger counters for measuring the activity of filters, counted from one side until 1983 and from both sides of the filters later on and some recountings made on the filters in liquid scintillation counters.

Samanburður á mældri geislavirkni frumframleiðnisía.

Á Hafrannsóknastofnuninni eru fyrirleggjandi frumframleiðnimælingar sem hefur verið safnað árlega frá árinu 1958. Fram til ársins 1983 var geislavirkni sía ákvörðuð með því að mæla geislun frá efra borði sía í þar til gerðum geigerteljurum og fasti notaður til að leiðrétta talningarhraða teljara fyrir mælingar á frumframleiðnisýnum (Steemann Nielsen 1965). Gert var ráð fyrir að geislavirknin stafaði öll frá örþunnu lagi af svifþörungum, sem síaðir voru frá sjósýni eftir ræktun og því var geislavirknin aðeins mæld frá yfirborði sía (OFAN). Páll Theodórsson (1975) sýndi fram á að þetta er ekki alls kostar rétt og þróaði nýja aðferð til að leiðrétta geigtalningar á framleiðnisýnum í hlutfalli við smog á lífrænu efni niður í massa síu þegar framleiðnisýni er síað (Páll Theodórsson 1974, 1975, 1984). Frá 1983 hefur nýrri aðferð Páls Theodórssonar (1984) verið beitt og hver einstök sía mæld í "bak og fyrir" (BOF). Samkvæmt hlutfalli talninganiðurstaðna af framhlið og bakhlið hveirrar síu og massa viðkomandi síu er reiknuð raunveruleg geislavirkni fyrir sýnið. Það hefur sýnt sig að aðferðin stenst vel samanburð við mælingar á geislavirkni sýna í vökvasindurteljara. Allar götur frá því að skipt var um aðferð við mælingar á geislavirkni árið 1983 hefur verið áhugi á því að vita hvernig OFAN talningar standast samanburð við það sem BOF aðferðin gefur. Nokkrar atrennur hafa verið gerðar til að leita svara við spurningunni um hversu áreiðanlegar mælingarnar voru samkvæmt eldri aðferðinni. Hér er það helsta sem fram hefur komið dregið saman.

Til að byrja með má slá því föstu, eins og lesa má í bréfi Páls Theodórssonar frá 13. ágúst 1986 (Viðauki E), að hvernig sem meðaltal niðurstaðna geigtalninga af efra borði sía með geislavirkum svifþörungum stenst samanburð við meðaltal raunverulegar geislunar í sömu sýnum, þá á það bara við um meðaltalið. Ástæða þessarar fullyrðingar er sú að þegar svifþörungar eru síaðir þá smýgur hluti þeirra inn í massa síunnar. Og vegna þess hve veik útgeislunin er frá ^{14}C samsætunum (β -geislun) þá skermir massi hveirrar einstakrar síu af mismikinn hluta útgeislunarinnar (Páll Theodórsson 1975, 1984). Talningarheimtin er því breytileg frá einu sýni til annars þó svo að talningahraði viðkomandi geigteljara sé stöðugur og vel ákvarðaður. Þennan breytileika er ekki hægt að ráða af talningu sem aðeins er gerð af yfirborði síu og því ekki hægt að leiðrétta einstakar eldri mælingar, sem gerðar voru fyrir 1982, án þess að mæla hvert einstakt sýni að nýju. Það er ekki árennilegt því á tímabilinu frá 1958 til 1982 voru gerðar nærri 20 þúsund framleiðnimælingar við Ísland. Endurtalningar á geislavirkni framleiðnisía hafa þó verið framkvæmdar við nokkur tækifæri.

Árið 1983, þegar skipt var um talningaraðferð á Hafrannsóknastofnuninni, voru 201 sýni úr leiðangrinum B04_1983 talin í geigteljara bæði samkvæmt OFAN- og BOF-talningaraðferðinni. Ári síðar voru endurmældar með BOF aðferð 231 framleiðnisía, sýni sem tekin voru fyrir norðan land á tímabilinu 1970 til 1980, og höfðu áður verið mældar samkvæmt OFAN-talningu. Samanburður á þessum niðurstöðum gaf til kynna að OFAN talningar hafi leitt til um 20% vanmats á framleiðni, miðað við BOF-talningaraðferðina. Þessi niðurstaða fékk stuðning í fyrrgreindu bréfi Páls Theodórssonar.

Áratug síðar voru 739 framleiðnisíur, sem hafði verið safnað til rannsókna á afkastuferlum á tímabilinu 1980 til 1982 og mældar í geigteljara samkvæmt OFAN-talningu, endurmældar í vökvasindurteljara Raunvísindastofnunarinnar. Samanburður á þessum niðurstöðum gaf aðra niðurstöðu en samanburður OFAN-talninga og BOF-talninga árið 1984. Því var ráðist í að endurskoða fyrri niðurstöður og árið 1996 var auk þess endurmælt úrtak framleiðnisía frá árunum 1959, 1966 og 1974 til 1995. Alls 973 síur voru valdar þannig að úr hverjum leiðangri voru bæði teknar síur með miklum og litlum lífmassa. Mælingarnar árið 1996 voru gerðar í vökvasindurteljara (LSC; Liquid Scintillation Counter) á Keldnaholti.

Forsendur og samanburður talninga í geiger- og vökvasindurteljorum

Mælingar á geislavirkni framleiðnisía fram til 1983 voru, eins og fram er komið, flestar gerðar í geigerteljara sem nefndur var "prufuskiptir" (PS-II). PS-II var kominn í notkun árið 1966 og var reglulega notaður fram á sumar 1983. Lengst af var teljarinn staðsettur vestur á Dunhaga, þar sem Raunvísindastofnun Háskólans er til húsa, en árið 1980 var hann fluttur til Hafrannsóknastofnunarinnar á Skúlagötu 4.

Í frumheimildum eldri talninga sést að hvert sýni var talið upp að 3000 slögum, nema í einstökum undantekningartilvikum og þá hefur verið tekið mið af viðkomandi slagafjölda. Niðurstöður talninga voru skráðar sem fjöldi snúninga rafmagnsmótors meðan fyrrgreind 3000 slög voru talin. Rafmagnsmótorinn sem snérist 100 snúninga á mínútu, var tengdur PS-II fram til ársins 1978, en þá var skipt um mótör og nýi mótörinn snérist 250 snúninga á mínútu.

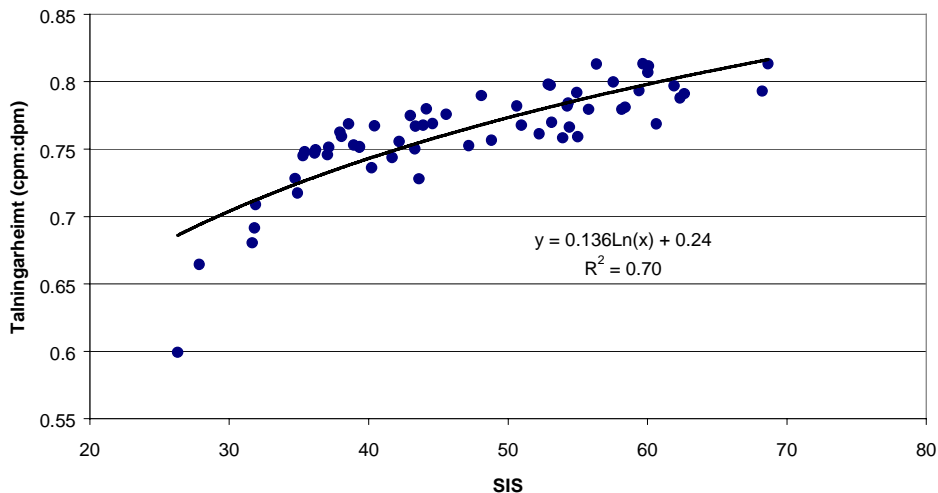
Bakgrunnsgeislun (núlltala) var ákvörðuð með því að telja tóma bakka endrum og sinnum. Núlltölur vegna geislunar frá umhverfinu voru að meðaltali 5,5 slög/mínútu í PS-II. Þar sem breytileiki virðist hafa verið tiltölulega lítill er þetta meðaltal notað sem fasti við endurskoðun á reikningum frumframleiðni samkvæmt frumheimildum. Slagafjölda á mínútu, cpm, mælt af framleiðnisíum í PS-II eftir 1978 má því reikna samkvæmt jöfnunni:

$$\text{cpm} = (3000 \text{ slög} \times 250 \text{ snúningar/mínútu}) / \text{snúningar} - 5,5 \quad (1).$$

Geislakolsskammtarnir hafa alla tíð verið keyptir frá C-14 Centralen í Danmörku. Hver ný sending af glerlykjum með geislakolsskömmtum var kvörðuð eftir móttöku þar til farið var að nota 10 μCuri skammta árið 1983 í stað 4 μCuri áður. Til að byrja með voru skammtarnir kvarðaðir með því að fella bíkarbonatið úr lausninni með baríum og útgeislunin síðan talin í geigerteljara en eftir 1974 hafa kvarðanirnar verið gerðar í vökvasindurteljara. Samhliða kvörðun á nýjum skammti var ávallt talinn einhver eldri skammtur, sem hafði verið kvarðaður áður í sama geigerteljara. Að því gefnu að talningarheimt héldist óbreytt í viðkomandi geigerteljara meðan engar lagfæringar eða endurbætur voru gerðar á viðkomandi tæki, þá var hægt að kvarða nýfenginn skammt til samræmis við fyrri kvarðanir með einföldum hlutfallsreikningi. Það má því segja að kvarðanirnar hafi verið miðaðar við viðkomandi teljara á hverju tímabili og því liggur ekki beint við hver virkni viðkomandi skammta var að raungildi.

Kvörðunarskírteini hafa fylgt með hverri nýrri sendingu frá frá C-14 Centralen frá árinu 1980. Í kvörðunarskírteini er gefin upp virkni í dpm/glerlykju og magn geislavirku lausnarinnar í ml per glerlykju. Við endurmælingar árið 1994 á sýnum frá tímabilinu 1980 til 1982 var aðeins einn skammtur sem dönsk kvörðun hafði ekki fylgt (Tafla 1_D). Til að byrja með var haldið áfram að kvarða nýjar sendingar á sama hátt og áður, þrátt fyrir upplýsingarnar frá framleiðandanum og því var hægt að bakreikna viðeigandi kvörðun fyrir skammtinn C412, en það er forsenda útreikninga á upptöku geislakols þegar geislavirkni framleiðnisía er mæld í vökvasindurteljara.

Vökvasindurtalningarnar eru gefnar upp í leiftrum/mínútu (cpm_{LSC}). Talningarheimtin ræðst bæði af talningahraða tækisins (u.þ.b. 85% í sindurteljorum, en breytilegt eftir tækjum og sindurvökva) og af deyfingu leiftra í einstökum sýnum. Deyfistuðull hvers sýnis er metinn samhliða talningu á hverju einstöku sýni, byggt á talningum á tveimur mismunandi orkusviðum (Herberg 1965). Fyrir talningar var gerð kvörðun á tækinu (1. mynd_D) og stuðlar jöfnu bestu línulegu aðfelli fundir til reikninga dpm út frá cpm_{LSC} og umræddum deyfistuðli. Þegar sýni eru talin í vökvasindurteljara eru þau leyst upp í sindurvökva og öll geislavirkni "á og í" hverri síu talin í vökvanum. Vandamálið með skerminu af völdum síumassans er því ekki til staðar, en í stað þess hefur litur og tærleiki lausnarinnar áhrif á talningarheimtina.



1. mynd í viðauka D. Kvörðun vökvasindurteljara 1996.

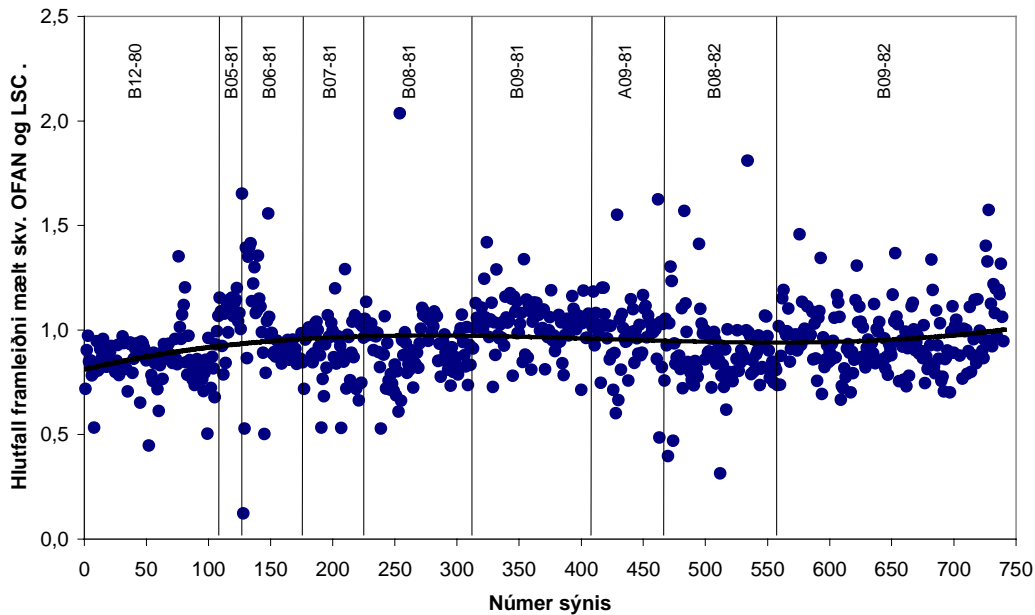
Figure 1 in appendix D. Calibration of the liquid scintillation counter in 1996.

Raungeislun er gefin upp í geislun/mínútu (dpm) og dpm/sýni er reiknað samkvæmt niðurstöðum talninga og viðeigandi talningaheimtar. Leiðréttingar fyrir breytilegri talningarheimt einstakra sýna eru sammerktar með bæði mælingum á geislavirkni frumframleiðnisía í vökvasindurteljara og mælinga samkvæmt BOF-talningaraðferð í geigerteljara. OFAN-talningaraðferðin gerir hins vegar ráð fyrir að talningarheimtin sé fasti. Samanburður á niðurstöðum OFAN-talninga og niðurstaða endurmælinga samkvæmt BOF-talningaraðferð, eða í vökvasindurteljara, er gerður eftir að leiðrétt hefur verið fyrir breytilegri talningarheimt fyrir hvert sýni.

Bakreikna má talningarheimt sýna með því að reikna hlutfallið cpm/sýni samkvæmt OFAN-talningu í geigerteljara : dpm/sýni mælt í vökvasindurteljara, eða dpm/sýni samkvæmt BOF-talningu í geigerteljara. Meðaltal þessa hlutfalls ætti að vera 0,164 fyrir mælingar sem gerðar voru í PS-II á árunum 1978 til 1983, því gert var ráð fyrir að talningarheimt PS-II væri 16,4% fyrir OFAN-talningar á þessu tímabili. Niðurstöður endurmælinga 738 sýna frá árunum 1980 til 1982, sem gerðar voru í vökvasindurteljara árið 1994, sýna hinsvegar að meðaltal ofangreinds hlutfalls er 0,138 og staðalfrávik 0,032. Þessi munur á reiknaðri talningarheimt tilsvavar 19% vanmati OFAN-aðferðar á þessu tímabili, miðað við mælingar í vökvasindurteljara, sem er nánast sama niðurstaða og Páll Theodórsson skýrði frá í fyrrnefndu bréfi árið 1986 (Viðauki E).

Samanburður framleiðni samkvæmt niðurstöðum geiger- og sindurteljara

Þar sem talningarheimt og skammtaákvörðun er samtvinnuð í eldri talningaraðferðinni (OFAN) var athugað hvort munur væri á framangreindum niðurstöðum þegar tekið er tillit til kvörðunar á hverjum einstökum skammti, við útreikninga á framleiðni, borið saman við reiknaða framleiðni samkvæmt endurmælingu á geislavirkni í vökvasindurteljara. Niðurstaðan var að munur var á reiknaðri framleiðni réðst ekki af því hvaða skammtur var notaður, sem undirstrikar að PS-II teljarinn hafi verið stöðugur á þessu tímabili og kvörðun skammta sambærileg hverju sinni. Sama á við þegar samanburður á framleiðni, reiknaðri annars vegar samkvæmt OFAN-talningum og hins vegar samkvæmt mælingum í vökvasindurteljara, er skoðuð með tilliti til leiðangra (2. mynd_D).



2. mynd í viðauka D. Hlutfall framleiðniúðurstaðna, annars vegar mælt í geigerteljara (OFAN-talning) og hins vegar mælt í vökvasindurteljara (LSC), sýnt fyrir níu mismunandi leiðangra.

Figure 2 in appendix D. The ratio of primary production, the one calculated from measurements in a Geiger counter (OFAN-method) and the other calculated from measurements in a liquid scintillation counter, shown for nine different cruises.

Sýnin eru frá rannsóknum á afkastaferlum svifþörunga, þ.e.a.s. deilisýni frá hverri stöð voru ræktuð við mismikinn ljósstyrk. Vænta mátti góðrar dreifingar á niðurstöðum mælinga í úrtakinu vegna þess að sýnin eru ræktuð við mismikla birtu. Afköst svifþörunga eru svo skoðuð sem hlutfall af magni svifþörunga, eða a-blaðgrænu í þessu tilfalli. Ekki þótti ástæða til að skipta gögnunum upp miðað við hvenær þeim var safnað (2. mynd_D) fyrir samanburð á niðurstöðum mælinganna og meðalhlutfall reiknaðrar framleiðni samkvæmt þessum tveimur mæliaðferðum á geislavirkni frumframleiðnisía er 0,95.

Tafla 1 í viðauka D. Skipting sýnaúrtaks miðað við leiðangra árin 1980-1982.

Hver geislakolsskammtur er auðkenndur virkni viðkomandi skammts (dpm/glerlykju), talningarhraði geigerteljarans PS-II (%) og meðaltal hlutfalls útgeislunar, samkvæmt talningu í geigerteljara miðað við samsvarandi mælingu í vökvasindurteljara, fyrir viðkomandi leiðangur.

Table 1 in appendix D. The selection of samples used for comparison of the results of counting the radioactivity, on the one hand using a Geiger counter (GM) and the one side method (OFAN), and on the other hand using a liquid scintillation counter (LSC). Information is shown for each cruise and batch of radioactive carbon. The cruise (leiðangur), the batch (skammtur), the activity pr. ampoule (dpm/lykju), the counting efficiency of the Geiger counter, reevaluated according to the calibration of each batch of ampoules of radioactive carbon, by the C-14 Central in Denmark and the ratio of measured dpm in GM and LSC.

Leiðangrar	Skammtur	dpm/lykju	TH _{PS-II}	Sýnafjöldi	Hlutfall
B12-80	C412	10.262.000	15,1	108	0,96
B05-81	C423	9.289.000	14,3	18	1,04
B06-81	C423	9.289.000	14,3	48	0,97
B07-81	C423	9.289.000	14,3	47	0,90
B08-81	C429	9.048.000	14,2	94	0,90
B09-81	C429	9.048.000	14,2	93	1,00
A09-81	C432	8.368.000	14,0	59	0,97
B08-82	C442	9.333.000	14,7	93	0,91
B09-82	C442	9.333.000	14,7	179	0,98

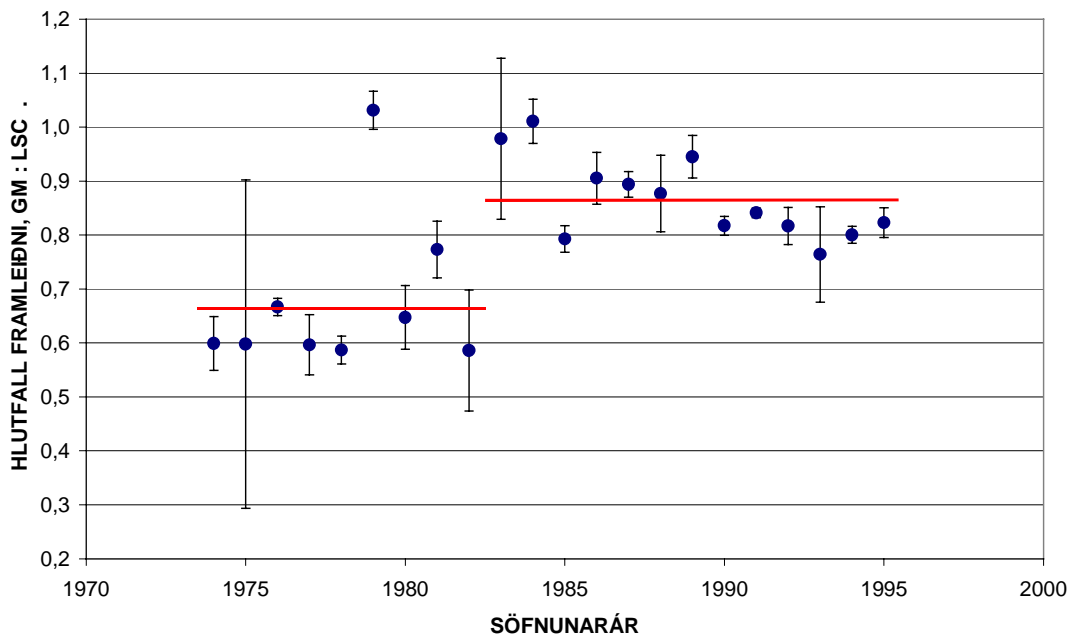
Eins og kom fram hér í upphafi voru árið 1984 bornar saman niðurstöður reikninga á frumframleiðni samkvæmt OFAN-talningum og samkvæmt BOF-talningum (Páll Theodórsson 1984). Samanburðurinn var gerður á völdum sýnum frá norðurmiðum, sem flest höfðu verið tekin í vorleiðöngrum, árin 1970 til 1980. Í tilefni af þeirri vinnu var virkni hvers geislaskammts (dpm/glerlykju) sem notaður hafði verið við ræktun viðkomandi sýna endurmetin. Niðurstaða samanburðarins var að OFAN-aðferðin, sem notuð var til framleiðnimælinga fram til 1983, hefði vanmetið framleiðnina um 20% að meðaltali. Við fyrstu sýn virðist ekki vera samræmi í niðurstöðum framangreindra athugana, en við endurskoðun forsenda sem notaðar voru 1984 kom í ljós að þegar framleiðni var reiknuð samkvæmt BOF-talningum var fastinn 1,05 notaður til að leiðrétta fyrir tregðu svifþörunga til að taka upp ^{14}C samsætuna miðað við ^{12}C samsætuna. Þessi fasti var ekki með í útreikningum á framleiðninni samkvæmt eldri aðferðinni, OFAN-talningum. Því var talið rétt að hækka viðkomandi niðurstöður framleiðnimælinga um 5% og það dregur samsvarandi úr reiknuðu vanmati. Niðurstaða samanburðarins frá 1984 var auk þess fengin með að nota hallatölu aðfallsgreiningar, en vegna skekktrar dreifingar gagnanna er það varasamt. Meðaltal hlutfalls reiknaðrar framleiðni samkvæmt OFAN-talningu annars vegar og hins vegar samkvæmt BOF-talningu á því betur við. Ef samræmis er gætt varðandi fyrrnefndan leiðréttingafasta 1,05 í gögnunum frá 1984 þá er meðaltalið 0,915 (N: 231 og vikmörk staðalskekkju miðað við 95% öryggismörk $\pm 0,021$).

Við skoðun á hlutfalli mældrar framleiðni við ljósmettun og blaðgrænu (AN) vekur tímabilið 1984-1987 athygli (Kristinn Guðmundsson o.fl. 1996). Ein leið til að meta hvort hækkun á AN á þessum árum megi skýra með mistökum við mælingar á geislavirkni framleiðnisía er að bera saman skráðar niðurstöður við endurmælingar á hæfilegu úrtaki sýna frá viðkomandi árum og nokkrum árum fyrir og eftir viðkomandi tímabil. Rúmlega tuttugu síur frá hverju ári voru fundnar fyrir hvert ár, öll árin frá 1974 til 1995. Úrtakið var valið með hliðsjón af fyrirliggjandi mælingum á geislavirkni hveirrar síu þannig að góð dreifing fengist innan hvers árs á mælingum á styrk útgeislunar. Upphaflegu mælingarnar voru samkvæmt OFAN-talningum á árunum fyrir 1983, en samkvæmt BOF-talningum eftir það (Viðauki C). Samtals 973 sýni voru valin og endurmæld í vökvasindurteljara á Keldnaholdi árið 1996 og samanburður gerður á niðurstöðum reiknaðrar framleiðni (3. mynd_D). Forsenda samanburðarins var að endurmeta skammtavirkni allra þeirra skammta sem höfðu verið notaðir í viðkomandi sýnum. Af því tilefni var tekinn saman listi yfir alla geislakolsskammta sem notaðir voru við ræktun í umræddu sýnaúrtaki (Tafla 2 í viðauka D). Samanburður á niðurstöðunum sýnir að útreiknuð frumframleiðni á fyrrnefndu árabili er í samræmi við árin á undan og á eftir, þó svo að meðaltöl einstakra ára sýni að vænta megi nokkurs breytileika. Samanburðurinn sýnir jafnframt að það er ósamræmi milli niðurstaðna mælinga sem styðjast við OFAN-talningar fyrir 1982 og niðurstaðna samkvæmt BOF-talningum upp úr 1983 þegar mælingarnar frá báðum tímabilunum eru bornar saman við niðurstöður byggðar á vökvasindurtalningum. Framleiðni fram til 1982 virðist vanmetin að jafnaði um allt að þriðjung miðað við vökvasindurtalningarnar 1996. Mælingarnar í vökvasindurteljaramum árið 1996 byggjast þó vissulega aðeins á einni kvörðun á viðkomandi teljara, en hugsanleg mistök við þá kvörðun hefur alla vega ekki áhrif á mismuninn sem fram kemur í hlutföllum fyrir einstök ár og mismuninn á meðaltölum fyrir tímabilin fyrir og eftir 1982/1983. Munur á meðaltölum fyrir árin 1974–1982 og árin 1983–1995 er um 22%, ef miðað er við seinna tímabilið. Þessar niðurstöður styðja því þær hugmyndir um vanmat af stærðargráðunni 20% sem áður var getið, eins og fram kemur í bréfi Páls Theodórssonar (viðauki E).

Sá möguleiki að kvörðunin á vökvasindurteljaramum á Keldnaholti árið 1996 hafi mistekist verður ekki sannreyndur nema með því að endurtaka mælingar af sama tagi með nýju sýnaúrtaki. Það býður betri tíma, en ljóst er af ofangreindum niðurstöðum að flest árin er góð fylgni í niðurstöðum geigerteljara og talningar í vökvasindurteljara, eins og sjá má á því að ef árið 1975 er undanskilið þá eru eru vikmörk staðalskekkju fyrir hver ár yfirleitt þröng á tímabilinu 1974 til 1996 (3. mynd_D).

Tafla 2 í viðauka D. Skammtanúmer og virkni tekin saman fyrir endurtalningar frá árið 1974-1996.
Table 2 in appendix D. Batch numbers and activity, used in recountings of filters from 1974-1996.

batch	aktiviti E06	leiðangrar	skammtur
C294	6,820	74.B6	1 lykja
C312	5,710	75.B6	1 lykja
C332	8,020	76.B5	1 lykja
C352	7,130	76.B5	1 lykja
C365	8,300	77.B9	1 lykja
C370	8,170	78.B8	1 lykja
C398	9,410	79.A8	1 lykja
C413	8,276	80.B8	1 lykja
C429	9,048	81.B8	1 lykja
C442	9,333	82.B9	1 lykja
C444	9,815	83.B4	1 lykja
C444	3,926	83.(B5, B6)	2/5 lykja
D10	4,089	83.B7	1/5 lykja
D11	3,465	84.B5, 85.A7, 86.B3	1/5 lykja
D12-3	4,032	87.B5, 88.B3	1/5 lykja
D12-4	4,032	87.B9	1/5 lykja
D14-3	4,300	90.(B5, B7, B8)	1/5 lykja
D14-4	4,299	88.B8, 89.(B5, B7)	1/5 lykja
D15-1	4,015	91.(B4, B5, B7, B8), 92.(B6, B7)	1/5 lykja
D18-3	4,485	92.B7	1/5 lykja
D20-1	4,523	92.(B7, B8, B8)	1/5 lykja
D21-1	4,505	92.B7, 93.B7	1/5 lykja
D21-2	4,435	94.(B6, B9) 95.B7	1/5 lykja
D23-1	4,450	94.B8, 95.B7	1/5 lykja
D24-1	4,714	95.(B11, B16, A9, A11)	1/5 lykja



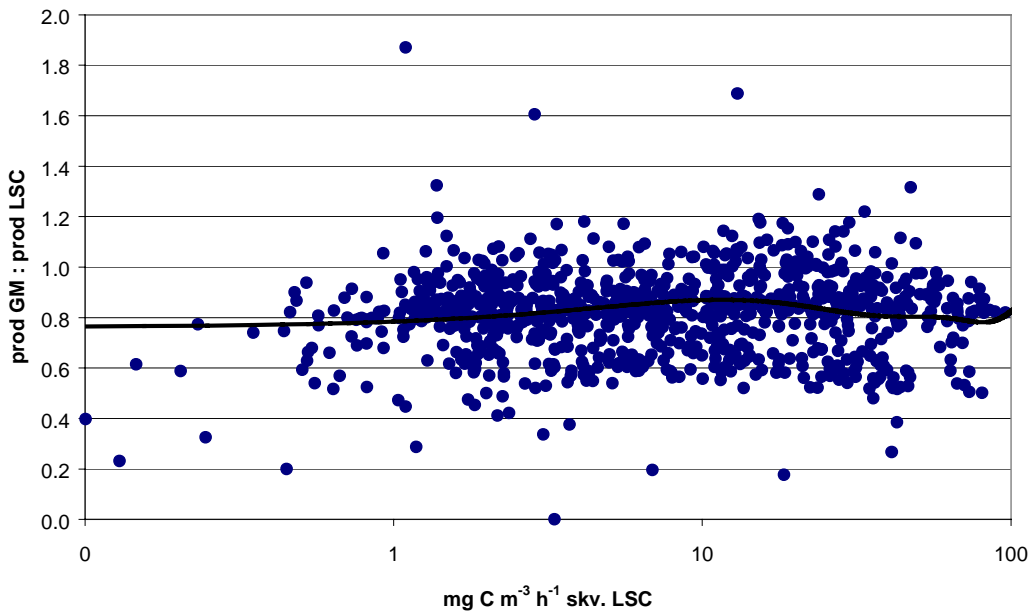
3. mynd í viðauka D. Meðaltöl hlutfalla samkvæmt niðurstöðum framleiðnireikninga, annars vegar byggt á mælingum í geigerteljara og hins vegar í vökvasindurteljara, sömu sýnin endurmæld árið 1996. Fyrir hvert ár er eru talin að minnsta kosti 24 sýni. Vikmörk staðslekskju eru miðuð við 95% öryggismörk og líurnar tvær sýna meðaltöl fyrir árin 1974-1982 og 1983-1995. Mælingar fram til 1983 eru samkvæmt OFAN-talningum, en síðan þá samkvæmt BOF-talningum.

Figure 3 in appendix D. The average ratios of calculated primary production measured, on the one hand with Geiger counter and on the other hand with liquid scintillation counter. A selection of at least 24 samples was counted for each year, taken in May/June, during 1974-1995. The error bars show the SE, at 95% level for each year and the two lines show means for 1974-1982 and 1983-1995. Geiger countings during 1974-1982 were made from the front of the filters (OFAN), but since 1983 the filters were counted from both sides (BOF).

Hversu áreiðanlegar eru talningar í geigerteljurum almennt?

Eins og komið er fram (3. mynd_D og 4. mynd í skýrslunni) er fylgni mælinga góð þegar niðurstöður mælinga, sem gerðar hafa verið á sömu sýnum í geigerteljurum og vökvasindurteljurum, eru bornar saman. Vandinn beinist að kvörðun tækja þegar munurinn er meiri en nemur óvissu í mæliaðferðunum almennt. Reikna má með u.þ.b. 2% óvissu í endurteknum mælingum, hvort heldur mælt er í geigerteljurum eða vökvasindurteljurum. Við samanburð ætti því að búast við að skekkjumörk vegna mælinga verði innan við 5%, ef tækin eru vel kvörðuð.

Ef hlutföll mældrar útgeislunar í geigerteljurum og vökvasindurteljurum ($dpm_{PS-II} : dpm_{LSC}$) eru skoðuð á móti styrk útgeislunar, sést að fylgnin er ekki óháð styrk útgeislunar í hverju sýni. Geigertalningar virðist henta best sýnum með útgeislun á bilinu 1000-40 000 dpm (200-8 000 cpm í geigerteljara). Hugsanleg skýring er að namar geigerteljara mettist þegar geislavirknin fer yfir þessi mörk og að það þurfi í það minnsta að auka talningartímann þegar útgeislunin er lægri nefnd mörk fyrir geislavirkni gefa til kynna. Umreiknað í frumframleiðni eru tilsvareandi mörk að stærðagráðu $0,5-60 \text{ mg C m}^{-3} \text{ klst}^{-1}$ (4. mynd_D), eitthvað breytilegt eftir styrk geislavirkniskammta sem bætt er í sýnin.



4. mynd í viðauka D. Samsvörun frumframleiðnimælinga í geigerteljurum og vökvasindurteljurum skoðuð sem fall af frumframleiðni ($\text{mg C m}^{-3} \text{ klst}^{-1}$), á logaritmiskum skala.

Figure 3 in appendix D. The ratio of calculated primary productivity according to Geiger countings (GM) and the recountings of the same samples using a liquid scintillation counters (LSC) versus the primary production ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$).

Tilvitnanir:

- Herberg, R.J. 1965. Channels ratio method of quench correction in liquid scintillation counting. Packard Tech. Bull. #15. Packard Inst. Co., Downers Grove, IL. Bls. 1-7.
- Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir & Garðar Jóhannesson 1996. Estimation of assimilation numbers in Icelandic waters. ICES C.M. 1996/L:30, 25 bls.
- Páll Theodórsson 1984. Penetration correction of geiger counting and on board determination of primary productivity. ICES C.M. 1984/L:18.
- Páll Theodórsson 1974. Calibration of activity measurements in primary productivity studies using Geiger-Müller and liquid scintillation counters. ICES C.M. 1974/L:20.
- Páll Theodórsson 1975. The study of ^{14}C penetration into filters in primary productivity measurements using double side counting. Limnology and Oceanography, 20:288-291.
- Steemann Nielsen, E. 1965. On the determination of the activity in ^{14}C -ampoules for measuring primary production. Limnology and Oceanography, 10(Suppl.):R247-R252.
-

VIÐAUKI E. Bréf Páls Theodórssonar, varðandi rök fyrir meintu vanmati frumframleiðnimælinga fyrir 1983, meðan geislavirkni var aðeins metin frá framhlið síanna.

APPENDIX E. A letter from Páll Theodórsson with arguments regarding possible underestimate of primary productivity measurements prior to 1983, using to the earlier method of single sided filtercounting.

RAUNVÍSINDASTOFNUN HÁSKÓLANS
SCIENCE INSTITUTE · UNIVERSITY OF ICELAND

The filter activity has been measured with a geiger counter. It has been demonstrated (Theodórsson 1975) that the ^{14}C activity does not ~~xxxxxxx~~ lie in a thin layer on the surface of the filter but penetrates to a varying degree into the filter, causing some absorption loss of beta-particles and thus leading to a reduced counting efficiency. Using the method of Steeman Nielsen () of calibration a counting efficiency of 11.8% was deduced from $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ measurements corresponding to a B/F ratio of 0.32 (Theodórsson 1975). Measuring the B/F ratio, which reflects the degree of penetration, of some 1000 filters in 1983 and 1984 showed however that the penetration is usually considerable greater, the mean value of the B/F ratio being about 0.50. This reduces the counting efficiency to 10.0%, ~~xxxx~~ Earlier measurements have because of ~~xxx~~ this been underestimated and must be increased by 18%. Direct recounting of some 200 older filters and now counting the filters from both sides and weighing then ~~x~~ gave a production value corrected for penetration of activity of individual filters that was 20% higher, than the old measurement. This is in good agreement with the above-given 18% correction.

It should be remarked that the ~~xxxxxxx~~ when the 20% corrected value is applied to the old measurements, without remeasuring the filter using the double side method, still leaves an error caused by the varying penetration.

B. P. 1586

Páll Theodórsson

Póstfang:
Raunvísindastofnun Háskólans
Dunhaga 3
107 REYKJAVÍK
Sími: 21340

Address:
Science Institute
Dunhaga 3
IS-107 REYKJAVÍK, Iceland
Telephone: 21340

Telex:
Isinfo 2307

D1974 GutenBerg

VIÐAUKI F. Litarefnamælingar, samanburður á niðurstöðum samkvæmt nokkrum aðferðum.

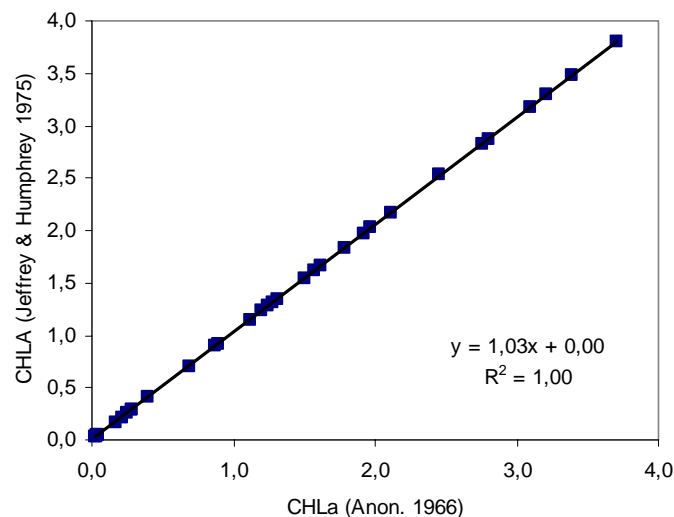
APPENDIX F. Pigment analysis, comparison of the results from different methods.

Litarefnasýni, sem safnað var í Mjóafirði árið 2000, voru greind og mæld samkvæmt nokkrum mismunand aðferðum, eins og kemur fram í eftirfarandi samantekt sem fjallar um samanburð á niðurstöðum litarefnamælinga. Sýni voru tekin u.þ.b. vikulega í yfirborð nálægt þeim stað þar sem nú er fiskeldi og kræklingseldi.

Tvö sýni voru tekin hverju sinni, annað til að mæla litarefni í litrófsmæli, en hitt til að mæla litarefni í háþrýstivökvaskilju eins og nánar verður komið að síðar. Í litrófsmæli voru mæld litarefnin a_blaðgræna (CHLa), b_blaðgræna (CHLb), c_blaðgræna (CHLc), niðurbrotsefni a_blaðgrænu (PHAE; phaeopigment) og heildarmagn mismunandi karótenoída (TCAR). Þessi sýni voru leyst upp í 90% acetoni, þ.e. sían tætt í myljara og látin standa í leysiefninu í minnst eina klukkustund áður en sýnið var sett í skilvindu (Parsons o.fl. 1984). Litarefni í lausninni voru síðan mæld skv. eftirfarandi aðferðum:

CHLa skv. SCOR/UNESCO Anon. (1966), **CHLa**, **CHLb**, **CHLc** skv. Jeffrey & Humphrey (1975), **CHLa** og **PHAE** skv. (Lorenzen 1967) og **TCAR** skv. Richards with Thompson (1952). Aðferðirnar eru allar tilgreindar í Jeffrey o.fl. (1997).

Samanburður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu, mældri samkvæmt ofangreindum aðferðum, sýndi að niðurstöður samkvæmt Anon. (1966) og Jeffrey & Humphrey (1975) eru jafngildar. Hallatalan sem fundin var fyrir jöfnu fyrir línulegar aðfelli bendir til að síðarnefnda aðferðin skili 3% hærri niðurstöðu fyrir þau 33 sýni sem voru mæld og borin saman (1. mynd_F). Ekki verður gert upp á milli þessarra aðferða, enda munurinn óverulegur. Það skiptir því engu að í framhaldinu eru aðeins notaðar niðurstöður síðarnefndu aðferðarinnar Jeffrey & Humphrey (1975), þrátt fyrir að SCOR/UNESCO aðferðin sem lýst er í Anon. (1966), hafi jafnan verið notuð til mælinga á a-blaðgrænu á Hafrannsóknastofnuninni á undanförunum áratugum. Báðar framangreindu aðferðirnar eru byggðar á mælingum þriggja bylgjulengda (trichromatic) sem samsvara toppum í ljósgleypni a, b og c_blaðgrænu. Allar mælingarnar á ljósgleypni, sem hér er fjallað um, voru leiðréttar fyrir mismiklu gruggi í sýnunum samkvæmt aflestri á 750 nm.



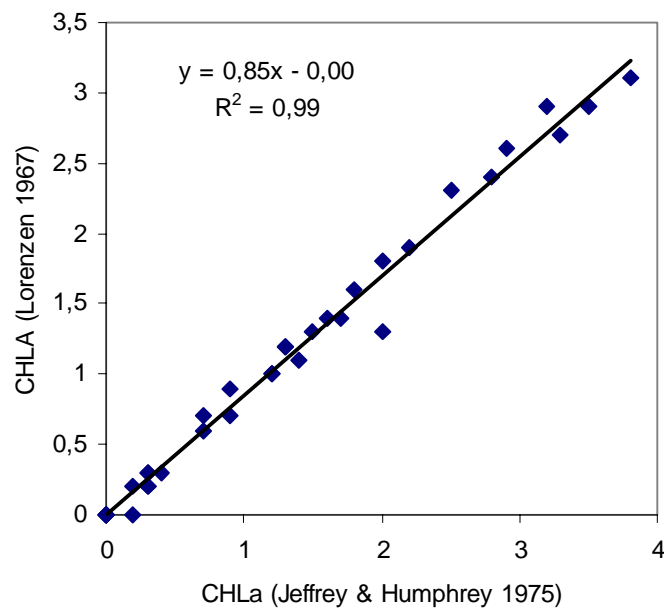
1. mynd í viðauka F. Samanburður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu skv. Jeffrey & Humphrey (1975) og skv. Anon. (1966).

Figure 1 in appendix F. Correlation analysis of chlorophyll-a measurements according to Jeffrey & Humphrey (1975) and Anon. (1966).

Þriðja aðferðin til mælinga á a-blaðgrænu (Lorenzen 1967) er frábrugðin hinum tveim fyrrnefndu aðferðunum. Sýnin eru þá mæld bæði fyrir og eftir að sýru er bætt út í sýnið (u.þ.b. 60 µl 1N HCl). Sýrunni er bætt í sýnið til að mæla hlutfall a-blaðgrænu og

niðurbrotsefna a-blaðgrænu. Hlutfallið er ráðið af mismun á ljósgleypni, annars vegar mældu áður en sýru er bætt út í sýnið og hins vegar eftir að lausnin er orðin súr og niðurbrot a-blaðgrænu hefur átt sér stað. Niðurbrotið tekur smá tíma og því var síðari mælingin gerð einni mínútu eftir að sýru hafði verið bætt út í sýnið, en þá á öll a-blaðgræna að mælast sem PHAE (phaeopigment). Til að aðgreina niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu án leiðréttingar fyrir PHAE og niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu með leiðréttingu fyrir PHAE, eru notaðar styttingarnar CHLa fyrir þær fyrrnefndu og CHLA fyrir þær síðarnefndu.

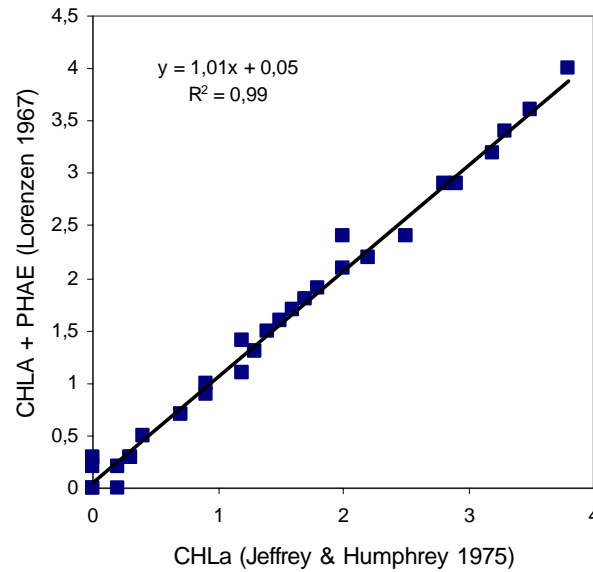
Hallatala fundin fyrir jöfnu línulegrar aðfallsgreiningar á CHLa vs. CHLA var 0,85 (2. mynd_F), sem gefur til kynna að PHAE sé að jafnaði 15% af styrk a_blaðgrænu. Fylgnistuðullinn, sem er mjög hár (R^2 : 0,99), gefur til kynna að hlutfall a_blaðgrænu litarefnis og niðurbrotsefna þess sé mjög stöðugt. Fylgnistuðull aðfallsgreiningar á sambandi CHLA og PHAE er marktækur ($p > 0,05$).



2. mynd í viðauka F. Samanburður á CHLa mælt skv. Jeffrey & Humphrey (1975) og CHLA mælt skv. Lorenzen (1967), sem er leiðrétt fyrir niðurbrotsefnum a-blaðgrænu.

Figure 2 in appendix F. Analysis of correlation of chlorophyll-a according to Jeffrey & Humphrey (1975) and Lorenzen (1967).

Eins og búast mátti við skilaði línuleg aðfallsgreining (3. mynd_F) marktækum fylgnistuðli þegar summan af CHLA og PHAE (Lorenzen 1967) var borin saman við CHLa (Jeffrey & Humphrey 1975), sem staðfestir að síðarnefnda aðferðin greinir ekki milli a-blaðgrænu og niðurbrotsefnanna. Hallatalan var þess utan ekki marktækt frábrúðin 1:1 hlutfalli í þessum samanburði og samkvæmt framansögðu eru því niðurstöður þeirra þriggja aðferða sem hér hefur verið fjallað um sambærilegar.



3. mynd í viðauka F. Samanburður á summunni af niðurstöðum mælinga á CHLa og PHAE (Lorenzen 1967) og niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu skv. Jeffrey & Humphrey (1975).

Figure 3 in appendix F. Correlation analysis of the sum of chlorophyll-a and phaeopigments measured according to Lorenzen (1967) and measurements of chlorophyll-a according to Jeffrey & Humphrey (1975).

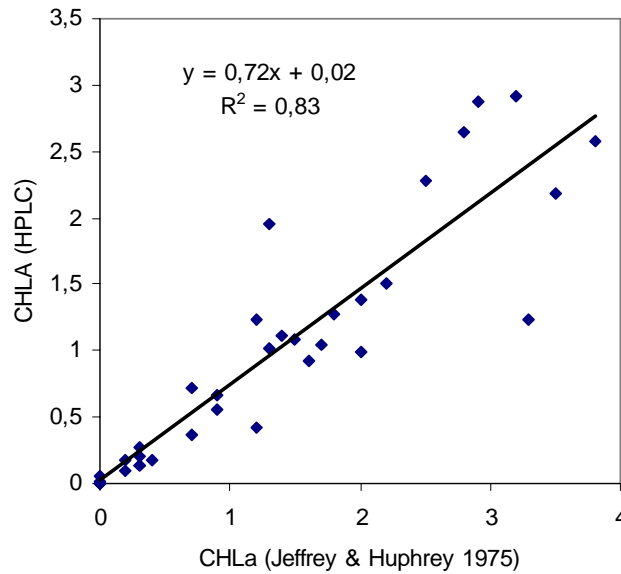
Það skiptir því engu hver af ofangreindum aðferðum er notuð til mælinga á a-blaðgrænu að öðru leiti en því að niðurbrotsefni a-blaðgrænu virðist vera 15% af heildarmagni mældrar a-blaðgrænu þegar þessi efni eru ekki aðgreind. Stöðugt hlutfall CHLa og PHAE í fyrrgreindum niðurstöðum réttlætir ekki sérstakar mælingar á niðurbrotsefnum a-blaðgrænu með aðferð Lorenzen (1967).

Eins og nefnt var hér í upphafi voru tekin tvö sýni hverju sinni til mælinga á litarefnum svifþörunga. Annað sýnið var greint í litrófsmæli, eins og fram er komið, en hitt var greint í háþrýstivökvaskilju (HPLC) samkvæmt aðferð Wright & Jeffrey (1997), eins og nánar er sagt frá í grein Ásu Kristjánsdóttur (2003). Niðurstöður HPLC-mælinga eru af mörgum taldar skila raunhæfustu niðurstöðum um magn litarefna svifþörunga í síuðum sýnum sem völ er á. Þær eru notaðar hér til samanburðar við nefndar litrófsmælingar.

HPLC aðferðin hefur þann kost að aðgreina hin ýmsu litarefni, þ.m.t. a-blaðgrænu, niðurbrotsefni og afleiður, áður en magn þeirra er mælt í ljósgleypnimæli. Núverandi tækjakostur býður hins vegar ekki upp á að bæði séu mældir mismunandi karótenoíðar og jafnframt niðurbrotsefni a-blaðgrænu (PHAE). Þar sem mismunandi karótenoíðar eru sérkennandi fyrir mismunandi hópa svifþörunga var valið að mæla karótenoíða. Það gafst því ekki færi á beinum samanburði á niðurstöðum mælinga á niðurbrotsefnum a-blaðgrænu. En eftirfarandi samanburður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu í uppleystri blöndu af litarefnum í sýnunum frá Mjóafirði annars vegar, mælingum sem voru framkvæmdar eins og venjan er að mæla a-blaðgrænu á Hafrannsóknastofnuninni, og hins vegar niðurstöður a-blaðgrænumælinga í HPLC, gefur til kynna að fyrrnefnda aðferðin ofmeti magn a-blaðgrænu að jafnaði um 25-30% miðað við niðurstöður mælinga með háþrýstivökvaskilju (4. Mynd_F).

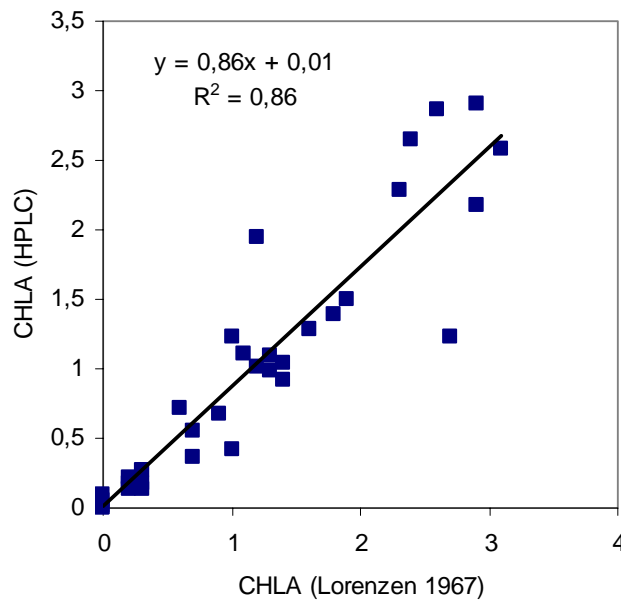
Það er hins vegar álitamál hvað sýnameðhöndlun fyrir mælingar, bæði þegar mæla á a-blaðgrænu í háþrýstivökvaskilju (HPLC) og þegar hún er mæld í litrófsmæli (Jeffrey & Humphrey 1975), hefur á niðurbrot a-blaðgrænu. Það er mögulegt að hluti þess niðurbrotsefnis sem mælt er í HPLC hafi verið a-blaðgrænumeindir þegar sýnið var tekið og það gæti skýrt hluta af nefndu ofmati í litrófsmælingum, en erfitt er að henda reiður á hvað rétt er í þessum efnum. Greinilegt er á samanburði niðurstöðna mælinga á a-blaðgrænu í háþrýstivökvaskilju (4. og 5. mynd_F) við litrófsmælingar á a-blaðgrænu samkvæmt aðferð Jeffrey & Humphrey (1975) annars vegar (4. mynd_F) og aðferð Lorenzen (1967) hins

vegar (5. mynd_F) að breytileikinn er áþekkur óháð því hvort mæliaðferðin er að leiðrétta fyrir niðurbrotsefnum eður ei.



4. mynd í viðauka F. Samanburður á niðurstöðum a_blaðgrænumælinga skv. Jeffrey & Humphrey (1975) og skvæmt HPLC greiningu. Síðar nefnda aðferðin er almennt talin gefa raunsönnustu niðurstöðurnar.

Figure 4 in appendix F. Correlation analysis of chlorophyll-a measured in HPLC according to Wright & Jeffrey (1997) and in spectrophotometer according to Jeffrey & Humphrey (1975).



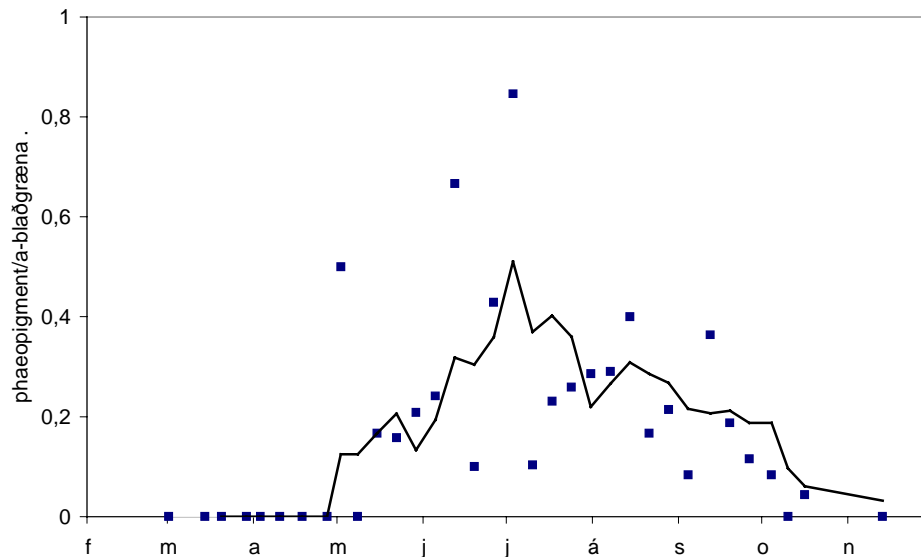
5. mynd í viðauka F. Samanburður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu í litrófsmæli samkvæmt aðferð Lorenzen (1967) annars vegar og samkvæmt mælingum í háþrýstivökvaskilju hins vegar.

Figure 5 in appendix F. Correlation analysis of chlorophyll-a measured according to Lorenzen (1967) and measured in HPLC according to Wright & Jeffrey (1997).

Samanburður á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu skv. aðferð Lorenzen (1967) og framangreindum mælingum í háþrýstivökvaskilju staðfesti, eins og vænta mátti, að fyrrgreindu niðurstöðurnar eru tæplega 15% hærri en þær síðarnefndu og jafnframt sést að breytileiki í niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu er annað hvort tengdur undirbúningi sýna

eða mismun sem stafar annars vegar af mælingum í litrófsmæli og hins vegar í HPLC (5. mynd).

Sýnin sem notuð voru eru tekin á tímabilinu frá febrúar til október og því má fastlega gera ráð fyrir talsverðum breytileika í hlutfalli a-blaðgrænu og niðurbrotsefna, bæði vegna framvindu gróðurs og beitarálags dýra. Þetta kemur reyndar skýrt fram í niðurstöðum mælinganna ef skoðað er hlutfall niðurbrotsefna og a-blaðgrænu (Lorenzen 1967) í tíma (6. mynd_F) og eins þegar mælingar á niðurbrotsefni a-blaðgrænu er reiknað sem mismunur á heildarmagni a-blaðgrænu (Jeffrey & Humphrey 1975) og a-blaðgrænu skv. mælingum í HPLC.



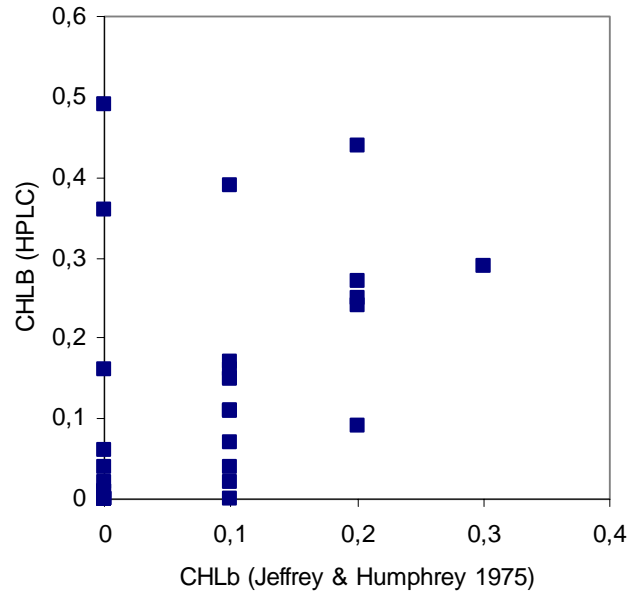
6. mynd í viðauka F. Breytingar á hlutfalli niðurbrotsefna a-blaðgrænu miðað við árstíma. Litarefna mælingar skv. aðferð Lorenzen (1967).

Figure 6 in appendix F. Distribution of the ratio of phaeopigments and chlorophyll-a during 2000 in Mjólfjörður.

Eins og greint var frá hér í byrjun er fylgni niðurstaðna mælinga á a_blaðgrænu með og án leiðréttingar á niðurbrotsefnum (phaeopigments) svo góð að ekki virðist ástæða til leggja í þá aukavinnu að sýra sýnin. Það gæti hins vegar verið ástæða til að kanna nánar hvort ofmat a_blaðgrænu, tæplega 30%, sé breytilegt eftir aðstæðum og árstíma, eða hvort leiðrétt megi eldri niðurstöður í samræmi við þetta.

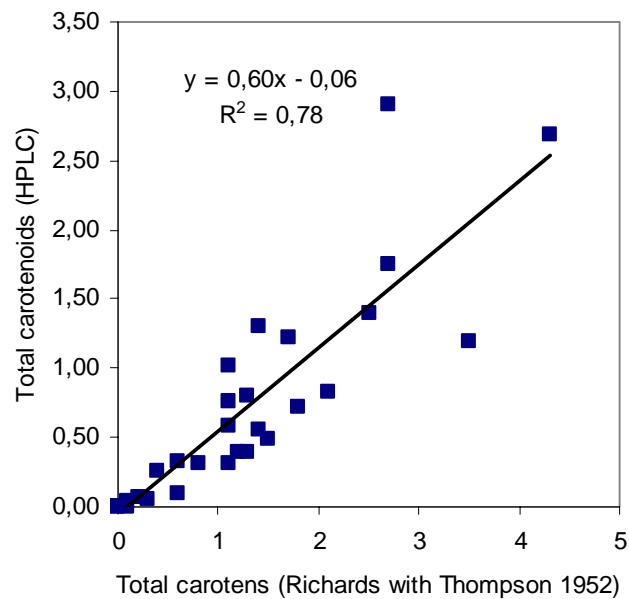
Samsvarandi samanburður og gerður var á niðurstöðum mælinga á a-blaðgrænu í litrófsmæli og HPLC, var gerður á mælingum á b-blaðgrænu og karótenoíðum. Samanburður á niðurstöðum mælinga á b_blaðgrænu skv. aðferð Jeffrey & Humphrey 1975 annars vegar og í HPLC vökvagreini hins vegar (7. mynd_F) sýnir að fylgnin er hverfandi lítil á því mælisviði sem gögnin gefa tilefni til. Fylgnin er ekki marktæk og upplausn niðurstaða skv. fyrrnefndu aðferðinni er auðsjáanlega lítil og niðurstöðurnar ekki sérlega sannfærandi.

Að lokum var borin saman summan af magni greindra karótenoíða, sem greindir voru í háþrýstivökvaskilju í sýnum frá Mjóafirði árið 2000 (Ása Kristjánsdóttir 2003) og heildarmagn karótenlitarefna mælt í litrófsmæli skv. aðferð Richards with Tompson (1952) í samsvarandi sýnum. Aðferð Richards with Tompson (1952) býður ekki upp á að hin ýmsu karótenlitarefni verði aðgreind og er því aðeins gróf nálgun á heildarmagni misþungra sameinda karótenoíða. Þessi takmörkun aðferðarinnar gerir það að verkum að niðurstöður magnútreikninga er í raun ekki hægt að gefa upp sem staðlaðar einingar. Fastarnir sem notaðir eru til umreikninga á ljósgleypni í magn karótenlitarefna eru byggðir á meðalþunga þeirra efna sem til staðar voru í þeim sýnum sem lögð voru til grundvallar á sínum tíma. HPLC aðferðin aðskilur öll þessi mismunandi efni svo nota má viðkomandi stuðla í hverju tilviki.



7. mynd í viðauka F. Samanburður á niðurstöðum mælinga á b-blaðgrænu skv. aðferð Jeffrey & Humphrey (1975) og greint í háþrýstivökvaskilju.

Figure 7 in appendix F. Comparison of chlorophyll-b, measured according to Jeffrey & Humphrey (1975) and measured in HPLC according to Wright & Jeffrey (1997).



8. mynd í viðauka F. Samanburður á niðurstöðum mælinga á karótenoíðum samkvæmt aðferð Richards with Thompson (1952) og í háþrýstivökvaskilju.

Figure 8 in appendix F. Correlation analysis of total carotenoids measured according to Richards with Thompson (1952) and in HPLC according to Wright & Jeffrey (1997).

Þrátt fyrir takmarkanir er greinilegt að aðferð Richards with Thompson (1952) gefur almennt góða vísbendingu um afstæðan breytileika á heildarmagni karótenlitarefna, svo fremi samsetning þeirra í einstökum sýnum er ekki allt of frábrugðin frá einu sýni til annars (8. mynd_F. Fyrir þennan samanburð voru niðurstöður mælinga á 6 mismunandi efnasamböndum, aðgreindum í háþrýstivökvaskilju, lagðar saman. Það var því ekki að búast

við að hallatalan fyrir jöfnu beinnar línu samkvæmt aðfallsgreiningunni yrði einn. Fylgnin er góð og línan sker ásana nánast í núlli.

Heimildir:

- Anon. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs on oceanographic methodology, 1, UNESCO/SCOR, Paris, 69 bls.
- Ása G. Kristjánsdóttir 2003. Árstíðabreytingar í samsetningu þörungasvífs í Mjóafirði. Litarefni þörungna greind með háþrýstivöskvilju (HPLC). Í: Karl Gunnarsson (ritstj.) Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 93:51-64.
- Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura & S.W. Wright (ritstj.) 1997. Phytoplankton pigments in oceanography. Monographs on oceanographic methodology UNESCO, París, 661 bls.
- Jeffrey, S.W. & G.F. Humphrey 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a, b, and c, in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochim. Physiol. Pflanzen.*, 1967:191-194.
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12:343-346.
- Parsons, T.R., Y. Maita & C.M. Lalli 1984. A manual of chemical and biological method for seawater analysis. Pergamon Press, U.K., 173 bls.
- Richards, F.A. with T.G. Thompson 1952. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. *J. Mar. Res.*, 11:156-172.
- Wright, S.W. & Jeffrey 1997. High-resolution HPLC system for chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton. Í: S.W.Jefrey, R.F.C.Mantoura & S.W.Wright (ritstj.) Phytoplankton pigments in oceanography. Monographs on oceanographic methodology UNESCO Paris, 327-341.
-

VIÐAUKI G. Mælingar á lóðréttri deyfingu ljóss í sjó.

APPENDIX G. *Measurements on vertical attenuation of light in the sea.*

Almennt er viðurkennt að nota sjóndýpismælingar og niðurstöður Pool & Atkins (1929) þegar lóðrét ljósdeyfing í sjó er reiknuð í tengslum við útreikninga á frumframleiðni undir fermetra. Þá er notuð eftirfarandi jafna til að reikna deyfistuðul ljóss (k') út frá sjóndýpi (SD):

$$k' = 1,7 / SD$$

og samkvæmt henni þá hverfur sjónskífan þar sem er 18,3% ljósdýpi, þ.e. hlutfall áfallandi ljóss miðað við yfirborðsljós ($100/\exp(1,7) = 18,3$). Samkvæmt þessu má reikna dýpt ljóstillífunarlags, 1% ljósdýpi = $4.6 / 1,7 \times SD = 2,7 \times SD$.

Talsverður fjöldi mælinga á ljósdeyfingu er fyrirliggjandi frá ýmsum rannsóknaverkefnum á Hafrannsóknastofnuninni. Árið 1981 tók Páll Reynisson saman niðurstöður mælinga á deifingu ljóss, sem hann hafði annast árið áður. Mismunandi aðferðir til að meta ljósdeyfingu í sjó, þ.m.t. sjóndýpi, lithlutfall og beinar ljósmælingar voru bornar saman. Samantektin er óbirt og aðeins til á lausum blöðum, en eftirfarandi er það helsta sem þar kemur fram. Reiknuð var besta línulega aðfella samkvæmt jöfnu annarar gráðu fjölliðu fyrir annars vegar niðurstöður allra beinna ljósmælinga þar sem ljósdýpi var ákvarðað, metið sem hlutfall mældýpis (Z_x) af reiknuðu dýpi fyrir 10% ljósdýpi (Z_{10}) samkvæmt hverju einstöku dýptarsniði ljósmælinga og hins vegar mælt hlutfall ljóss (%) á viðkomandi dýpi miðað við yfirborðsljósið (x , % quanta level):

$$k_x = Z_x/Z_{10} = 0,30 (\log X)^2 - 1,99 \log X + 2,69 ; R^2: 1,0.$$

Jöfnuna má nota til að reikna hlutfall tiltekins ljósdýpis miðað við 10% ljósdýpi. Þannig er eitt prósent ljósdýpi $Z_1 = 2,69 Z_{10}$, þrjú prósent ljósdýpi $Z_3 = 1,81 Z_{10}$ og þrjátíu prósent ljósdýpi $Z_{30} = 0,40 Z_{10}$. Einnig var reiknuð besta aðfella jöfnu beinnar línu fyrir samband einar prósentu ljósdýpis (Z_1) og sjóndýpis:

$$Z_1 = 4,95 \times SD - 12,52; \quad R^2: 0,67.$$

Hallatalan jöfnunnar er mjög há, talsvert hærri en erlendar rannsóknir sýna (Poole & Atkins 1929, Aas 1980, Højerslev 1981). Sennilega er skýring fólgin í því hve lágt gildi er á skurðpunkti línunnar við Y-ásinn, sem verður að teljast undarlegt. Sambærilegir útreikningar fyrir samband tíu prósentu ljósdýpi (Z_{10}) og sjóndýpis gaf niðurstöðuna:

$$Z_{10} = 1,84 \times SD - 4,65$$

Fylgnistuðul vantar og hlutfallslega er skurðpunktur línunnar jafn fjarri því að skera x og y í núlli. Línuleg aðfallsgreining fyrir tíu prósentu ljósdýpi og niðurstöður lithlutfalls mælinga (index) sýndi að $Z_{10} = 12,91 \text{ index} - 5,25 ; R^2: 0,80$.

Þess ber að geta að í mati Páls á ljósdýpi var ekki reiknað með að hluti yfirborðsljóssins endurvarpast í yfirborðinu. Gæta verður samræmis hvað þetta varðar þegar niðurstöður mismunandi rannsókna eru bornar saman.

Sömu gögn og Páll notaði, ásamt því sem bætt hafði verið við frá þeim tíma, voru unnin á ný árið 1990 og kynnt á veggspjaldi á NATO/ASI fundi sem haldinn var á Ítalíu sama ár. Í þeirri úrvinnslu var metið endurvarp í yfirborðinu með því að framlengja beina línu, dregna í gegnum semilogaritmíska vörpun af niðurstöðum ljósmælinganna, og lesið af í yfirborði samkvæmt dýptarás línuritsins. Meðaltal endurvarps í yfirborði samkvæmt þessum útreikningum var 13% (staðalfrávik 6,5 prósentustig miðað við 147 athuganir). Reiknuð besta línulega aðfella fyrir 1% ljósdýpi og sjóndýpi þessarar mælinga skilaði eftirfarandi jöfnu beinnrar línu:

$$Z_1 = 1,56 \times SD + 8,1; \quad R^2: 0,63.$$

Hins vegar ef línan var þvinguð í gegnum núllskurðpunkta ásanna á línuritinu fékkst hallatalan 2,3. Ef það er svo bakreiknað á samsvarandi hátt og gert var hér í upphafi með jöfnu Pool & Atkins (1929) þá fæst niðurstaðan að sjónskífan hverfur að jafnaði þar sem ljósdýpi er 13,7% í okkar mælingum.

Í úttekt á frumframleiðnireikningum stofnunarinnar, sem kynnt var á haustfundi Alþjóðahafnrannsóknaráðsins 1991 (Þórunn Þórðardóttir o.fl. 1991), var gert ráð fyrir að sjónskífan hyrfi við 17% ljósdýpi og samkvæmt því ætti $k_{is} = \ln(100/17) / SD = 1,77 / SD$. Þar af leiðandi væri 1% ljósdýpi jafnt og $2,6 \times SD$. Í ljósi þess hve lítill munur er á ljósdeifingu samkvæmt framangreindu og fyrrgreindri niðurstöðu Pool & Atkins (1929) var ákveðið að nota síðarnefnt samband. Aðrir útreikningar á sambandi ljósdeyfingar og blaðgrænu eða framleiðni, hafa verið gerðir í tengslum við ýmis verkefni. Þegar útreikningar á heildarframleiðni íslenska hafsvæðisins var í undirbúningi 1980 var fundið að $SD = 10,66 \times ((PP_{0m} + PP_{10m})/2)^{-0,22}$, en nokkrum árum síðar var niðurstaða endurtekinnna útreikninga að $SD = 11 \times ((PP_{0m} + PP_{10m})/2)^{-0,28}$ og að $SD = 9,71 \times (a\text{-blaðgræna})^{-0,24}$.

Loks, í tengslum við rannsóknir á vistfræði Eyjafjarðar 1992-1993 (Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002), var komist að þeirri niðurstöðu að reikna mætti ljósdeyfingu sem fall af a-blaðgrænu samkvæmt eftirfarandi jöfnum fundna með aðfallsgreiningu á log log sambandi rýnis og a-blaðgrænu:

$$SD = 10,4 \times (a\text{-blaðgræna})^{-0,25}; \quad \text{og ef } k' = 1,7 / SD \text{ þá verður}$$

$$k' = 1,7 / (10,4 \times (a\text{-blaðgræna})^{-0,25}) = 0,163 / (a\text{-blaðgræna})^{-0,25},$$

mælt í Eyjafirði og sameinað jöfnu Pool & Atkins 1929 fyrir samband sjóndýpis og ljósdeyfingar í sjó.

Heimildir:

- Aas, E. 1980. Relations between total quanta blue irradiance and Secchi disc observations in the Norwegian and Barents Seas. Í: Studies in physical Oceanography, papers dedicated to professor Nils G Jerlov in commemoration of his seventieth birthday. Københavns universitet, Institute for fysisk oceanografi. Report 42:11-27.
- Højerslev, N.K. 1981. Daylight measurements appropriate for photosynthetic studies in natural sea waters. Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer 38:131-146.
- Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson, Sólveig Ólafsdóttir & Öivind Kaasa 2002. Ecology of Eyjafjörður Project. Chemical and biological parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992–August 1993. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 89:1-129.
- Pool, H.H. & W.R.G. Atkins 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. Journal of the Marine Biological Association of the U.K., 16:297-324.

Hafrannsóknastofnun. Fjölrit

Marine Research Institute. Reports

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

<http://www.hafro.is/Bokasafn/Timarit/fjoler.htm>

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 fjörupörunga 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 fiskveiðarárið 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 fiskveiðarárið 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:** Lífriki 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:** Svifþörungur 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. *dst² 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 sjávarnýtjar 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:** Sjávarnýtjar í Hvalfirði. Reykjavík 2001. 14 s.
85. Rannsóknir á straumum, umhverfisþáttum og lífríki sjávar í Reyðarfirði frá júl 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 áð vorlagi. Reykjavík 2002. 42 s.
87. *dst² 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, svifþörungur 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: Stofingerð 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. *dst² 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 svifþörungna í Hvalfirði. Reykjavík 2003. 44 s.
100. **Valdimar Ingi Gunnarsson** (o.fl.): Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2002. Reykjavík 2004. 26 s.

101. Þættir úr vistfræði sjávar 2003. *Environmental conditions in Icelandic waters 2003*. Reykjavík 2004. 43 s.
102. Nýttjastofnar sjávar 2003/2004. Aflahorfur fiskveiðiárið 2004/2005. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2003/2004. Prospects for the Quota Year 2004/2005*. Reykjavík 2004. 175 s.
103. **Ólafur K. Pálsson** o.fl.: Mælingar á brottkasti 2003 og Meðafli í kolmunnaveiðum 2003. Reykjavík 2004. 37 s.
104. **Ásta Guðmundsdóttir, Þorsteinn Sigurðsson**: Veiðar og útbreiðsla íslensku sumargotssíldarinnar að haust- og vetrarlagi 1978-2003. Reykjavík 2004. 42 s.
105. **Einar Jónsson, Hafsteinn Guðfinnsson**: Ýsa á grunnslóð fyrir Suðurlandi 1994-1998. Reykjavík 2004. 44 s.
106. **Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir og Gunnar Pétursson**: Computation of daily primary production in Icelandic waters; a comparison of two different approaches. Reykjavík 2004. 24 s.
107. **Kristinn Guðmundsson og Kristín J. Valsdóttir**: Frumframleiðnimælingar á Hafrannsóknastofnuninni árin 1958-1999: Umfang, aðferðir og úrvinnsla. Reykjavík 2004. 56 s.
-

