

Klimaforandringer i Arktis

- Hvad betyder det for de marine økosystemer?

Det er blevet varmere i verden. Ikke meget, men nok til at det kan få stor betydning for havmiljøet i arktiske områder.

Danmarks Miljøundersøgelser leder et stort forskningsprojekt i Nordøstgrønland, som skal kortlægge ændringerne.

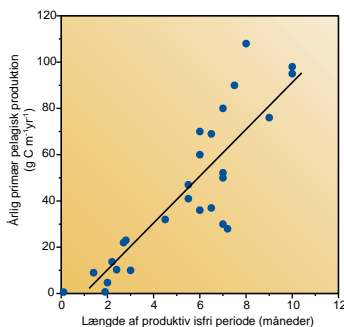
Foråret i Skandinavien kommer nu 11 dage tidligere end i begyndelsen af 1960'erne. Løvtræerne vinder frem på bekostning af nåletræerne.

Klimaforskerne er ikke i tvivl: Klimaet ændrer sig langsomt men sikkert. Og daglige avisoverskrifter som ovenstående fortæller os, at naturen reagerer på de ændrede forhold.

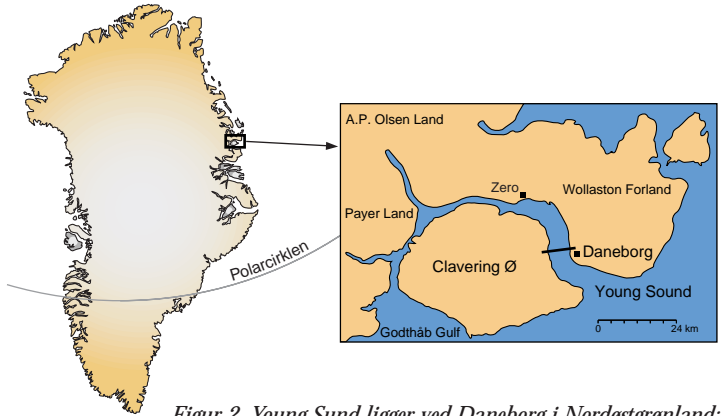
Længere mod nord ser vi også forandringer. Mange års satellitobservationer og målinger af istykkelsen viser, at havisen bliver tyndere, og at den isfrie periode bliver længere. Langs Grønlands østkyst er havet nu isfrit 6-8 dage længere om året end tidligere. Det synes af marginaler. Men i Nordøstgrønland er kystvandene normalt kun isfrie ca. 60 dage om året, og så kan selv små ændringer i klimaet få stor betydning for produktionen i systemerne.

To teorier hersker

Den globale temperaturstigning ser altså i første omgang ud til at føre til længere og længere perioder med isfrit vand langs Grønlands østkyst. Det betyder en større solindstråling til primærproducenterne i havet, og en af de fremherskende teorier går da også på, at primærpro-



Figur 1. Sammenhæng mellem pelagisk primærproduktion i arktiske områder og længden af den isfrie periode.



Figur 2. Young Sund ligger ved Daneborg i Nordøstgrønland; lige på grænsen mellem det permanente isdække mod nord og den isfrie sommer mod syd.

duktionen i de arktiske marine områder stiger som et resultat af klimaforandringerne.

Men paradoksalt nok kan den globale temperaturstigning på længere sigt bevirke, at det lokalt bliver koldere både i arktiske områder og på vores breddegrader.

De højere temperaturer betyder nemlig også, at oceanerne får tilført mere ferskvand i form af regn og smeltvand. Det kan ændre det komplekse samspil, der driver havstrømmene i verdens oceaner. Mere ferskvand til de arktiske egne medfører muligvis, at der ikke længere synker så meget tungt saltvand ned til bunden i de kolde dele af Nordatlanten. Og det er bl.a. den kolde sydgående havstrøm langs oceanernes bund, der trækker den varme Golfstrøm nordpå i overfladelagene.

Konsekvensen kan blive, at Golfstrømmen ændrer sig eller standser helt. Det er Golfstrømmen, der holder os varme, og uden den kan temperaturen falde med 5-10 grader i Nordeuropa. Ændringer af Golfstrømmen kan i værste fald føre til en ny istid, viser flere beregninger.

Lokalt koldere forhold langs Grønlands østkyst betyder

mindre solindstråling til de marine primærproducenter.

Data indsamlet fra en lang række arktiske økosystemer viser en overbevisende sammenhæng mellem længden af den isfrie periode og den pelagiske primærproduktion i havet (figur 1). Ændringer i den isfri periodes længde kan derfor få afgørende indflydelse på alle led i fødekæden i det arktiske økosystem.

Stort forskningsprojekt

Danmarks Miljøundersøgelser i Silkeborg leder et stort forskningsprojekt i fjorden Young Sund ved Daneborg i Nordøstgrønland (figur 2). Young Sund ligger lige på grænsen mellem det permanente isdække mod nord og den isfrie sommer mod syd. Netop her forventer vi at se de første effekter af en eventuel klimaforandring i arktiske marine områder.

Projektet har fået navnet CAMP (Changes in Arctic Marine Production). Det undersøger, hvordan ændringer i havens udbredelse på den nordlige halvkugle påvirker primærproduktionen og de øvrige led i fødekæden i arktiske marine økosystemer. Projektet bliver støttet af forskningsrådernes særlige "Global Change"-pulje.

Af Peter Bondo Christensen og Søren Rysgaard

Der deltager ca. 20 forskere i projektet. Foruden Danmarks Miljøundersøgelser kommer forskerne fra Aarhus, København og Odense Universiteter samt fra Roskilde Universitetscenter.

De mange forskere dækker mange forskellige specialer, og den samlede indsats gør det muligt at inddrage alle vigtige elementer af det marine arktiske økosystem. Projektet, der udgør et af de største samlede arktiske marine forskningsprojekter, løber til og med år 2001.

Kulstofbudget

Et af målene med projektet er at opstille et kulstofbudget for hele økosystemet og undersøge, hvordan de enkelte processer påvirkes af lys og temperaturforhold. Det er målet at svare på følgende spørgsmål:

- Hvor meget kulstof producerer primærproducenterne?
- Hvor meget græsser de næste led i fødekæden (dyreplankton og filtrerende bundlevende dyr)?
- Hvor meget transporteres videre til de øverste led i fødekæden (herunder fjeldørred og hvalrosser)?
- Hvor stor en del af produktionen sedimenterer ned på havbunden?
- Hvor meget nedbrydes og omsættes i havbunden, og hvilke processer er ansvarlige for denne omsætning?
- Hvor stor er den permanente begravelse af organisk materiale i havbunden?



Foto: Søren Rysgaard

Det er hårdt arbejde at save hul i den 1½ meter tykke havis.

Det første samlede kulstofbudget fra Young Sund viser de generelle linier i produktionen og omsætningen af kulstof.

Primærproduktionen i vand-søjlen starter umiddelbart efter, at havisen bryder op (figur 3). Den største produktion finder sted i springlaget i ca. 15-20 m dybde. Integreret over hele året producerede planktonalgerne godt 10 g C per m² gennem den 2-3 måneder isfri periode i 1996.

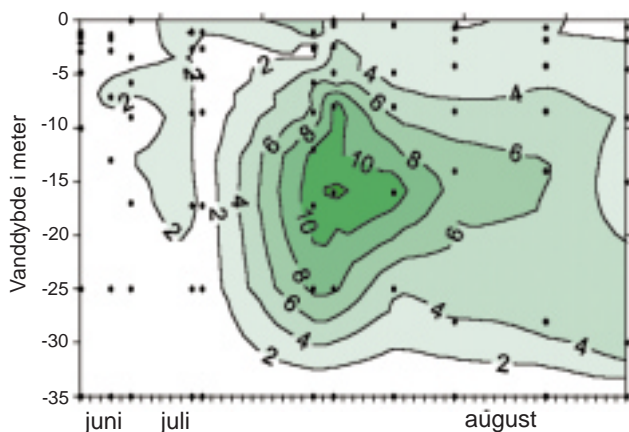
Overvintrende vandlopper kobler sig hurtigt på den pelagiske produktion, og den klassiske fødekæde dominerer derfor i denne arktiske fjord, hvor vandlopperne i de undersøgte

år græssede over 80% af den pelagiske produktion (Fig. 4).

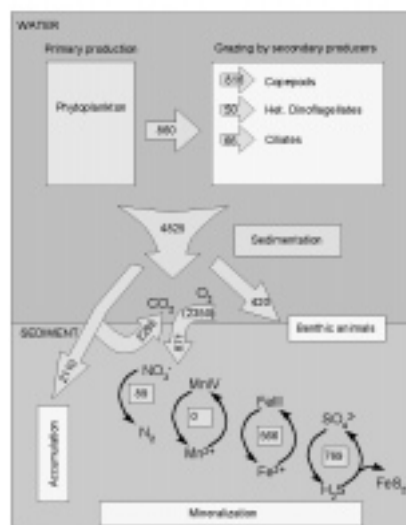
I havbunden omsættes det sedimenterede organiske materiale i to tempi. Det hurtigt omsættelige, der udgør ca. 15%, omsættes inden for en periode af ca. 3 uger, mens det resterende sværere nedbrydelige materiale (85%) nedbrydes gennem resten af den isdækkede sæson (9-10 mdr.). Ca. 40% af det organiske materiale omsættes af bakterier, der ånder med ilt, mens denitrificerende samt jern- og sulfatreducerende

bakterier står for de resterende 60%. Ca. halvdelen af det sedimenterede materiale er uom-sætteligt og begravet permanent i havbunden (figur 4).

Undersøgelse af omsætningen i havbunden på forskellige dybder (20-160 m) på tværs af fjorden viste, at den største del af det sedimenterede materiale blev omsat på lave vanddybder. Den gennemsnitlige omsætning af organisk materiale i havbunden var ca. 5 mmol C per m² per døgn. Det svarer til ca. 30% af det producerede organiske



Figur 3. Den pelagiske produktion i Young Sund starter umiddelbart efter, at isen bryder op. En stor del af produktionen foregår i springlaget i 15-20 meters dybde



Figur 4. Årligt kulstofbudget for Young Sund på 36 m vanddybde. Alle tal er i mmol C per m² per år. Inddrages alle dybder i fjorden, viser beregninger, at den samlede produktion i vandsøjlen lige akkurat dækker kulstofforbruget ved den mikrobielle omsætning i sedimentet.



Der må saves et stort hul i den tykke havis for at få dykkere og udstyr ned under isen.

Foto: Søren Rysgaard

stof fra planktonalgerne (15 mmol C per m² per døgn).

Isalger

Kulstofbudgettet viste også, at andre primærproducenter end planktonalger har betydning for den samlede kulstofproduktion i systemet. Bundlevende mikroalger, store brunalger og isalger bidrager alle til primærproduktionen, men hvor vigtige er de hver for sig?

Isalger er mikroskopiske alger på undersiden af havisen. Kimen til isalgernes produktion opstår allerede, mens havisen bygger op i efteråret. Når frosten sætter ind, fanger isen planktonalger fra vandet. Det er primært store kiselalger, der fryser inde i isen. Her ligger de i dvale i det buldrende vintermørke og venter på foråret.

Ved Daneborg bliver havisen godt 1 meter tyk. Algerne samler sig på undersiden af havisen, hvor de har tilpasset sig livet under helt ekstreme forhold. De lever i små saltfyldte hulrum i isen, hvor saltholdigheden bliver mange gange højere end i havvandet. Det betyder, at temperaturen i hulrummene når ned på frostgrader, der ligger væsentligt under den temperatur, som havvand normalt fryser ved.

Isalgerne udnytter optimalt det sparsomme lys fra oven og drager samtidig fordel af de mange næringsstoffer, der er i havvandet under isen. En kolossal vækst i forårmånederne farver undersiden af isen lysegrøn, og produktionen kan

blive så stor, at algerne hænger som bølgende gardiner ned fra isen.

Når havisen smelter i juli, falder saltindholdet i den nederste del af havisen, og isen bliver næsten fersk. Isalgerne tåler ikke de lave saltholdigheder. De dør, falder ud i vandet og synker til bunden, hvor bunddyr og bakterier æder og omsætter resterne af algerne.

Forskningsprojektet i Young Sund har deltaget i udviklingen af en ny målesonde, der kan måle isalgernes produktion. Hjertet af sonden er en mikroiltelektrode. Elektroden placeres på et omvendt treben på undersiden af isen, og en lille computer styrer en motor, der i meget små trin borer elektroden op i isen. Data opsamles automatisk og fortæller, hvor meget isalgerne producerer og dermed, hvor vigtige de er som



Foto: Göran Ehlminé

De tynde iltelektroder bores op i undersiden af havisen, hvor de måler, hvor meget isalgerne producerer.

fødekilde for de næste led i fødekæden.

Målesonden blev testet og fundet særdeles velegnet sidste år. I juni måned 1999 går jagen så ind for at afdække isalgernes kvantitative betydning i Young Sund og klimaændringernes indflydelse på deres produktion.

Makroalger

Planterne på land bliver sjældent mere end 5-10 cm høje i Nordøstgrønland, og de vokser overordentlig langsomt. Det er derfor overraskende, at man i fjordene finder frodige bestande af brunalger, der kan blive op til 6-8 meter høje. Algerne vokser ca. en meter om året i det iskolde vand og opretholder en meget stor biomasse. De kan derfor bidrage væsentligt til produktionen af det organiske stof, som alle andre marine organismer lever af.

I Nordøstgrønland er brunalgen sukkertang (*Laminaria saccharina*) den største og mest betydende af brunalgerne. Planten findes fra Portugal i syd til Jørgen Brønlund Fjord i Nordøstgrønland. Man skulle umiddelbart forvente, at sukkertang har gunstigere levevilkår under sydligere himmelstrøg som f.eks. i de danske farvande, hvor temperaturen er højere og solindstrålingen større. Men arten er langt større og synes mere vital i de arktiske fjorde.

Det umiddelbare spørgsmål er, hvordan en så rig flora kan eksistere under de ekstreme fysiske vilkår, og hvor stor en betydning produktionen af de store brunalger har for hele det arktiske økosystem. Udover det kolde vand skal planterne klare sig under helt specielle lysforhold. Algerne modtager kun tilstrækkeligt lys til at opbygge organisk stof i de to måneder af året, hvor vandet er isfrit. Her udnytter de imidlertid den stærke midnatssol og laver fotosyntese døgnet rundt. Det producerede kulstof oplagres i vævet. Gennem den lange, mørke vinter, optager planterne de næringsstoffer, der i denne periode findes i høje koncentrationer i vandet. Planterne kob-

ler næringsstofferne på det oplagrede kulstof og danner i mørket nye lange bladplader. Flere alger kan regulere deres fysiologi og dermed delvist kompensere for de lave temperaturer, men makroalgernes vækstøkologi og fysiologi er stadigvæk kun beskrevet for få af de højarktiske arter.

Tangskove af brunalger kan i tempererede områder have en arealmæssig produktion, der er 5-10 gange højere end planktonalgernes produktion. Gælder de samme forhold i arktiske områder, kan brunalgerne være vigtige for kystvandenes samlede produktion af organisk stof og dermed også for produktio-



Foto: Peter Bortdo Christensen

De store brunalger vokser op til en meter om året, selvom de står i buldermørke 10 måneder om året.

nen af bunddyr, fisk og havpattedyr som sæl og hvalros.

Flere planter i Young Sund er nu mærket op for at måle biomasseforøgelsen gennem henholdsvis den lange mørke vinter og den korte lyse sommer. I august 1999 bliver der iværksat detaljerede undersøgelser af planternes produktion og fysiologiske respons på forskellige temperatur- og lysforhold.

Fjeldørred

Sammen med isalgerne og planktonalgerne eksploderer livet i vandsøjlen. Små krebsdyr, vingesnegle og meget andet myldrer frem og tager for sig af retterne. Og i hælene på dem

følger fjeldørred i titusindetal.

Så snart vandet begynder at løbe i floderne, forlader fiskene søerne i den nærliggende Store Sødal. Her har de levet uden føde af betydning gennem de ti vintermåneder og drager om sommeren ud for at æde i det store marine spisekammer. Fiskenes fødeindtagelse er særdeles høj under den korte isfrie periode og giver dem en meget høj tilvækst i sommerperioden.

Fjeldørredernes betydelige konsumering af små krebsdyr kan spille en vigtig rolle i reguleringen af den pelagiske primærproduktion i Young Sund. Fiskene er derfor inddraget i undersøgelserne, hvor det er målet at estimere populationsstørrelse, og måle hvordan deres græsning af krebsdyr påvirker primærproduktionen.

Muslinger og hvalros

Den del af primærproduktionen, der ikke omsættes i vandsøjlen, falder ned på havbunden, hvor mange forskelligartede filtrerende og græssende dyr nyder godt af gaverne fra oven. Søiljer, søagurker, søanemoner, børsteorme, slangestjerner, søpunge, dødningehånd og andre koraller står skulder ved skulder i alle farver. Et kort øjeblik forledes man til at tro, at man befinder sig på et tropisk koralrev.

Nede i selve havbunden gemmer muslingerne sig. De to vigtigste er sandmuslingen (*Mya truncata*) og hulemuslingen (*Hiattella arctica*). De sidder op til 30 cm nede i havbunden og lever i en verden, der konstant er tæt på minus 2°C året rundt. Man ser kun deres ånderør stikke op i vandet, men de er her i kolossale mængder.

Muslingerne er den vigtigste føde for hvalrosserne, der hver sommer tager ophold i Young Sund. Og det er mange muslinger, hvalrosserne hver dag henter op fra havets bund. En hvalros skal spise mellem 50 og 80 kg muslinger om dagen for at kunne gå vinteren i møde.

Hvalrossen føler sig frem til muslingerne med deres buskede overskæg. De bruger deres kraftige forluffer til at lave en vold-



Foto: Göran Ehlmé

Hvalrossen føler sig frem til muslingerne med skægget.

som vandbevægelse lige over havbunden. De suger kødet ud af de blotlagte muslinger, lader skallerne ligge tilbage og efterlader et krater i havbunden med dynger af tomme muslingeskaller. Det ser mest af alt ud, som om nogen har smidt en håndgranat på stedet.

Projektet i Young Sund omfatter også produktionen af muslinger og fødeoptagelsen hos hvalros. Mange muslinger i bunden af fjorden er mærket op for at måle tilvæksten, og til juni bliver der lavet forsøg med muslingernes filtrationskapacitet ved forskellige temperaturer og fødemængder.

Flere individer af de tonsvægtige hvalrosser bliver vejet, og indsprøjtning af radioaktive isotoper vil give information om hvalrossernes stofskifte og energiregnskab. En lille sender monteret på hvalrossens tand vil give oplysninger om, hvor dyret befinder sig, hvor ofte den dykker ned, og hvor dybt den dykker. Frygtløse dykkere følger med hvalrossen til havbunden og samler de tomme skaller sammen efter dyrets festmåltid. Og alle oplysningerne samles for at kunne beskrive, hvor stor en del af kulstoffet der transporteres fra primærproducenterne via muslinger til det øverste fødekædeled, hvalrossen.

Palæobiologiske undersøgelser i sedimentet over tidligere

muslingebanker blive sammenholdt med undersøgelser af nutidige muslingebanker. Oplysningerne skal give os svar på, om hvalrosserne er i stand til at tømme en fjord for store muslinger, inden de vælger en ny fjord som spisekammer, og kan dermed forhåbentlig bidrage med nyttige informationer om hvalrossernes færden i arktiske kystområder.

Et følsomt økosystem

Det arktiske marine økosystem er tilpasset de helt ekstreme fysiske forhold, der hersker mod nord. Hovedparten af produktionen bliver overstået på få uger, når havisen går, og mens midnatssolen hænger højt på himlen som den store generator.

Det er ikke svært at forstå, at en ganske lille ændring i længden af den isfrie periode kan ændre primærproduktionen dramatisk, hvad enten perioden bliver længere eller kortere. Det arktiske hav er et følsomt økosystem i balance, og ændringer i primærproduktionen vil påvirke alle led i fødekæden.

Det er opfattelsen, at de første effekter af en global klimaforandring først vil slå igennem netop i de arktiske marine økosystemer. Projektet i Young Sund skal være med til at belyse forandringerne fremover. ☺

Om forfatterne

Peter Bondo Christensen og Søren Rysgaard er seniorforskere ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Sø- og Fjordøkologi.

Vejlsøvej 14

8600 Silkeborg

Tlf.: 89201400



Peter Bondo Christensen

E-post: pbc@dmu.dk



Søren Rysgaard

E-post: sr@dmu.dk

Flere oplysninger om projektet:

CAMPs hjemmeside:

<http://www.dmu.dk/>

[LakeandEstuarineEcology/camp/](http://www.dmu.dk/LakeandEstuarineEcology/camp/)