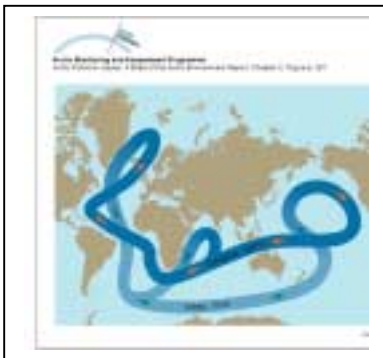


## ARKTIS ER ET ØKOSYSTEM

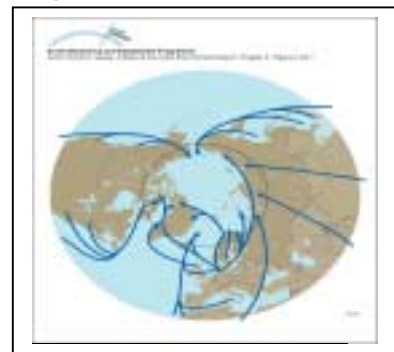
Hvis du så ned fra det ydre rum, igennem solens solvinde der farer afsted med 200 km per minut, igennem den  $-200^{\circ}\text{C}$  stratosfære med sin reducerede ozon, igennem grænselaget ved 3 km imellem den øvre og nedre atmosfære, så ville du få øje på Arktis i vintermørket, domineret af polarisens 2 millioner  $\text{km}^2$ . Iskappen, der er centreret i Det arktiske Hav, strækker sig sydover til iskanten ved den snævre åbning til Atlanterhavet, forbi Grønland og Island, og til det 45 mil brede Bering-stræde mellem Chukotka og Alaska der løber ud i Bering Havet. Iskappen dækker også landet der omringer Det arktiske Hav, med den grønlandske indlandsis på 1,8 millioner  $\text{km}^2$  i op til 3 km tykkelse. Gletchernes fingre spreder sig ned af bjergsider i Norge, Uralbjergene, Kolima, Alaska, Yukon og Baffin Island til et godt stykke under polarcirklen.

Den dybe sne ligger som et tæppe henover land der støder op til havene, men dækker knapt polarørkenerne og semiørkenerne på kontinentet, hvor moskusokser og rensdyr leder efter fodder, hvor ræve og ulve søger føde, og hun-isbjørne ligger i vinterhi og føder i deres snehuler. Under sneen findes der kiler af permafrost; dybt og kontinuerligt i Arktis, men diskontinuerligt i Subarktis. Isen, der ligger på overfladen af dybere søer, floder og have, dækker vand der stadig er over frysepunktet mens lufttemperaturen er  $-50^{\circ}\text{C}$  eller derunder.



I takt med årstiderne, stiger solen over horisonten og varmer luften i Arktis, hvorefter havisen bliver tyndere og trækker sig tilbage. Sneen og isen på jorden smelter; floder fyldes med smeltevand, store mængder vand løber ud i kystfarvandene og nedsætter både temperatur og saltindhold. Vandene cirkulerer i Det arktiske Hav og tvinger sig frem under det varmere overfladevand, igennem de smalle udgange og ud i nordatlanten og Stillehavet. Hvaler og sæler bevæger sig nordpå og udgør en fødekilde for isbjørne.

På land varmer solens stråler vegetationen og den nøgne jord, og temperaturerne stiger. Næsten i løbet af en nat stråler landet af farver - delvist fordi der ikke er nogen nat. Migrerende rensdyr, gæs, ænder og vadefugle vender tilbage for at leve af de nyspirede planter og klækkede insekter. Laks trækker i floderne og bjørnene mæsker i sig. Under jordoverfladen stiger temperaturerne langsomt, og jorden forvandler sig til et aktivt lag hvor mikro-organismer og insektlarver bliver aktive. Over permafrosten begynder organisk materiale at forrådde.



Dette er det arktiske økosystem! Kryosfæren. Det er relativt selvstændigt (et nordligt Midelhav): atmosfæren, landet, ferskvandet og havet er sammenhængende vertikalt og til siderne. Der er cirkulation fra landet til vandet til havet og tilbage igen. Der finder en cirkulation sted af is og hav, kemikalier, dyr og planter, og mennesker i og rundt om Det arktiske Hav. Hvis man skubber til en del af systemet, vil følgerne kunne mærkes andre steder i systemet. Hvis klimaet

ændrer sig - som det altid har gjort - og det bliver varmere, vil øgede mængder af smeltevand cirkulere i Det arktiske Hav. Hvis loddebestanden i havet falder drastisk kan følgerne mærkes på land via fødekæden. Hvis forurenende stoffer slipper ud i atmosfæren eller i havet ét sted, så bliver de højst sandsynligt transporteret til andre egne af regionen.

### **Dette udgør et helt, integreret, dynamisk økosystem i stor skala, drevet af solen.**



Men det er ikke isoleret fra resten af jorden - intet økosystem er fuldstændigt isoleret. Det arktiske økosystem overlapper ind i varmere regioner mod syd og vekselvirker med disse. Arktiske vinde bringer kold luft sydpå om vinteren, mens de sydlige vinde bringer varmere luft - og forurenende stoffer - nordpå (\*\*). Pattedyr, fugle og fisk migrerer om sommeren for at finde føde og for at yngle i de rige grænseområder ved havisen, langs kysterne, flodmundingerne og vådområderne, for derefter at returnere sydpå om vinteren. Havet afkøles efterhånden som strømme

bringer vandet nordpå, mens koldt frisk vand fra smeltende sne og is tilføres et globalt 'transportbånd' der cirkulerer varme. Et fænomen med en altafgørende betydning for klimaet på land og hav.

## **DET ARKTISKE ØKOSYSTEM UNDER FORANDRING**

Hvis man følger systemet over flere årtier og århundreder, er det muligt at finde perioder med naturligt forekommende varmere eller køligere klima. Kortere perioder med køling resulterer måske af vulkansk aske, der cirkulerer i stratosfæren og dermed reducerer solens stråling i nogle få år. Længere perioder er måske resultatet af ændringer såsom El Niño, den nordatlantiske oscillation, eller perioder såsom det 16. og 17. århundrede lille istid (\*). Systemet reagerer på samme måde som det gør igennem årtiderne.

Is og sne udvider sig og trækker sig tilbage. Gletchere flyder og skærer U-formede dale i bløde bjergarter, danner moræner og ændrer landets udseende (\*). Floder bruser, alt imens de skærer nye kanaler og udvider floddalene, eller deres mængde af vand falder og sediment deponeres allerede højere oppe ad floden, mens floddalene tørrer ud. Landets overflade forstyrres hele tiden af frysning og optøning (kryoturbation); permafrosten og is-kiler bevæger sig langsomt op eller ned i takt med klimaændringer, og udvikler derved langsomt mønstre på flad jord og skrånninger. Efterhånden som gletchere og snedriver trækker sig tilbage vokser mængden af planter, og organisk materiale akkumulerer efterhånden som jorden modnes og der dannes tørv på den våde jordbund. På landet og i havet udvider eller formindskes grænserne for dyre- og planteliv i begge ender af nord og syd. På øer og på bjergtoppe uddør lokale arter, der måske allerede lever på kanten af deres eksistensminimum - de har ingen steder at tage hen .

Igennem årtusinder reagerer jordens overflade på klimatiske forandringer, hævnings og sænkninger, og efterhånden som ismasserne ændres; skabes der nye strande og flodsenge og floder skifter retninger. Man kan lægge mærke til sådanne fænomener i løbet af årtusinder, men man kan også måle den nutidige hækning på 2-3 mm per årti i nogle områder - en af mange, men langsomme, processer i det arktiske økosystem.

Klimaforandringer har formet Arktis og har været en del af livet i årtusinder. Det varierer ikke kun over tid, men også i forskellige dele af regionen. Dyr og planter der er bedst tilpassede de fremherskende betingelser i en given periode, er også de som overlever og trives. Men lokale miljøer varierer og er især vigtige på land hvor klimaet er hårdest og foranderligt. Varme sydvendte 'lommer' af land tillader arter, der er mindre tolerante overfor kulde.

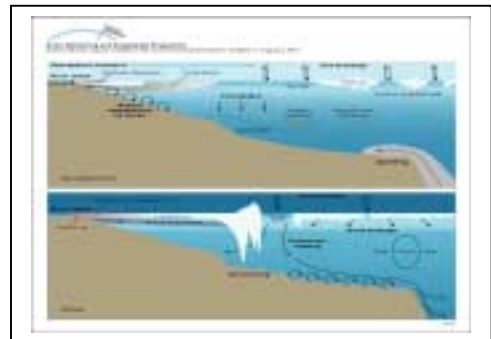
Fugtige og våde sænkninger i et tørt landskab er fristeder for arter i perioder med lav nedbør. Forstyrrelser der forårsages af frysning og optøning tillader overlevelsen af arter, der er gode kolonister, men dårlige konkurrenter. Derfor har fysisk variation i landskabet og dens klimatiske historie udvalgt dyr og planter, der måske allerede er tilvænnet udfordringerne i fremtidige klimatiske ændringer.

## DE ARKTISKE VARIANTER

Det arktiske økosystem er et puslespil. Billedet er sammensat af mange brikker. De økosystemer vi normalt genkender er alle relaterede dele og processer. Men som vi har set, så er de ikke isolerede fra hinanden. De ændrer sig i takt med forskellige miljømæssige varianter. Det er sådanne fysiske varianter der bestemmer strukturerne og funktionerne af økosystemerne; deres dynamik og deres respons på det evigt forandrende miljø.

Hvad består disse varianter af? På land, i ferskvande og i havet er en dominerende variant temperaturstigningen fra nord til syd, men andre store varianter har ligeledes indflydelse på strukturerne og funktionerne af økosystemerne.

- På land (fra kysten til indlandet) giver ocean-kontinentalvarianten for klima en stigende sæsonbetonet rækkevidde af temperaturer og et faldende nedbør. Bjergkæder, især nær kysten, opfanger skyer og forårsager kraftig lokal stigning i regn og sne. Bjergene sørger også for betydelige højdeforskelle i temperaturer .
- Ferskvandssystemer er dominerede af topografi (fald og stigning); mest bestemt af geologi. Bjergenes gletchere og floder bevæger sig mod havet, eller spreder sig over vidtstrakte kontinentalområder med flad tundra.
- Havets systemer varierer fra kysten, igennem tidevandszoner, over den let faldende kontinentale sokkel og ned til den dybe havbund, med dens



sænkede dale, kløfter og bjerge - et spejlbillede af landoverfladen.

Hvordan reagerer disse systemer på de miljømæssige varianter? Hvordan ændrer strukturerne og processerne sig? Hvordan ændrer puslespillets brikker sig? Vi bliver nødt til at undersøge dynamikken nærmere mens vi bevæger os langs de tre subsystemers varianter: landjorden (terrestrisk), ferskvandet (hydrologisk) og havet (marin).

## DET LANDBASEREDE ØKOSYSTEM - ELLER ØKOSYSTEMER

Fra verdensrummet kan man se polarørkenerne i Arktis (jordens koldeste ørkener), hvor et dække af spredte klipper, med lejlighedsvis tegn på stenbræk, små valmuer og dværgpile, mos og lav, danner skorpe på de større sydvendte klipper og sten. Det er ikke alt sammen ufrugtbart. For eksempel findes der en lille bugt i lavlandet, beskyttet af de sydvendte klipper, der er nærmest skåret ud af Devon Islands kalksten i det nordlige Canada. Truelove Lowland har en hel serie af hævede strandrygge, der blev skabt da landet hævede sig over havet på forskellige tidspunkter. Højderyggen holder smeltevand tilbage, der når det varmes op af solens stråler fremfor luftens varme, giver grobund for planter. Ligeledes finder man frodigt mos og lav hvor smeltevand løber ud af snebanker i løbet af den ene måned sommer. Lokal topografi kan tilsidesætte den ødelæggende kulde. Men tilgængeligt vand er en kritisk faktor. De vidtrækkende stenede jorde har endnu ikke akkumuleret organisk materiale nok og drænes og tørlægges nemt i løbet af en sommer.

Længere mod syd eller nær kysten varierer plantedækket og kan nå op på at dække halvdelen eller mere af jordoverfladen - semiørkenen. Det meste af den frodige vegetation vokser i beskyttede og fugtige områder med græs, siv, buske og dværgpile, birke- og lærketræer. Her overlever spirende frø bedre end på det åbne land der drænes og udtørres om sommeren.

Forskellen mellem ørken og semiørken er uklar. Det drejer sig mere om nuancer af et system, der blandes op med et andet system i en gradvis overgang af kiler og lommer. Tre egenskaber (to åbenlyse og én skjult) spiller nøglerollerne i disse landskabers dynamik.

- **Sne.** Dybde, kvalitet og timing er afgørende. Frisk sne er en fremragende isolering, men sammenpresning og isskorper, dannet af optøning og frost, forøger konduktion af varme flere hundrede gange. Med dets isolerende egenskaber danner tidlig og dyb sne en stødpude, således at jorden og dens øvre lag (det aktive lag) forbliver ufrosne et godt stykke ind i vinteren. Herved fungerer det som et værn mod dens ekstreme kulde. Lemminger og studsmus finder ly og fødesteder under sneen, og rypere graver sig ned for at undgå ræve. Alt imens har rensdyr og moskusokser svært ved at afdække planter til at spise. Sen sne forhindrer fuglenes redebygning og klækningen af insekter. Lav sne udsætter planter for lave temperaturer og græsning, mens isskorper kan modstå rensdyrenes klove. Tidlig tøtid (før jordoverfladen smelter) oversvømmer mindre pattedyrs reder, drukner de unge dyr og udsætter dem for rovdrift. Vand er afgørende i dets frosne såvel som flydende form.

- **Kryoturbation.** Forandringer der forårsages af periodisk frost og optøning flytter gradvist jord partikler, sten og klippestykker, og sorterer dem i forskellige mønstre: cirkler, bunker, medaljoner og på skråninger som striber. Denne mønstrede jord forstyrrer planter, men skaber også finere og fugtigere jord til rekolonisation, selvom det er kortvarigt. Sprækker åbner pga. fryse-optønings cyklussen, og skaber derved yderligere grobund for kolonisation. Vandets magt, idet det skifter mellem fast og flydende form, ælter landets overflade.
- **Permafrost.** Jordoverflader tør måske op i 20 cm dybde, hvis det drejer sig om fint granulerede fugtige eller våde jorde. Men lavere lag forbliver frosne, selvom det kun er et par grader under 0° C grader. Overfladetemperaturer stiger og falder måske med 50° C grader i løbet af 24 timer om sommeren ved hjælp af solens stråling, men den langsomme diffusion af varme og køling fra det underliggende frosne lag dæmper disse daglige og sæsonale udsving. Permafrosten forbliver ved minus 1-3° C. Dette uigennemtrængelige lag forhindrer også dræning, og holder således vandet i det aktive lag hvor det flyder. Permafrosten er det skjulte element i landskabet.

Ørkenerne og semiørkenerne i Arktis er sparsomt dækkede og vidtstrakte, især i Rusland og Canada. Mønstrene er små i forhold til det vidtstrakte land: mesoskala af små landskaber der dækker et par hundrede m<sup>2</sup> eller km<sup>2</sup> - mikroskala på cm<sup>2</sup> og m<sup>2</sup>. Ved hver skala opdager vi en grundlæggende struktur, ofte defineret ud fra plantedække eller fysisk form. Ved hver skala er der processer af primær produktion, dekomponering og cirkulation, der definerer et økosystem, inklusiv input og output. Økosystemet er aldrig isoleret. I disse ørkener og semiørkener udgøres forbindelserne mellem de små økosystemer ofte af overfladevand og dyr, der bevæger sig over store afstande imens de bruger beskyttede floddales små lommer af rig vegetation.

Der findes ingen klar skillelinie mellem ørkenerne og tundraen, der spreder sig udover det lavere Arktis. De små lommer af tundraens vegetation, med dværgbuske, lyng, totter af kæruld eller våde moser, forefindes længere mod nord, men de forvandles til dominante og udstrakte systemer i Subarktis - alt afhængigt af klima, geologi, jordbund og hældning.

**Busktundra** med dværgbirk, pile- og elletræer, blåbær, sortebær, lyng, rhododendrum, noget siv og stenbræk danner ofte et tag, 50-80 cm ovenover en kontinuerlig matte af mos og lav. I beskyttede områder et 2 m tykt krat. Busktundra forekommer hovedsagligt i de mere tørre jorde og dets distribution reflekterer klimaet. Derfor forekommer det helt op til 74°N i vestgrønland, men kun til 62° på østkysten der mangler den fornødne varme fra Labradorstrømmen. Planterne reagerer på de mindste ændringer af det fysiske miljø, og siv- og dværgbusktundraer forefindes i vidstrakte områder i Rusland, hvor det efterhånden ændrer sig til kæruld- og dværgbusktundra. Her er græsset med kæruld eller siv ofte lokaliserede på vådere, fattigere og delvist sure jorde. Der hvor dræning forekommer mindst pga. permafrost domineres landet af lerjorde, fladt terræn og sumpe (mose og hængedynd). Disse sumpe domineres ofte sivplanter, dog blandet med andre plantearter, og et stærkt dække af mos og spagnum. Mindre knolde og søer dækker meget af overfladen, og som med alle andre typer tundra danner fryse-optøningsprocesser mønstre. Frostbylde, polygoner, medaljoner, sprækker og mange andre mønstre forekommer, og forstyrrer vegetationen. Efterhånden som

vegetationen bliver kraftigere og mere vidtrækkende, begynder den i stigende grad at isolere jordoverfladen, og disse fænomener blive sjældnere. Men isens og permafrostens kræfter kan endnu ændre landskabet til høje volde eller små bakker - pingoerne - der fremtvinges til en 100 m højde eller så.

Efterhånden som klimaet bliver roligere mod syd, forekommer birketræer oftere, derefter fyrretræer, grantræer og lærke-træer der danner skovtundraen. Overfladevegetationen ligner mere den nordlige tundra, men aftager gradvist efterhånden som trædækket udvider sig til den klassiske taiga eller den boreale skov. Her har fyrre- og grantræernes skygger en tendens til at udtørre jorden. Det holder samtidigt jorden kølig, og selvom klimaet måske er varmere så forbliver permafrosten i skovens jord, men den forsvinder fra de åbne arealer. Det er tale om en diskontinuerlig permafrost.

Variationen fra polarørkenen til taigaen, med dens mange mønstre, udgør det nordlige landskab. Meget er skrevet og debatteret er livlige mht. forskellige plantegrupper, de smukke tilpasninger af dyr, planter og deres historier. Men hvad er der med systemet? Hvad er den egentlige dynamik i et sådant landskab? Hvordan fungerer det som et integreret økosystem, eller en hel serie af økosystemer? Disse spørgsmål er begyndt at blive vigtigere og vigtigere eftersom miljøet forandres igennem klimaet, brugen af land, industriel udvikling og forurening. Lad os udforske nogle af de såkaldte økosystemers dynamikker og funktioner: forandring over tid; fødekæder; kulstof og næringsstoffers cirkulation; biodiversitet.

## Forandring over tid

Efterhånden som gletchere og iskapper trak sig tilbage for 10-20.000 år siden, dannede klippestykker og ler den begyndende jord. Forvitringen af hårde granitklipper producerede forholdsvis få grove jordpartikler og få opløselige næringsstoffer. Forvitringen af kalksten foregik derimod langt hurtigere og genererede alkaliske jordbunde, men partiklerne opløstes hurtigt; drænende kanaler åbnede sig og næringsstofferne havde en tendens til at løbe ud af systemet. På andre sedimentære klipper blev flere sand- og lerpartikler samt essentielle næringsstoffer såsom fosfor og kalium tilbageholdt. Geologien satte kursen for økosystemets udvikling. Kvælstof var det manglende element til at sætte gang i plantevæksten. Regnmængden var minimal, men blågrønne alger, med evnen til at binde atmosfærisk kvælstof, voksede hvor der var vand. Nogle alger levede under sten, som effektivt absorberede varme fra solen ved at bruge det reflekterende lys, og lav voksede langsomt på klippeflader. Bestående af en alge og en svamp har de kapaciteten til at producere, nedbryde og genbruge - et selvforsynende internt økosystem.

Det var disse tidlige kolonisatorer, med kapaciteten til at indfange kvælstof og næringsstoffer, der påbegyndte gendannelsesprocesser i områder, hvor der ikke havde været organisk materiale fra tidligere systemer. Akkumulation af næringsstoffer er essentielt. Bakterier der kan trække elementer ud af klipper, chemolithotrophs, hjælper til i denne proces. Efterhånden som små mængder organisk materiale, begynder andre planter at kolonisere ved hjælp af frø. De små mængder organisk materiale er helt centrale for spiringen. I andre områder var der endnu

organisk materiale fra før isen lagde sig, eller som var blevet redistribueret på flodbanker. Her foregik koloniseringen hurtigere, men var ofte stadig iværksat af bakterier der fikserede kvælstof.

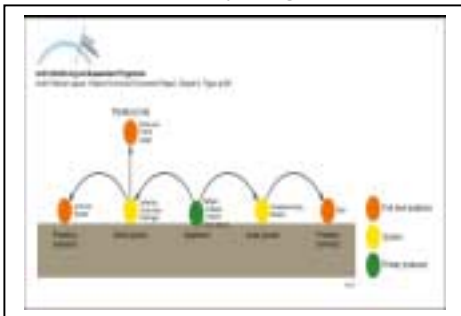
Tidligt koloniserende planter har en tendens til strategier der går ud på hurtig vækst og reproduktion, for på denne måde at tage fordel af de koloniserede områder. Andre arter kommer gradvist til området, og har fordel af et eksisterende planteliv og dets akkumulerede organiske materiale. Efterhånden som plantedækket vokser, vokser mængden af mos og jorden isoleres fra de lave temperaturer. Ironisk nok, kan dette få permafrosten til at tø endnu mindre, hvorved det aktive lag bliver tyndere, og rødderne får vanskeligere betingelser pga. vandmætning og reduceret genbrug af næringsstoffer. Planter, der holder på deres ressourcer og genbruger dem internt for at få en kick-start i sommerens begyndelse, begynder nu at have en fordel. De hører ofte til blandt de bedre konkurrenter fordi de beholder hvad de har. De gradvise forandringer i planter og jordbund følges af faunaen. Brændpunkterne for de tidlige koloniserende planter tiltrækker migrerende græsningsdyr. Små insekter blæses til af vinden og de heldige lander i de små lommer af vegetation. I det senere forløb er der mange længerelevende planter; træagtige der kan producere skjold mod dyr. Faunaen bliver efterhånden mere specialiseret, og græsningen begrænses til tider når mere velsmagende mad ikke er tilgængeligt.

Tidsskalaen for disse dynamikker (den primære forplantning) måles i århundreder og varierer meget fra sted til sted - På samme måde som grundlaget der oprindeligt satte forplantningen i gang. Forstyrrelser forårsaget af fryse-optønings cyklusser, erosion, dræning af søer, ild og menneskelig aktivitet, såsom nedtrampning og industriel udvikling, kan alle genstarte forplantningsprocesserne. Tilstødende land med dets vegetation og fauna tilbyder kilder til fornyet kolonisering. Tidsskalaen for en sådan sekundær forplantning måles ofte i årtier.

Helt fundamentalt, så har hele regionen været udsat for variationer i klima over tusinder af år, nogle gange varmere, andre gange koldere. Dyr og planter har valgt at overleve disse skiftende, men kontinuerligt hårde betingelser. De har tilpasset sig. Sofistiskerede tilpasninger, såsom brug af antifrysningkemikalier, vil sætte dem istand til at svare igen og overleve forventede klimaforandringer der forårsages af menneskeskabt kulstof i atmosfæren. Distributionen af arter vil ændre sig; nogle vil flytte til nye områder, andre vil trække sig tilbage og mønstre vil skifte præcist som de altid har gjort. Eksistensen af forskellige rensdyrarter omkring Grønland i løbet af de sidste 10.000 år bekræfter denne langtidodynamik (\*\*). I dette tilfælde illustreret af ændringerne i landskabet, is og gletchere; kombineret med klima, overgræsning og rovdrift and mennesker og ulve.

## En kæde af liv - og død

På afstand er det tydeligt at se hvem der spiser hvem, hvis man tager et udsnit i tid:



**Lav - rensdyr - ulv**  
**Græs - lemming - sneugle**  
**Birk - møl - sangfugl (lærke) - falk**  
**Frø - værling - dværgfalk**

Sandheden er en kompleks kæde, hvori distinktionen mellem planteædere og rovdyr er en gråzone. De fleste dyr indtager en forskellighed af mad, alt afhængigt af hvad der er tilgængeligt. De store rovdyr i toppen indtager en varieret kost, og mange falder tilbage på insekter og planter når deres hovedfødekilder er begrænsede. Store dyr kan generelt ikke spises af de mindre, men det er ikke helt sandt når man ser ræve der spiser rensdyr, døde af sult, eller forsvarsløse nyfødte kalve.

Lemminger og andre små pattedyr udgør en nøgleføde for mange rovdyr. De store udsving i lemmingebestande synes umiddelbart at være et problem for de rovdyr der er afhængige af dem, for at kunne fodre deres yngel. Rovdyr tilpasser sig omstændighederne ved at justere antallet af unger til lemmingernes cyklus. Når lemmingetallene er høje, er sneuglers, kjovers, hermeliners og andre rovdyrs kuld ligeså. Mange migrerer ligefrem til områder med ekstra mange lemninger. Selv rensdyr spiser lemninger på dette tidspunkt. Rovdrift, sygdom og overgræsning er skyld i at lemmingebefolkningerne falder igen. I de følgende år føder rovdyrene derfor færre unger, slet ingen unger, eller migrerer. Derefter kommer lemmingebestandene sig igen.

Dette er den klassiske lemmingecyklus kombineret med rovdyr-bytte dynamik. Byttebestanden vokser efterfulgt af voksende rovdrift, hvilket får byttebestanden til at dale igen, hvorefter antallet af rovdyr ligeledes daler. Sandheden er sjældent så simpel, men det illustrerer noget af fødekædens dynamik, samt lemmingernes nøgleposition i det arktiske system. En anden skjult dynamik finder vi i et andet sted i systemet - forrådnelsescyklussen.

Lemminger lever af bladrødderne på græs og siv. I en tid med mange lemninger ligner en tundraeng en klippet mark - men før den er høstet. De friske blade og lemmingernes ekskrementer konsumeres af bakterier, svampe, hvirvelløse dyr og insektlarver, som igen ædes af andre hvirvelløse dyr. Komposterings- eller forrådnelsescyklussen fører til et boom af voksne insekter der jages af biller og edderkopper. Det tidlige boom af stankelben, dansemyg



og myg er grundføde for en anden gruppe større rovdyr - insektædende dyr: piber, lærker, værlinger, og i vådere områder: vadefuglen. Alle disse tilgår fødekæden over jorden som bytte for falke, kjoever og ugler. På denne måde forbinder forskellige dele af økosystemet sig med hinanden.

## Den materielle strøm: cyklusser for kulstof og næringsstoffer

Fødekæden indikerer måder hvorpå indhold overføres i økosystemet. Det ser effektivt ud, men det er faktisk ganske ineffektivt fra et produktionsmæssigt synspunkt. Overførslen fra plante til planteædere til rovdyr og videre til rovdyr er skyld i et produktionstab på mere end 95% - ved hvert eneste trin! F.eks. spiser planteædere sjældent mere end 10-20% af den årlige plantemasse over jorden. Heraf fordøjes omkring halvdelen. Størstedelen af det fordøjede materiale bliver brugt til at bibeholde aktivitet, specielt hos varmblodede dyr, og kun en lille del bliver konverteret til ny produktion. Rovdyrenes trin er muligvis en anelse mere effektive, da føden er lettere at fordøje. Hvirvelløse dyr konverterer en højere andel af fordøjet føde til nyt væv, da de ikke behøver at bibeholde kropstemperaturen.

Selvom der er nogen variation, så er det overordnede mønster det samme - hvert fødeled understøtter kun en lille biomasse ved det næste led i fødekæden. Derfor har planteæderne store områder til at finde føde og de kødædende endnu større. De bruger også en lang række fødekilder - dvs. de er generalister fremfor specialister. De er også tilpasset til at spare så meget energi som muligt, f.eks. ved hjælp af vinterhi og isolering, pga. den lave planteproduktion i Arktis. Det er muligt at arktiske økosystemer er ligeså effektive som sydlige økosystemer, pga. de forskellige tilpasninger til de specielle klimatiske forhold og sparsomme fødekilder.

Meget af den primære plante produktion synes at gå til spilde. Nej! Henimod slutningen af den sæsonale vækstperiode overfører planterne en betydelig del af deres produktion under jordoverfladen til opbevaringsorganer. Det er en del af en konserveringsstrategi der sætter dem i stand til at vokse hurtigt når foråret sætter ind. Den egentlige masse af planter, såsom rødder, jordstængler osv. er meget større under jorden end over jorden - en generel egenskab for Arktis. Denne plantemasse under jorden bruges af nogle store planteædere, der graver den op, og af dyr såsom rundorme, bladlus og andre insekter. På denne måde fortsætter fødekæden i jorden. Dernede understøtter den en langt større varietet af mikroorganismer og hvirvelløse dyr, og holder gang i en meget større produktion end over jorden.

Døde planter er en nøgle til udvikling af økosystemer. De indeholder mængder af næringsstoffer, især kvælstof, som planterne i sin tid har optaget. Efterhånden som de forrådnar, komposteres af bakterier og svampe og føres igennem jordens fødekæde, flyttes næringsstofferne i planterne fra organisme til organisme, alt imens de frigives og genoptages af planterødderne. På samme tid genbruges kulstof af organismene mens det gradvist returnerer til atmosfæren. Komposteringen foregår meget langsomt i Arktis, delvist forårsaget af de lave temperaturer og permafrostens kølende effekt. Både manglen på vand i veldrænede jordbunde, samt overskudsvand i jordbunde med manglende dræn, reducerer forrådnelsen. Størstedelen af planternes affald mister kun 5-10% af deres vægt i det første år. Forholdet falder yderligere efterhånden som det mere resistente materiale efterlades og flyttes til de koldere jordlag.

Generationers bidrag af organisk materiale akkumulerer gradvist og danner derved mere modne jorde. I moser danner den manglende ilt, sammen med lave temperaturer og overfladevand, store mængder af tørv.

Cirkulationen af kulstof og næringsstoffer i økosystemet følger mange stier og processer (\*\*). Det er absolut ikke et lukket system. Både kulstof og næringsstoffer gør deres entré fra atmosfæren og cirkulerer i systemet. Noget af kulstoffet og næringsstofferne lækkes fra systemet ud i floder og vandløb, men tilsidst vender størstedelen af kulstoffet tilbage til atmosfæren. Det er en følsom balance mellem tilgang kulstof og returnering der danner fokus for spørgsmålet om de nordlige regioners rolle i den globale klimaforandring.

Selvom planteproduktionen i nord er lav, så er kompostering enddog meget lav. Resultatet er at nordlige jorde gennem gradvis akkumulering indeholder ca. 25% af verdens samlede kulstof i jorden - navnlig i sumpe og moser. Da de nordlige jorde er forholdsvis unge - blot 10.000 år eller lignende - så har de gradvist akkumuleret kulstof i planternes dække og jordens organiske materiale. På trods af at meget kulstof returnerer til atmosfæren via planter, dyr og mikroorganismers ånde, så har økosystemerne fungeret som kulstofbeholdere. På denne måde har de hjulpet til at modvirke stigningen i kulstofmængder i atmosfæren - de samme der er med til at forårsage klimaforandringer. Ironisk nok, så vil den nutidige og fremtidige klimaophedning forhøje mængden af kompostering og forrådnelse, hvorved der vil blive frigjort endnu mere af det kulstof der normalt er bundet i jorden. Sandsynligvis vil balancen gennem optag/ fotosyntese og frigørelse ved hjælp af forrådnelse ændre sig. I fremtiden vil tundraens økosystemer blive til nettokilder fremfor nettoopbevarer af kulstof. Der findes allerede bevis på at denne forandring foregår i Alaska.

### Fremtiden for de landbaserede (terrestriske) økosystemer?

Det er svært at forudsige forandringer i de næste 50-100. Det er ikke kun forandringerne i balancen mellem produktion og forrådnelse i systemet der skal tages i betragtning, men det er også hastigheden hvormed vegetationen spreder sig i takt med de gradvise forandringer af klimaet. Det er her at computermodeller viser sig praktiske. Den seneste model opsummerer de klimatiske faktorer der driver forandringerne, og responsen fra plantevækst og organiske jordbundsmateriale. Det forventes at den årlige gennemsnitstemperatur vil stige med 4°C i dette århundrede; mere i det arktiske og mindre i det subarktiske samt den boreale skov (\*\*). Sne og regn vil ændres i langt mindre grad, sandsynligvis kun med et par cm for hvert årti. På baggrund af disse forudsigelser, er modellen kørt igennem fra 1850 til 2100, i regionen der indbefatter det cirkumpolare nord fra 50° og nordpå. Den forudsiger at:

- Fyrretræsskoven vil udvide sig på bekostning af tundraen
- Den nuværende tundra vil være halveret i størrelse inden 2100
- Den tiltagende vækst af skov vil overgå forrådnelsen, således at regionen vil fortsætte med at være en kulstoflomme i dette århundrede.

Da sådanne modeller altid er tentative, er det nødvendigt at tage en lang række faktorer i betragtning. Forandringer vil ikke nødvendigvis være flydende og regelmæssige. Der vil være perioder og områder hvor udviklingen kortvarigt (årtier) vendes om pga. lokale omstændigheder og variationer i klimaet. Kortvarige forandringer vil være besværlige at spore, især fordi den biologiske udvikling halter efter den klimatiske, men systemet vil forandre sig - det er ganske sikkert.

### Landbaserede (terrestriske) økosystemer: det overordnede budskab

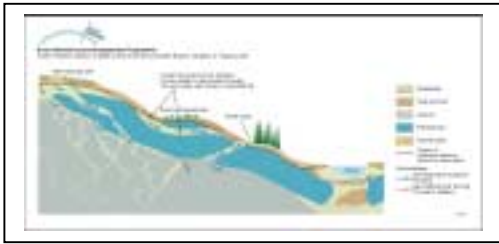
- Landbaserede økosystemer har ændret sig i fortiden, ændrer sig i nutiden, og vil ændre sig i fremtiden
- Systemerne reagerer på klimatiske variationer i tid og rum, fra småskala tundrapolygoner til cirkumpolare bevægelser af vegetation og dyr.
- Planter, dyr og mikroorganismer er nøje forbundne på lokalt niveau, både over og under jorden, samt tværs henover landskabet.
- Varme (energi), vand, kulstof og næringsstoffer overføres til, i og ud af systemerne ved hjælp af biologiske og fysiske processer.
- Forandringer i atmosfæren påvirker landet, men forandringerne på landet har en effekt af feedback i atmosfæren.

Det kan være at vi genkender visse typer vegetation (forskere bruger meget tid på at diskutere klassifikation), og tror at de udgør det landbaserede økosystem. De har bestemt også visse karakteristika med mange interne links. På den måde er de økosystemer, men det er ligeledes en kendsgerning, at de er dynamiske. De forandrer sig og er nøje forbundne med det større fysiske miljø. Forståelsen af disse større forbindelser er altafgørende når man overvejer beskyttelse af bestemte arter og miljøer, samt brugen og administration af ressourcer. Forandringer på et sted påvirker andre steder. Alt dette gør sig gældende for det nordlige der påvirker det sydlige, og omvendt. Et system!

## SNE, IS OG VAND

De tre forskellige faser af H<sub>2</sub>O er de væsentligste drivkrafter bag udformningen af landet, biologien og menneskernes livsvilkår. Igennem årtusinder har den akkumulerede sne dannet de store iskapper og gletchere i Arktis. De årlige snelag danner nu 'det frosne arkiv' som forskere undersøger for at kortlægge klimahistorie - især fra den grønlandske indlandsis. Indlandsisen er op til 3.000 m dyb og er den største ferskvandsbeholdning i verden.

Ismasserne flyder over og danner gletcherne. Disse skubbes væk af presset ovenfra, og bevæger sig op til 30 m om året, alt imens der slides på klipper og resterne af disse transporteres væk. Resterne aflejres som moræner, eller transporteres væk af smeltevandet. Smeltevandet danner floder og vandløb: dybe og hurtige hvor der er stejlt, og breddere og langsommere på fladere land, hvor vandet spreder sig i et floddelta. Vandet fra gletchere og smeltende sne bidrager til de mange tusinde damme, søer og vådområder der kendetegner store dele af Arktis



Men det er permafrost - en anden vandkilde - der forhindrer vandet i at dræne ned i de dybere jordbundslag. Selvom det sner meget lidt (mindre end 300 mm i kontinentale områder), så dominerer vand landskabet. Undtagelserne finder man hvor en stenet jord dræner vandet, hvorved plantevækst forhindres og polarørkenen opstår. En grund til at

snefaldet er så lavt, skyldes at den kolde luft transporterer langt mindre vand end varm luft. Nær kysterne kommer den varme luft ind fra havet og afkøles når den rammer land, hvor den tvinges til at stige af bjergene og producerer nedbør. Derfor har kystområder måske op til 3.000 mm årlig nedbør (sne og regn) på trods af at de er varmere.

Som en konsekvens af forholdet mellem temperatur og lufts vandholdende kapacitet, vil klimatisk opvarmning betyde større snefald og regn, især langs kysterne.

## Den gyldne fisk i Arktis

Størsteparten af de arktiske vande er oligotrofiske (dvs. har lidt næring), fordi is, sne og klippegrund giver meget lidt næring. På trods af den manglende næring vokser der alger et godt stykke under isen i frosne søer, og danner således basis for den arktiske fødekæde. Algerne fortæres af en række forskellige krebsdyr (vandlopper og små rejer) og insektlarver, der fortæres af fjeldørreden som den eneste fisk der lever naturligt i arktiske søer. Den er ekstremt succesfuld, lever op til 25 år og mere, vokser til en vægt af 15-16 kg og findes i hele den cirkumpolare region. Denne ene art illustrerer mange hovedelementer af ferskvandsbiologi og humanøkologi i det høje nord.

Fjeldørreden er genetisk tilpasset til at kunne overleve i lave temperaturer, og dens leveområder strækker sig helt ind i arktiske øer såsom Svalbard. Den lever størstedelen af året i floder og søer, men migrerer til kystfarvandene i 1-2 måneder om sommeren, hvor den lever godt på den rige fødemængde før den returnerer for at yngle. Det varierer en del hvornår den bliver kønsmoden, og gydning finder måske sted årligt, hvert andet år og nogle gange sjældnere - alt afhængigt af de miljømæssige betingelser. Nogle bestande lever året rundt i søer omgivet af land og udvikler specifikke karakteristika i forhold til andre bestande. Ofte optræder der to forskellige grupper i een bestand: en mindre størrelse som lever på bunden af faunaen, såsom plankton, og en større fisk der lever af de andre - kannibalisme. De ligner to forskellige arter, så ved den nordlige grænse for dens udbredelse, hvor det er den eneste fiskeart, udviser fjeldørreden en meget fleksibel livsstil.

Længere mod syd blander fjeldørreden sig med andre fiskearter der ikke kan modstå meget lave temperaturer, men til gengæld er konkurrenter i varmere vande. Der hvor den lever i sameksistens med ørreden i Sverige, lever den primært af plankton i overfladevandet, mens ørreden udnytter bundfaunaen. Men om vinteren fortsætter fjeldørreden med at spise og bevæger sig mod bunden, mens ørreden har en tilbøjelighed til at stoppe med at spise, fordi

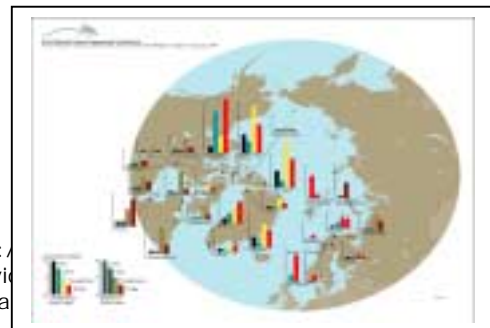
den er dårligere tilpasset de kolde temperaturer. Et lignende eksempel på sameksistens eksisterer mellem fjeldørreden og kildeørreden i det østlige Canada. Efterhånden som antallet af sameksisterende fisk stiger, begynder ørredens føde at blive mere og mere begrænset.

Den økologiske 'niche' som fjeldørreden lever i, dens variation i størrelse og andre biologiske egenskaber er meget bred ved den nordlige grænse for dens udbredelse. Dens niche og livshistorie begrænses af konkurrence fra mindre kulde-tolerante arter når biodiversiteten stiger langs den sydlige grænse for dens udbredelse (igen drejer det sig om miljømæssige varianter).

Fjeldørredens økologiske egenskaber illustrerer den fleksibilitet, der sandsynligvis er udbredt, men ikke så tydelig, iblandt nordlige dyr og planter. Ydermere, så kan fjeldørreden yngle med tæt beslægtede arter såsom kildeørreden. Yngel mellem arter er en egenskab der kendetegner mange nordlige fiskearter, hvilket indikerer at evolutionen stadig er i fuld gang i den forholdsvis unge region.

**Humanøkologi** har også haft en betydelig indflydelse på fjeldørredens økologi. Nedenstående oversigt over lokale og generelle indflydelser illustrerer menneskets generelle rolle i det høje nord:

- I århundreder udvalgte inuit i Grønland og Canada steder hvorfra de permanent kunne fange fiskearter der migrerede fra havet op i floderne. Samere fyldte traditionelt alpine ferskvande op med ørred til brug som spisekamre langs rensdyrenes migrationsruter.
- Selektiv langtidsfiskeri med nedgarn fjerner større fisk og påvirker bestandenes strukturer og livstræk. Brug af gift og dynamit har fjernet bestande på Svalbard. Gentaget overfiskeri af migrerende fisk med fiskefælder af sten ('saputit') har ført til udryddelsen af lokale fiskebestande i Grønland.
- Udbredt byggeri af **hydroelektriske dæmninger** har ændret vandstande, reduceret gydning langs kystlinier, udvidet åbne vandarealer og begrænset fødemulighederne.
- **Overfiskeri** af vigtige byttedyrsarter (lodde og polartorsk) har reduceret fødemængderne for migrerende ørreder til havs.
- Introduktionen af andre fiskearter og ferskvandsrejer for at forbedre fiskeri har reduceret ørredbestanden pga. konkurrence, forårsaget genetiske ændringer ved yngel mellem arter og har påvirket fødekæder. Andre uforventede resultater er reduktion eller tab af havlit og rovdyr der jæger fisk (lommer, store skalleslugere og fiskeørne).
- **Syredannelse** pga. atmosfæriske forureningsstoffer fra sydlige regioner samler sig i vinterens sne og frigøres under forårets optøning. Dette har elimineret fiskene i mange skandinaviske søer, men til gengæld fremmet mængden af plankton og insektpisende fugle samtidigt med at det har reduceret de fiskespisende fuglebestande.
- **Persistent organic pollutants (POPs)** eller vedvarende organiske forureningsstoffer, inkl. pesticider, bliver transporteret op gennem fødekæden. Fjeldørred befinder sig på et mellemstadium i fødekæden, og mange bestande har



- niveauer der ligger over de nationale grænseværdier
- **Klimaopvarmning** vil tillade konkurrerende dyre- og plantearter at overleve bedre, og grænserne for deres udbredelse vil ændre sig. Fjeldørredernes fordele ved vinterføde vil blive reducerede da opvarmningen forventes at virke størst om vinteren. Ørredbestandens leveområder vil udvide sig mod nord, men dens sydlige grænser vil samtidigt rykke længere mod nord.

## UD I HAVENE OG OCEANERNE

Den tidlige flod af smeltevand fra land genererer en overflod af koldt vand fra landområderne omkring Det arktiske Hav. Der flyder årligt ca. 4.000 kubik km vand ud af floderne. Det dækker kun omkring 2% i forhold til det vand som flyder til Atlanterhavet, og endnu mindre i forhold til Beringstrædet, men det er en høj andel sammenlignet med andre oceaner. Smeltevandet bærer næringsstoffer og sediment med sig som gletcherne har er kværnet ud af klipperne. De grovere sedimenter deponeres efterhånden som vandgennemstrømningen aftager, især på fladt terræn, men enorme mængder af fint dynd transporteres ud i flodmundinger og have.

Yenisey floden flytter omkring 6 millioner tons sediment ud i det lavvandede Kara Hav hvert år ved hjælp af 60 kubik km vand. Mackenzie floden flytter 7 gange mere sediment ud i Beaufort Havet selvom vandmængden kun svarer til halvdelen af Yenisey. Grunden er at Yenisey strækker sig ud over flad frossen tundra, mens Mackenzie er kortere, stejlere, med mindre permafrost i regionen og med meget mere blotlagt jordbund og klippe.

Flodmundingerne og deltaerne fungerer som sedimentfælder efterfulgt af den omfangsrige kontinentalsokkel som strækker sig op til 900 km ud for Sibirien. Kun omkring 10-20% af partiklerne fra Ob og Yenisey floderne transporteres længere ud end deltaernes grænser og Kara havbundssokkelen. Mackenziedeltaet vokser med adskillige cm sediment om året. Noget af sedimentet flyder ud over havisen om foråret. Senere lægger det sig som en fane ud i havet og fortsætter udbredelsesprocessen. Havbundens udformning, afstanden til kysten og isdækket bestemmer de fysiske karakteristika og processer på kontinentalsokkelen. Vandet fra floder og havis køler havvandet over sokkelen, men sommerens sol varmer de lavvandede vande op til 4-5°C om sommeren.

Overfladevandet og havisen cirkulerer i Beaufort Havet og bevæger sig generelt mod vest fra det østlige arktis imod vest hvor de løber ud i nordatlanten. Det tager kun 5-6 år for havisen at bevæge sig fra Bering Havet ud for Alaska til nordatlanten selvom det generelle mønster skjuler mange af de mere lokale bevægelser.

Når det kolde overfladevand (tæt ved 0°C) med lavt saltindhold løber ud i nordatlanten møder det og overlapper det atlantehavets varme vand (3,5-6°C). Det varme vand medbringer varme fra verdens sydlige oceaner og er ansvarlig for Golfstrømmen. Det er grunden til at Svalbard, Island og Vesteuropa har varmere klimaer end tilsvarende breddegrader i Nordamerika og Rusland. Efterhånden som det varme og saltholdige vand når Arktis og møder det kolde vand,

der løber ud i nordatlanten, trænger det sig sammen, afkøles og synker mod dybderne. Det er en langsom proces, men hvert år synker der adskillige millioner kubik km af vand, der bevæger sig mod syd på bunden af Atlanterhavet. Dette er transportbåndet der flytter varme rundt om jorden.

### Havenes og oceanernes biologiske rigdomme.

Kombinationen og variationen af fysiske faktorer (is, klipper, sand, mudder, temperatur, saltindhold, vand, vandbevægelse, næringsstoffer, lys) bestemmer systemets biologi.

**Kysterne.** Flodmundinger og deltaer med saltede marsk- og vådområder, sandede og stenede kyster, bugte, vige, fjorde og klipper. Disse repræsenterer alle transitionsområderne mellem land og hav - et ben i hver lejr. De smalle kystlinier og bredere deltaer giver plads til at leve og yngle. Det er fuglene der giver nogle af de tydeligste tegn på havets produktivitet. De migrerer hvert år nordpå til den korte sommer, flyver tusinder af kilometre fra tempererede og tropiske regioner - endda fra Antarktis som ternen gør det med en årlig rundtur på 32.000 km.

På de mudrede og tilsandede bredder går store antal vadefugle rundt og spiser krebsdyr, bløddyr, orme og små fisk. Vadefugle (almindelig ryle, islandsk ryle, klire og dværgryle) yngler næsten udelukkende i Arktis. Fuglebestandene på enkelte arter kommer i nærheden af 3,5 million fugle, hvoraf nogle også bruger vådområderne i tundraen). Terner yngler i kolonier og dykker efter små fisk i kystvandene. Store kolonier, sommetider flere hundrede tusinde af langnæbbede lomvier, alke, suler, skarve og søkonger laver reder på høje klipper eller små udhulinger i tørv. De fisker efter lodde, tobis, polartorsk og andre fiskearter. De generes af kjover og måger. Deres fuglegødning/ ekskrementer gøder de tydelige pletter af grønt på klippeafsætterne. Klipperne, der fyldes med deres skrig er stille om vinteren.

**Kontinentalsokkelen, havene og oceanerne.** De lave kystvande giver ganske store mængder af forskellige krebsdyr, bløddyr, svampe, orme, anemoner, søstjerner og mindre fisk. De lever af algerne, forvittringsprodukter eller plankton, og er fødekilder for større fisk, fugle og pattedyr såsom hvalros og sæler. De lave vande er også ynglesteder for lodde, polartorsk og andre fisk i marts og april. Hver stime af lodder kan bestå af flere hundrede tons fisk, der drager ud i dybere vande og til iskanten for at indtage plankton. Her bliver de også selv spist af havfugle, større fisk såsom torsk, sæler og hvaler.

Is spiller en stor rolle i marineøkologi. Om vinteren strækker isen sig langt mod syd indtil det når dets maximum i marts. Den trækker sig tilbage om sommeren og efterlader store dele af Det arktiske Hav permanent tildækkede af pakis med højderygge over og under vandet

Men selv i pakisen findes der åbent vand, enddog om vinteren, der forårsages af vind- og vandbevægelser samt opstigende varmt vand. Om sommeren er omkring 10% af pakisen åbent vand.

Næringsstoffer, der transporteres hertil af vandet fra floderne eller af atmosfæren, danner det kemiske grundlag for algevækst. De vokser på overfladen, i og under isen, samt i åbent vand. De er tilpassede til at vokse ved lave temperaturer, men trives også i vande hvor temperaturen

påvirkes af det globale 'transportbånd'. De kan ligeledes vokse i et minimum af lys der skinner igennem isen. Disse alger - de primære producenter - er nøglen til de arktiske havs fødekæde.

**Iskanten** er især i de lavere vande en meget produktiv zone. En kompleks fødekæde har udviklet sig, strækkende fra algespisere, forskellige rovdyr op til isbjørnen og polarræve som bevæger sig langt ud på isen for at finde føde. De flydende alger eller phytoplankton på det åbne vand er fødekilder for små og store krebsdyr, der igen er fødekilder for sild, lodde og forskellige bardehvaler.

## DET ULTIMATIVE ROVDYR?

De fødekæder som er skitserede i denne tekst er grove forenklinger af den rigtige verden. Mange flere arter er involverede. Arter ændrer deres vaner og miljøer udgør forskellige stadier af deres liv - på forskellige tidspunkter og i forskellige områder af Arktis. Et mere sandt billede tegnes af inuit og cree i Hudson Bay fødekæden. Her er marine, ferskvands og terrestriske systemer forbundne fra den primære vegetation i den ydre ring, via planteæderne og rovdyrene i de følgende ringe til inuit og cree i centrum. Forbindelserne er mange og overlapper hinanden, og samtidigt ændrer fødekilderne sig fra sæson til sæson.

Menneskets position som det øverste rovdyr i fødekæden har uheldige konsekvenser, især for indfødte folk. En vigtig fysiologisk tilpasning der kan findes hos mange arktiske dyr er akkumuleringen af fedt som isolering og fødekammer. Denne egenskab, kombineret med opløselighed af vedvarende organiske forureningsstoffer/ Persistent organic pollutants (POPs), betyder at dette forureningsmiddel akkumuleres op igennem fødekæden, på trods af at det ikke er rigt repræsenteret i miljøet. Disse stoffer er på nuværende tidspunkt allerede tilstede i indfødte folk i betydelige mængder.

Indfødte folk har bibeholdt deres brug af naturens ressourcer i årtusinder. I de sidste århundreder har hvalfangere, jægere og fiskere fra lavere breddegrader i stigende grad udnyttet de nordlige ressourcer. Resultatet ses direkte i redueringen af bestande, f.eks. igennem overfiskeri, eller inddirekte når et rovdyr skifter til nye byttedyr fordi dens sædvanlige føde er blevet overfisket. Bestandene varierer stort Torsk, sild og lodde har været primære mål i århundreder, og udnyttelsen af torsk har påvirket mange kulturers skæbner og udnyttelse. Selv den yderst produktive torsk, et hovedbyttedyr for og rovdyr mod andre arter, er blevet reduceret til dens egen skygge af mennesket - **det ultimative rovdyr!**

## LITTERATUR

### **AMAP (1997) Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report. 188pp.**

A beautifully written summary of the Arctic system, its physical pathways, ecology and people (first 70 pages). Followed by understanding of how different pollutants enter the system, are



transferred within it and the impacts on the system and on Humans. The main source for many of the figures. (Also available in Russian?).

**Chernov, Yu.I. (1980) Zhizn' tundry. Izdatel'stvo. Mysl. English translation by D. Love (1985). The living tundra. Cambridge University Press. 213pp.**

A through and balanced insight into the biology of northern lands with detailed ecology of the diversity of species, how they interact and how they are adapted to their environments. Includes excellent descriptions of the physical environment and the soil dynamics. Written by one of the Arctic experts in a highly readable form. (available in paperback)

**Chapin et al (1992) Arctic Ecosystems in a Changing Climate: An Ecophysiological Perspective. Academic Press. 467pp.**

For the technically minded. This is still one of the best series of papers on how Arctic organisms will respond to climate change. Good general introductory chapters on the Arctic System; followed by carbon, water and nutrient dynamics; then interactions; and summary. A connected series of papers which build up to thoughtful synthesis.

**Kurlansky, M (1997) Cod. A Biography of the Fish that Changed the World. Penguin Books. 294pp.**

Not strictly Arctic but a fascinating account of how different nations exploited cod; how it changed their economies, caused wars, adapted cultures. An unlimited supply which underpinned the seas ecology as well as the nations - and eventually crashed. The chapters move from place to place and time to time building a fascinating mosaic. A superb lesson in (Un) Sustainable Use.