

Øget viden om fortidens havis fra nye proxier

Helle Astrid Kjær og Nanna Andreassen, Afdelingen for Is-, Klima- og Geofysik, Niels Bohr Institutet

Klimaet ændrer sig i disse år, og i Arktis sker opvarmningen fire gange hurtigere end globalt. I sidste mellemistid var klimaet varmere end idag, og under istidens havde klimaet i Arktis flere abrupte opvarmninger, som kan bruges som analog for nutidens forandringer. Flere nye havis-proxier viser, at temperaturen i Arktis og særligt ændringer i fortiden var stærkt forbundne med ændringer i havisens udbredelse. Øget viden om havisen og den feedback, havisen laver i klimasystemet, er altså essentiel for at forstå også vores fremtidige klima.

Arktisk opvarmning sker abrupt

Det globale klima opvarmes i disse år, hvilket har store konsekvenser for klodens samfund og natur. Klimamodellerne viser, at de arktiske egne kommer til at opleve en endnu større opvarmning på grund af de mange feedbackmekanismer, der relaterer sig til kryosfæren (fx tab af havis). Den globale middeltemperatur steg i perioden 1979–2021 med næsten 0,19 grader per ti år, mens temperaturen i Arktis er steget næsten fire gange hurtigere per ti år [1]. Særligt er temperaturen i området rundt om Svalbard og i Barentshavet steget med mere end 1 grad per dekade i perioden 1979–2018 [2].

De nuværende observationer viser en stigning i temperaturen i Arktis, der er mere abrupt og dækker et større område, end hvad de fleste CMIP-klimamodeller (se boks) forudsiger selv for Arktis i perioden frem mod 2100. For RCP2.6, som repræsenterer 2-gradersmålet, har mindre end 40% af CMIP5-modellerne en opvarmning, der tilsvarende den allerede observerede [2]. Den opvarmning, vi forventer fra modellerne frem mod 2100, er altså allerede sket og dækker et bredere område end det, flere af modellerne forudsiger. Yderligere kan nogle af modellerne ikke reproducere de seneste årtiers hurtige temperaturstigninger i Arktis, formentlig fordi havisen og dens associerede feedbackmekanismer ikke er repræsenteret stærkt nok i modellerne [2,3].

Grundet den nutidige opvarmning er havisens udbredelse og tykkelse faldende.

CMIP

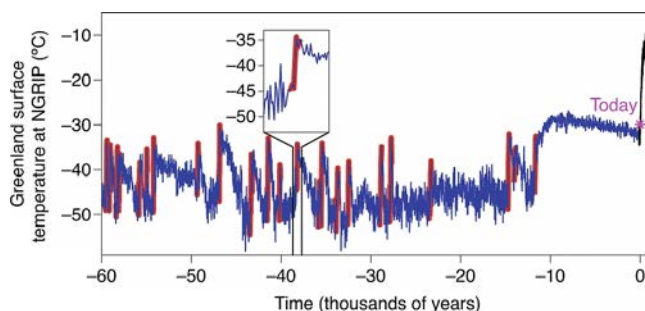
CMIP (Coupled Model Intercomparison Project)-modeller er de klimamodeller, der er blevet brugt i de seneste IPCC-rapporter.

CMIP-modellerne blev brugt til at forudsige fremtidens klima under forskellige scenarier for udledning af drivhusgasser, disse scenarier bliver kaldt RCP (Representative Concentration Pathways)-scenarier.

De forskellige scenarier (RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5) repræsenterer de ekstra W/m^2 , der tilføres Jorden i hvert scenarie. CMIP 6 bruger andre scenarier kaldet fx SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 (Shared Socioeconomic Pathways).

Palæoklima kan hjælpe os til at forstå tidligere abrupte hændelser

De abrupte ændringer i nutidens Arktis kan sættes i perspektiv ved hjælp af palæoklimatiske proxier (figur 1). Vandisotoper fra iskerner er en proxy for temperatur [4]. Man kan måle vandisotop-indholdet enten ved massespektrometri eller ved kontinuert “cavity ring down spectroscopy” [5]. Med sådanne vandisotoper fra grønlandske iskerner kan man se klimaets variationer de seneste 130.000 år.



Figur 1. Temperaturen de sidste 60.000 år kan estimeres ved brug af vandisotoper. Her er vandisotoperne målt i den grønlandske iskerne NGRIP (blå) og sat sammen med CMIP-modellen EC-Earths-prognose for fremtidsscenarioet RCP8.5 (sort), altså det varmeste fremtidsscenario. Den lille stjerne indikerer nutidens temperatur. Herudover vises med rød, hvornår abrupt opvarmning større end 1 grad per tiår i mindst 40 år i træk er sket. Figur fra [2].

Ved at kigge på iskerner fandt den danske forsker Willi Dansgaard, at den seneste glacielle periode havde 25 sådanne abrupte opvarmninger kaldet Dansgaard-Oeschger (DO)-events, bestående hver af en abrupt opvarmning til en varmere periode (kaldet en interstadial), og så en retur til det kolde istidsklima kaldet stadial. Senere har flere dybe iskerner valideret DO events.

Fra sådanne grønlandske vandisotopmålinger kan vi se, at den hastighed af opvarmning, der sker i dag, ellers kun sker i forbindelse med DO-events i den glacielle periode. Der har altså ikke været tilsvarende abrupt opvarmning, som den vi ser i dag, i den varme Holocæne periode (de seneste 11.700 år).

Derudover kan vi ved at bruge vandisotoperne observere, at der i den sidste mellemistid, Eemtiden for 130-115 tusind år siden, var op til 8 ± 4 grader varmere end i dag i Nordvestgrønland (ikke vist) [6], mens Eemtiden i global middeltemperatur er estimeret til at have været blot 1-2 grader varmere.

Skal vi forstå den abrupte opvarmning i de polare egne i dag, og ikke mindst potentielle afledte konsekvenser, kan vi benytte palæoklimaet som en analog og dermed opnå viden om de forskellige dele af klimasystemet, og ikke mindst deres tidlige relation.

Havisens rolle

Havisen er en af hovedspillerne, når vi skal forstå den forstærkede opvarmning i Arktis. Havis er den is, der dannes på havet, når det er under vands frysepunkt. Havisen kan man yderligere splitte i to kategorier: sæsonvarierende havis og flere års havis, altså når havisen er til stede gennem hele året og flere år i træk. Den flerårige havis kan opnå en tykkelse på flere meter. Udbredelsen af havisen i Arktis er størst i marts måned og mindskes hen over sommeren for at nå sin mindste udbredelse i september (figur 2).

Havisen er vigtig for klimasystemet. Når havisen dannes af det salte havvand udfryses saltene, hvilket er med til at gøre havvandet tungere, og denne proces er vigtig for dybhavsdannelsen og havcirculationen. Er temperaturen i Arktis under frysepunktet, fungerer havisen som et låg ovenpå det relativt varme hav, men når havisen forsvinder, er der istedet direkte adgang til havoverfladen, der fungerer som et stort varmereservoir for den kolde ovenover liggende luft. Herudover bevirker havis-albedo-feedback, at den mørke havoverflade bedre absorberer indgående kortbølget stråling, mens den lyse havisoverflade reflekterer strålingen og dermed energien væk igen. Endelig er havis-randen et vigtigt biologisk område, og ændringer i havisen påvirker derfor hele fødekæden.

Det er altså relevant at se på, hvordan havisen har ændret sig i relation til tidligere tiders opvarmning og varme perioder.

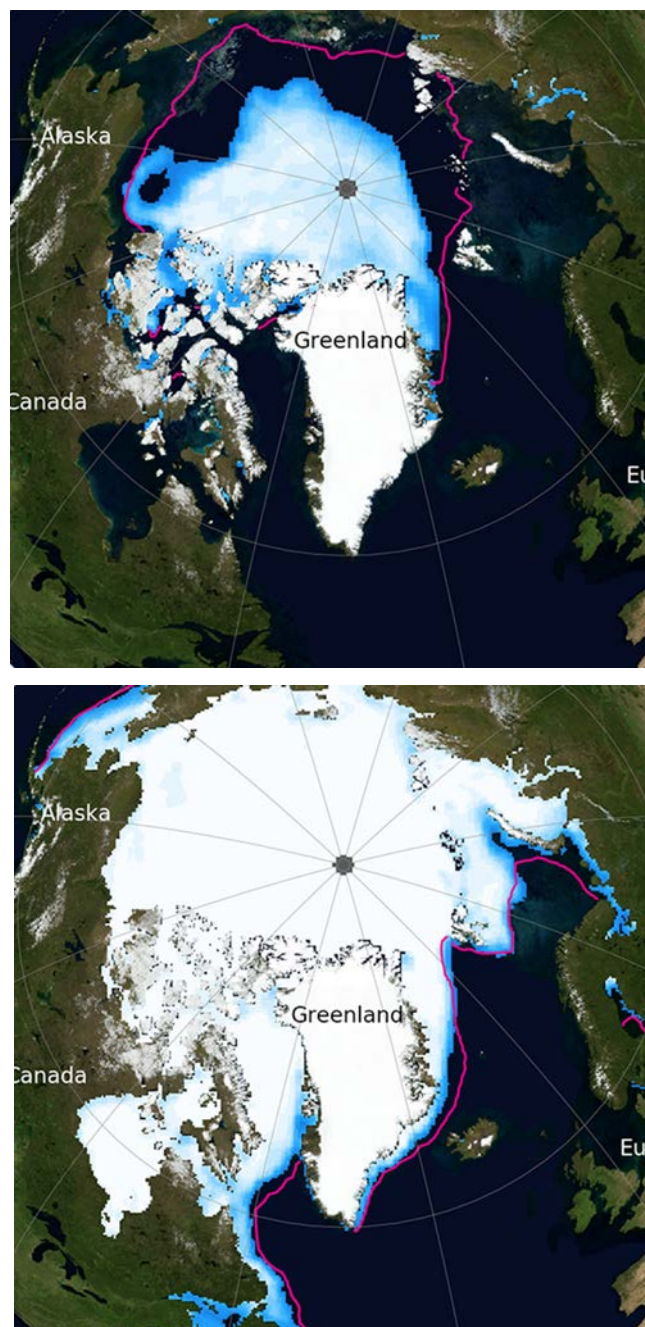
Havis proxyer

For at forstå den naturlige variation mellem is og temperatur kan vi kigge tilbage i tiden. Flere proxyer for havis eksisterer (se tabel 1 og figur 3).

Sedimentkerner fra havets bund lejrer tidligere tiders marine organismer. Måler man i sådanne sedimentkerner indholdet af biomarkøren IP25 [7], der stammer fra specifikke arter af diatomeer, der lever i nærheden af havis-randen, får man en idé om, hvordan tidligere tiders førsteårs havis varierede. Samtidig kan specifikke foraminiferer, der kun kan leve i åbent vand, yderligere hjælpe til med at bestemme grænsen for havisens udbredelse [8].

Iskerner fra land er unikke, idet de har høj tidlig opløsning. I iskerner fra Grønland bruger man indholdet af fysiokemiske proxyer, der kan berette om havisens udbredelse. Det er for eksempel måling af havsalt, natrium (Na^+) eller klor (Cl^-), som udfryses ved dannelsen af havis [9], eller målinger af brom (Br^-), der gennem radikale kemiske processer, opkoncentreres over førsteårs havis via brom-ekspllosioner [10]. I iskernerne findes også enkelte biokemiske proxyer fx jod, som produceres af alger ved havisranden, men her skal man være mere forsigtig i analysen, da jod også indgår i andre klimavariierende processer [11]. Fælles for iskerne-havis-proxyerne er, at de er blevet transporteret

op til isen af vinden, og at transportprocessen og nedbøren undervejs skal estimeres, før man endeligt kan afgrænse fortidens havis udbredelse



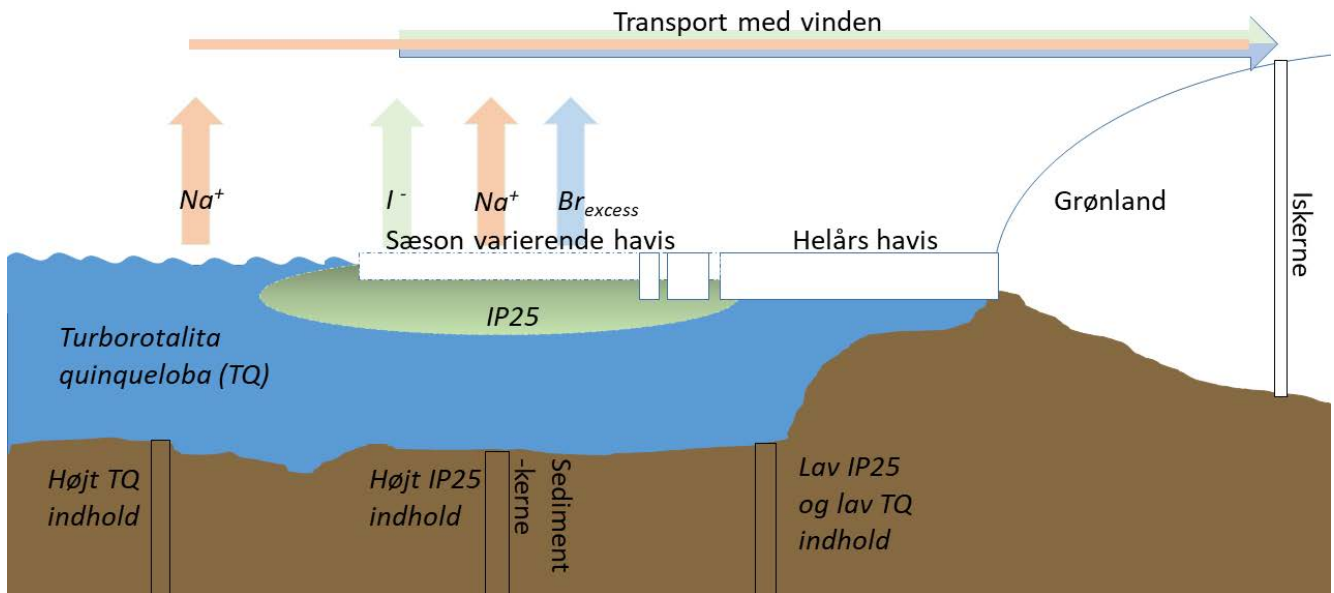
Figur 2. Havisens udbredelse i år 2020, samt i lilla middel udbredelsen for perioden 1981–2010. Øverst er havisens sommer-minimum repræsenteret (september) og nederst havisens udbredelse i marts (vinter max). Figur: National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

Havisen driver opvarmning i Arktis

Ved at studere de ovennævnte proxyer har vi fundet evidens for at havisen er stærkt linket til tidligere tiders abrupte temperaturændringer.

Eem – den sidste mellemistid

I den sidste varme periode, Eemtiden (figur 4, øverst), hvor temperaturerne over Grønland var 8 ± 4 grader varmere end i dag, dokumenterer man i sedimentkerner fra det centralarktiske bassin rigelige mængder af den



Figur 3. Simpel illustration af havisen og de proxyer, der bruges til at rekonstruere havisens udbredelse. *Turborotalita quinqueloba* (TQ), der bedst trives i det åbne subpolare hav, og de organismer, der producerer IP₂₅, som trives nær havisen, bevares i sedimentet når de dør og falder til bunds. Dermed opnås fx en høj koncentration af TQ i sedimentet under åbent vand og ingen under helårshavisen, hvor de ikke trives. Mens forskellige ioner, der findes i iskernerne, oprindeligt kommer fra åbent hav (Na⁺), alger (I⁻) og førsteårs havis (Br_{excess}, Na⁺). Pilene repræsenterer transporten af disse ioner fra havets overflade og op til isen via vinden (se referencer i tabel 1 for en mere detaljeret beskrivelse af processer).

subpolare foraminifera *Turborotalita quinqueloba* (TQ), der ikke er forenelig med havis [8].

Det bakkes op af et højere niveau af jod fra iskernen NEEM under Eemtiden end det man finder i Holocæn, altså en større primærproduktion i det centrale arktiske bassin end i dag og også foreneligt med åbent vand [11].

IP₂₅ fra sedimentkerner i det centrale Arktis, der relaterer til den sæsonvarierende havis, viser at, på trods af de op til 8 grader varmere temperaturer over Grønland, var der stadig noget sæsonvariabel havis tilbage i det centrale arktiske bassin. Samme proxy viser til gengæld at i Barents havet var al havisen forsvundet [12].

Istiden

I istiden var den globale middeltemperatur ca. 6 grader koldere end i dag, men temperaturen i Arktis var meget skiftende. Man ved, fra vandsotoper i iskerner og borehulstemperaturer i Grønland, at det for 20.000 år siden var 18–23 grader koldere end i dag på Grønland. Men vandsotoperne fra Grønland viser også, at klimaet skiftede fra kolde stadiale perioder (GS) til pludseligt varme interstadiale perioder (GI). Temperaturen steg med op til 15 grader på bare få årtier. Disse abrupte opvarmninger, er de førnævnte DO-events. Hvorfor disse varme perioder (glaciale interstadiale - GI) eksisterer, og hvilke processer, der er involveret, er stadig en videnskabelig diskussion, men nyere evidens viser, at havisen også i istidens klimavariationer har en essentiel rolle.

Istidens arktiske bassin

Under istiden følger koncentrationen af havsalt ionen Na⁺ i de grønlandske kerner generelt temperaturen med højere koncentrationer i de kolde perioder (GS)

og omkring 10 gange lavere koncentrationer af Na⁺ under de varme GI. Det tolkes dels som et resultat af øgede vinde under istiden og dermed øget transport af urenheder generelt til isen, dels som et resultat af mindsket nedbør i det kolde klima og dermed en opkoncentrering af ioner generelt i iskernerne, og endelig som en funktion af øget havisdække i de kolde perioder, med opkoncentrering af havsalte i særlige frostformationer oven på havisen i forbindelse med havisdannelsen.

Under de kolde GS-perioder var havis udbredt (figur 4, midt venstre). Og i NEEM-iskernen fra det nordvestlige Grønland, der repræsenterer Canadas arktiske bassin (Baffinbugten og Labradorhavet) finder man under istidens maxima for 20.000 år siden kun lidt Br⁻-øgning relativt til Na⁺ (havsalt), altså et havisdække, der er komplet og ingen førsteårs havis i bassinet [10].

Under den hurtige transitionen til de varme GI-perioder viser de højtopløste “Br-excess”-målinger fra NEEM-iskernen, at det konstante havisdække ved Baffinbugten og Labradorhavet mindskes samtidig med opvarmningen og blev erstattet af sæsonvarierende havis (figur 4, midt højre). Den synkrone mindskning af havis i de canadiske bassiner og opvarmningen viser, at havisen og dens feedbackmekanismer formentlig er en forstærker for opvarmningen til de varme interstadialer, der ses i de grønlandske iskerner [13]. Under selve den varme periode observeres en øget variabilitet i første års havisen ved Baffinbugten.

I Norskehavet ændrer havisen også karakter tæt ved eller endda umiddelbart før Dansgaard-Oeschger-opvarmningerne og sæsonvarierende havis erstatter tidligt i opvarmningen det mere permanente havisdække (IP₂₅, “Br-enrichment” [14]), der i de kolde perioder

lå som et isolerende lag helt ned til ca. 60°N. De klimamodeller, der kan generere spontane DO-events understøtter målingerne fra sedimentkerner i Norskehavet og viser også, at havisen først mindskes i det

sydligste Norskehav, hvorefter større dele af havisen forsvinder i det nordatlantiske bassin [15]. Altså at havisdækket i Norskehavet er en precursor for temperatur-opvarmningen ved Grønland og for ændringer i resten af det nordatlantiske bassin.

Sedimentkerner	
Proxy	Beskrivelse
IP ₂₅ (PIP ₂₅)	IP ₂₅ er et lipid, der stammer fra særlige diatomer, der lever i nærheden af havisranden, og repræsenterer den sæsonvarierende havis. Sættes nogle gange i relation til den totale mængde lipider og kaldes så PIP ₂₅ [7]. Identificeres ved karakteristiske GC-retentionstid og massespektra.
TQ-subpolar foraminifer <i>Turborotalita quinqueloba</i>	Denne foraminefer lever i dag i det subpolare miljø, og er ikke forenlig med havis [8]. Den og andre foraminefera identificeres ved microscop efter filtrering af sedimentet.
Iskerner	
Proxy	Beskrivelse
Na ⁺ /Cl ⁻	Havsalt (NaCl) bliver opkoncentreret, når havis dannes, og i forbindelse med formation af særlige iskrystaller ovenpå tynd havis ("frost flowers"), men kan også transporteres direkte fra havet til toppen af iskapen, særligt når vindene er kraftige [9]. I isen kan saltionerne måles kontinuert og man kan opnå en årlig opløsning tilbage til 60.000 år fvt.
Br excess	Br ⁻ som også oprindeligt stammer fra havet bliver opkoncentreret relativt til natrium over førsteårs havis gennem bromin-explosioner, som kræver en saltoverflade fx havis. Man måler derfor både Na ⁺ og Br ⁻ og kigger på hvor meget ekstra Br ⁻ der er, i forhold til den fra havvand forventede ratio [10]. Br måles med ICP-SFMS typisk i en opløsning på 20–50 cm tilsvarende 3–20 års midler. I måles tilsvarende Br og i samme opløsning.
Jod	Globalt stammer atmosfærisk jod fra inorganisk emission af HOI og I ₂ fra havets overflade, samt biogenisk produktion af alkyljod. Men i arktiske egne er der yderligere en biogenisk produktion af HOI og I fra alger under og ved havisen [10, 11]. Br måles med ICP-SFMS typisk i en opløsning på 20–50 cm tilsvarende 3–20 års midler.

Tabel 1. Overblik over de her nævnte havisproxyer.

Under selve den varme interstadiale periode sker der en langsom og gradvis afkøling, og havisen spreder sig igen over det nordlige og centrale Baffinbugt-område observeret ved en mindskning i variabiliteten af Br⁻ i NEEM-kernen, der starter bare 100–600 år efter DO'ens begyndelse, muligvis som følge af, at ferskvand fra smeltende iskapper erstatter det ellers saltholdige overfladevand. Fordi ferskvandet har lavere frysetemperatur øges havisens udbredelse i Baffinbugten. Havis-ekspansionen fører så dette ferskvand yderligere mod syd, hvor dybvandsformationen og dermed transporten af varme mod nord forstyrres og transitionen til glacial stadial er komplet [13].

Havisen synes altså at spille en rolle både i forbindelse med opvarmningen og afkølingen.

Transitionen til Holocæn

Transitionen fra det kolde glaciære klima til det varme Holocæn er overvejende drevet af en stigning i solindstrålingen på den nordlige halvkugle.

Den iskerne, der repræsenterer Norskehavet, viser, at fra ca. 17.500 år siden begyndte opvarmningen synkront

med reduktionen af permanent havis, og det bekræftes yderligere fra sedimentkerner, der også viser en temperaturstigning i Nordatlanten. Den sæsonvarierende havis i Norskehavet dominerer under Yngre Dryas, og herefter erstattes havisen primært af åbent vand [10, 13].

I det canadiske arktis følger den sæsonvarierende havis ("Br excess") temperaturen over transitionen, og der ses altså en overgang fra permanent havisdække til sæsonvarierende havis med åbent vand i sommeren [10].

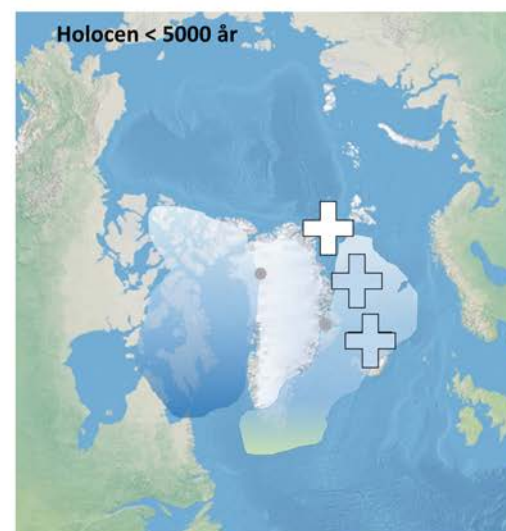
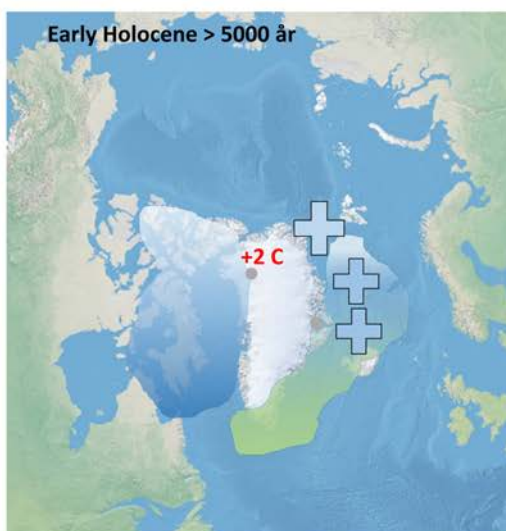
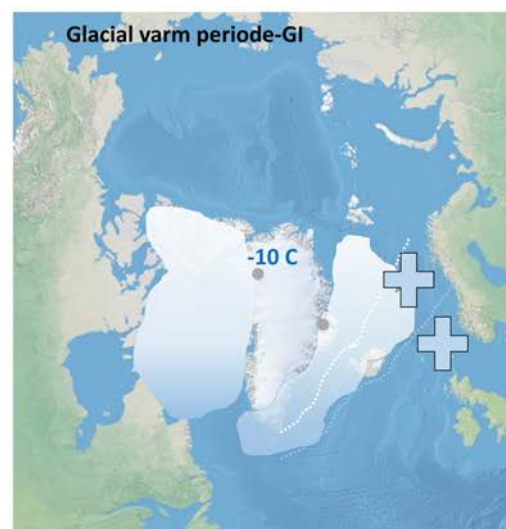
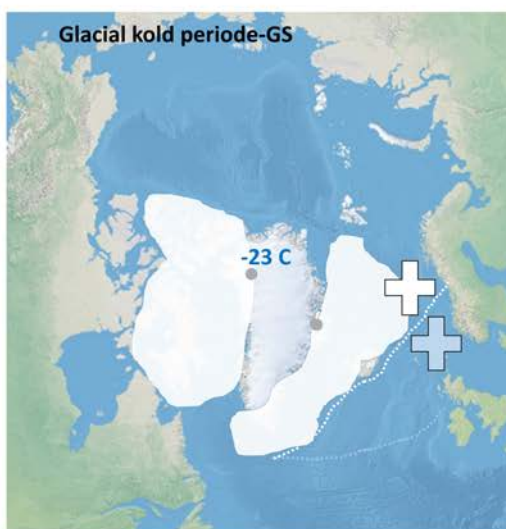
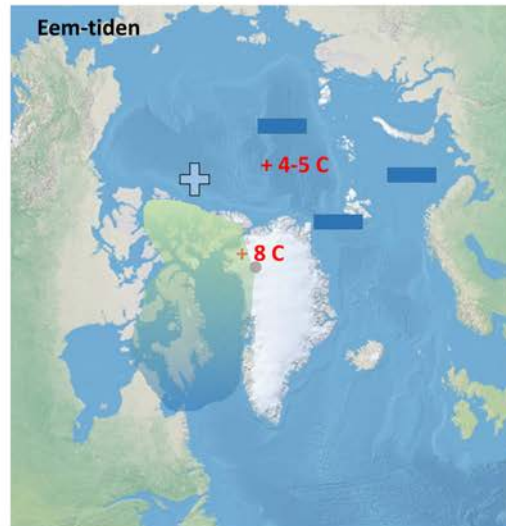
Holocæn - vores varme periode.

I det tidlige holocæn (figur 4, bund venstre) er solindstrålingen høj og i iskernen NEEM fra det nordvestlige Grønland som repræsenterer Baffinbugten, finder man for 8–9 tusind år siden den største udbredelse af sæsonvarierende havis, samtidig med temperaturerne over Grønland er 2–3 grader varmere end i dag [10].

I sedimentkerner fra den østlige side af Grønland i Framstrædet, hvor den arktiske havis i dag bliver transporteret langt mod syd af den grønlandske havstrøm, findes for samme periode det laveste niveau af første års havis i Holocænperioden.

Ved Østgrønland og nord for Island var havisen også reduceret i forhold til i dag, men en smule sæsonvarierende havis eksisterede. Samtidig er jodniveauet højt i den østgrønlandske iskerne fra Renland og repræsenterer åbent marint produktivt vand ud for det centrale Østgrønland [16]. Altså er tidlig Holocæn en periode, hvor havisen ligger langt mod nord.

Herefter startede en langsom øgning af havisen i det nordligste Nordatlanten. Det fører til Holocæns maksimale niveau af "Br excess" i den østgrønlandske iskerne RECAP, altså store mængder af sæsonvarierende havis for ca. 5.000 år siden, og der sker også et abrupt fald i jodkoncentrationen, altså den østgrønlandske algeproduktion ophører abrupt samtidig med sæson varierende havis breder sig (figure 4, bund højre).



Figur 4. Viden om havisens udbredelse fra havis proxier målt i sediment og iskerner. Øverst ses den varme periode Eem (øverst). I midten er vist Istidens kolde (GS) og istidens varmere (GI) perioder, altså forskellen henover en såkaldt DO event og nederst vises henholdsvis tidlig Holocæn (10000-5000 år siden) og senere Holocæn (5000 år siden og frem) separat. Resultater fra sedimentkerner er indikeret med et plus for havis, mens minus indikerer åbent vand. Omridset nord-vest for Grønland indikerer det omtrentlige kildeområde for henholdsvis iskernen NEEM, mens RECAP iskernens omtrentlige kildeområde er vist øst for Grønland på samme måde. Grå prikker indikerer iskernernes geografiske position. Farverne indikerer havis der bliver gennem flere år uden at smelte om sommeren (hvid), sæson varierende havis (lyseblå), samt biologisk primær produktion (grøn) og åbent hav, repræsenteret ved subpolare marine organismer (blå).

Ved Framstrædet og omkring Island observeres en stadig øgning af havis frem til for ca 1000 år siden. Siden den middelalderlige varmeperiode for ca. 700 år siden har der været en retur til mere variable havisforhold begge steder [16].

Fortidens palæoklima kan hjælpe med at forudsige fremtiden

Den viden vi har om havis fra både sediment- og iskerner viser, at havisen og temperaturforandringer i Arktis er stærkt relaterede. Havisen er altså nøglen til at forstå fremtidens temperaturudvikling i Arktis. Derfor er det yderst vigtigt at fremtidige klimamodeller kan repræsentere havisen og de fysiske processer og feedbackmekanismer, der relaterer til den.

Vi kan ved at bruge de mange højt opløste palæoklimatiske proxyer, der er udviklet de seneste år, og som tilsammen giver indgående viden om havisens udbredelse og relaterede tidsskalaer, tjekke at modellerne kan reagere abrupt nok og har den rette mængde havis ved forskellige klimatiske konfigurationer, og dermed opnå større tiltro til fremtidige klimascenarier for Arktis.

Modellerne, der skal bruges ved den næste IPCC-rapport, CMIP7, er under udvikling, og det er derfor yderst vigtigt, at den nye viden inkluderes i modellerne og de resultater og fremskrivninger for klimaet, der forventes de kommende år.

Litteratur

- [1] M. Rantanen m.fl. (2022) “The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979”, *Communications earth & environment*, bind 3, side 168.
- [2] E. Jansen m.fl. (2020) “Past perspectives on the present era of abrupt Arctic climate change”, *Nature Climate Change*, bind 10, side 714–721.
- [3] J. C. Stroeve m.fl. (2012) “Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations”, *Geophysical Research Letters*, bind 39, side L16502.
- [4] W. Dansgaard m.fl. (1993) “Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record”, *Nature*, bind 364, side 218–220.
- [5] V. Gkinis m.fl. (2021) “A 120,000-year long climate record from a NW-Greenland deep ice core at ultra-high resolution”, *Scientific Data*, bind 8, side 141.
- [6] NEEM community members (2013) “Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core”, *Nature*, bind 493, side 489–494.
- [7] S. T. Belt m.fl. (2007) “A novel chemical fossil of palaeo sea ice: IP25”, *Organic Geochemistry*, bind 38, side 16–27.
- [8] F. Vermassen og H. Coxall (2023) “Disappearance of Arctic sea ice during summers of the Last Interglacial”, *Nature Geoscience*, bind 16, side 669–670.

- [9] R. H. Rhodes, X. Yang og E. W. Wolff (2018) “Sea ice versus storms: what controls sea salt in arctic ice cores?”, *Geophysical Research Letters*, bind 45, side 5572–5580.
- [10] P. Vallelonga m.fl. (2021) “Sea-ice reconstructions from bromine and iodine in ice cores”, *Quaternary Science Reviews*, bind 269, side 107133.
- [11] J. P. Corella m.fl. (2022) “Climate changes modulated the history of Arctic iodine during the Last Glacial Cycle”, *Nature Communications*, bind 13, side 88.
- [12] R. Stein m.fl. (2017) “Arctic Ocean sea ice cover during the penultimate glacial and the last interglacial”, *Nature Communications*, bind 8, side 373.
- [13] F. Scotto m.fl. (2022) “Sea ice fluctuations in the Baffin Bay and the Labrador Sea during glacial abrupt climate changes”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, bind 119, side e2203468119.
- [14] H. Sadatzki m.fl. (2019) “Sea ice variability in the southern Norwegian Sea during glacial Dansgaard-Oeschger climate cycles”, *Science Advances*, bind 5, side eaau6174.
- [15] G. Vettoretti, P. Ditlevsen, M. Jochum og S.O. Rasmussen (2022) “Atmospheric CO₂ control of spontaneous millennial-scale ice age climate oscillations”, *Nature Geoscience*, bind 15, side 300–306.
- [16] N. Maffezzoli m.fl. (2021) “Sea ice in the northern North Atlantic through the Holocene: Evidence from ice cores and marine sediment records”, *Quaternary Science Reviews*, bind 273, side 107249.



Helle Astrid Kjær er lektor ved Niels Bohr Institutet og leder de kontinuerlige kemiske målinger af iskerner i Afdelingen for Is-, Klima- og Geofysik. Hendes forskning støttes af Danmarks Frie Forskningsfond (1131-00007B), H2020, og Novo Nordisk Challenge projektet PRECISE.



Nanna Andreasen er ph.d.-studerende ved Niels Bohr Institutet i Afdelingen Is-, Klima- og Geofysik. Hun arbejder med rekonstruktion af havisens udbredelse i Holocæn og med diatomeer i iskerner. Hendes forskning støttes af Danmarks Frie Forskningsfond (1131-00007B).