POLAR PORTAL
IS- OG KLIMAOVERVÅGNING I ARKTIS

Polarportalens Sæsonrapport 2019

Tørt og varmt vejr gav høj smeltning i Arktis

Sæsonen i Arktis 2018-19 var generelt mere tør end normalt, og sommeren var varm med perioder hvor smeltningen var meget høj. Det betyder, at Indlandsisen er kommet svækket ud af sæsonen. Gletsjerne har mistet en smule mere areal end gennemsnittet for perioden 1986-2018. Havisen har igen i år været udsat. Udbredelsen af havisen var således allerede meget lav i foråret, og den varme sommer gjorde det kun værre.

Den tørre og varme sommer i Grønland hænger sammen med den atlantiske "vippe"

Der er flere faktorer, der spiller en rolle for det store tab af is i sæsonen 2018-2019. Sæsonen startede i september 2018 med en periode, der i størstedelen af Grønland var langt mere tør end normalt. Det betød, at Indlandsisen kun havde et tyndt beskyttende lag af sne, da smeltesæsonen satte tidligt ind allerede d. 30. april 2019. Sommeren i 2019 var meget lang, tør og varm, og det medførte massiv smeltning på hele Indlandsisen og især i vest og nord.

Den lange, tørre sommer kan delvist forklares ud fra den nordatlantiske oscillation, NAO, som er et udtryk for vindene hen over Nordatlanten. Disse strømninger har stor betydning for vores vejr året rundt (dog især om vinteren).

NAO er defineret som forskellen mellem lufttrykket over eller nær Azorerne og trykket over Island. Normalt er lufttrykket højt over Azorerne og lavt over Island. Det medfører, at vinden kommer fra vestlige retninger, og man siger at NAO-indeks er positivt. En gang imellem kan trykforskellen være lille, eller trykket over Island kan være højere end over Azorerne. Her får vi vind fra øst, og NAO-indekset er negativt. NAO er med til at bestemme hvilke "ruter" lavtrykkene over Atlanten tager. Derfor er NAO af stor betydning for vejret i Nordeuropa. En positiv NAO giver typisk gråt, mildt, regnfuldt og blæsende vintervejr i Central- og Nordeuropa. En negativ NAO bringer typisk stormene længere sydpå. Den lange tørre sommer i 2019 hænger sammen med at NAO indekset i en lang periode var negativt. Et negativt NAO styrer nemlig regn og sne væk fra Grønland, og det medfører også klar himmel eller blot et tyndt skydække, hvilket sætter yderligere skub i smeltningen af isen.

Flere nyere studier viser, at NAO-indekset spiller en central rolle for smeltningen i Grønland. Studier viser også, at de seneste år med lav smeltning har været forbundet med måneder med et positivt NAO-indeks. Det er vigtigt at fremtidige klimamodeller viser NAO-indekset på en realistisk måde, fordi der er indikationer på, at opvarmningen af det globale klima fremmer negative NAO-indekser, som medfører større smeltning i Arktis.

I det følgende ser vi på de væsentligste overvågningsresultater i Arktis i 2019:

- Tør og varm sommer i Grønland i 2019
- Høj afsmeltning af Indlandsisen
- Massetab fra kælvning af isbjerge
- Første data fra GRACE Follow-On, dog endnu ikke operationelt
- Indlandsisens albedo var rekordlav i 2019
- Laveste udbredelse af havis i juli i 40 år

Tør og varm sommer i Grønland i

Sommeren i Grønland 2019 var både tør og varm. I begyndelsen af juni og slutningen af juli passerede meget varm luft hen over Indlandsisen, og det betød, at smeltesæsonen fik yderligere fart på. Da den anden hedebølge toppede i de tre dage fra 31. juli til 2. august, mistede Indlandsisen 31 Gt, hvilket, isoleret set, resulterede i en havstigning på 0,1 mm. Til sammenligning var den gennemsnitlige daglige smeltning over hele smelteperioden på omkring 3 Gt. Under hedebølgen var smeltningen altså mere end tre gange så høj som gennemsnittet.

Sæsonen 2018-2019 var endnu et år, hvor der blev målt smeltning ved Summit. Det er kun sket seks gange tidligere i de seneste 2000 år. I sæsonerne 2016-2017 og 2017-2018 var der en lille tilvækst på Indlandsisen. Men i modsætning til disse sæsoner var Indlandsisens overflademassebalance lav i 2018-2019.

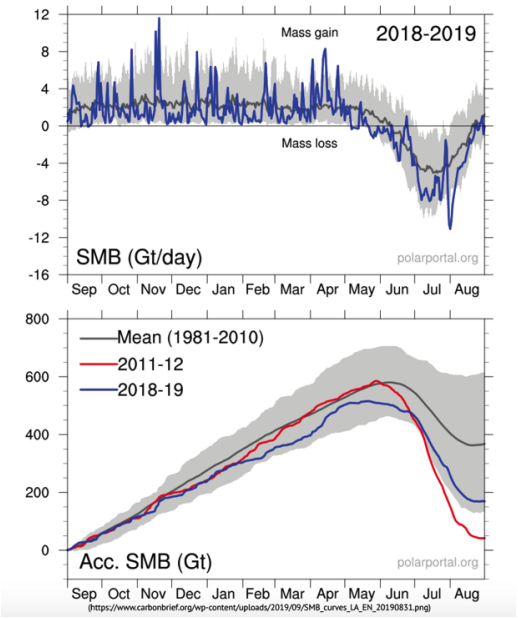
2019 blev et år med høj afsmeltning af Indlandsisen

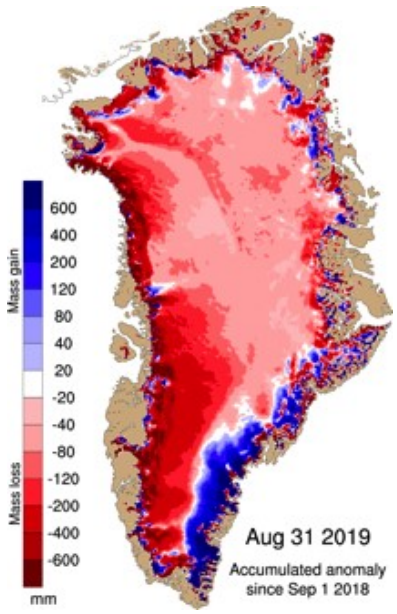
Overflademassebalancen er et udtryk for den isolerede tilvækst og afsmeltning af Indlandsisens overflade og overvåges både via egentlige målinger og computersimuleringer. DMI foretager daglige simuleringer af, hvor meget is eller vand Indlandsisen afgiver eller ophober. Ud fra disse simuleringer kan man få et samlet mål for, hvordan overflademassebalancen udvikler sig over hele Indlandsisen (Fig. 1). Ved afslutningen af årets sæson (31. aug. 2019) var overflademassebalancens nettoresultat 169 Gt (et gigaton er en milliard tons, hvilket svarer til en kubikkilometer is). Det betyder, at sæsonen ligger på en syvendeplads over de laveste resultater af overflademassebalancen. Det betyder også, at 9 at de 10 laveste resultater for overflademassebalancen – der er beregnet siden 1981 - skal findes inden for de seneste 13 år.

Med andre ord er der faldet 169 Gt mere sne end den mængde, der smeltede og løb ud i havet. Det er næsten 200 Gt under gennemsnittet for 1981-2010 på 368 Gt. Til sammenligning er den laveste beregnede SMB på kun 38 Gt i 2012. Det gælder dog, som sagt, kun balancen ved overfladen, og således ikke den totale balance, som også inkluderer smeltning af gletsjere i kontakt med varmt havvand og kælvning af isbjerge.

Overflademassebalance

Overflademassebalancen er et udtryk for den isolerede tilvækst og afsmeltning af Indlandsisens overflade. Nedbør er med til at øge Indlandsisens masse, mens afsmeltning får Indlandsisen til at svinde. I forhold til den totale massebalance fortæller overflademassebalancen om bidraget ved Indlandsisens overflade – det vil sige eksklusiv dét, der tabes, når gletsjere kælver isbjerge og smelter i mødet med varmt havvand. Siden 1990-erne har overflademassebalancen generelt været faldende.





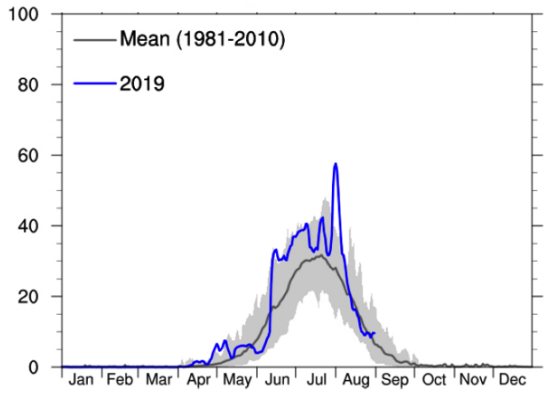
Figur 1: Den øverste kurve viser det totale daglige simulerede bidrag til overflademassebalancen fra alle punkter på Indlandsisen. Den nederste kurve viser den samlede akkumulerede overflademasse. De blå kurver står for sæsonen 2018-2019. Den øverste kurve viser den meget store afsmeltning i juli/august 2019, og på den nederste kurve kan vi se, at sæsonen ved afslutningen placerer sig meget lavt i forhold til de 40 års data, vi har. Kortet viser fordelingen af akkumulationen. Den største del af Grønland har tabt masse, kun i Sydøst-grønland var der en massetilvækst.

På Polarportalen benytter vi to tidspunkter til at vurdere, hvornår og hvordan afsmeltningen begynder på Indlandsisen. Det ene er begyndelsen af smeltesæsonen, defineret som den første af tre dage, hvor der vedvarende har været en afsmeltning over mere end 5% af Indlandsisens areal. Det andet er begyndelsen for ablationen, der er defineret som den første af tre dage, hvor Indlandsisen mister mere end et gigaton dagligt fra overfladen.

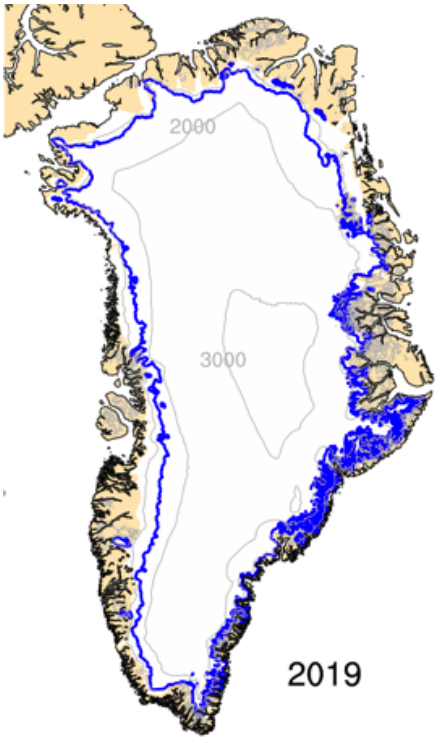
Smeltesæsonen startede den 30. april 2019. Det er næsten en måned før den gennemsnitlige start på Indlandsisens smeltesæson, som er 26. maj. Det placerer 2019 som nummer to på listen over tidligste start på smeltesæsonen, kun overgået af 2016.

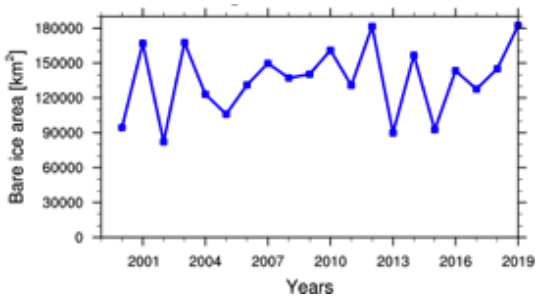
Ablationsstarten lå den 11. juni, og det er meget gennemsnitligt og tæt på medianen, der ligger 12. juni. Ablationen var dog meget tæt på at starte langt tidligere. I slutningen af maj gav nogle dage med høje temperaturer over gennemsnittet nemlig en tidlig smeltning. Den varede dog ikke længe nok til at leve op til definitionen på ablationsstart.

I hele perioden fra februar til midten juni lå overflademassebalancen under den rekordlave sæson i 2011-2012. Men ved afslutningen af smeltesæsonen, lå 2018-2019 over rekordåret 2012 – dog stadig langt under gennemsnittet.

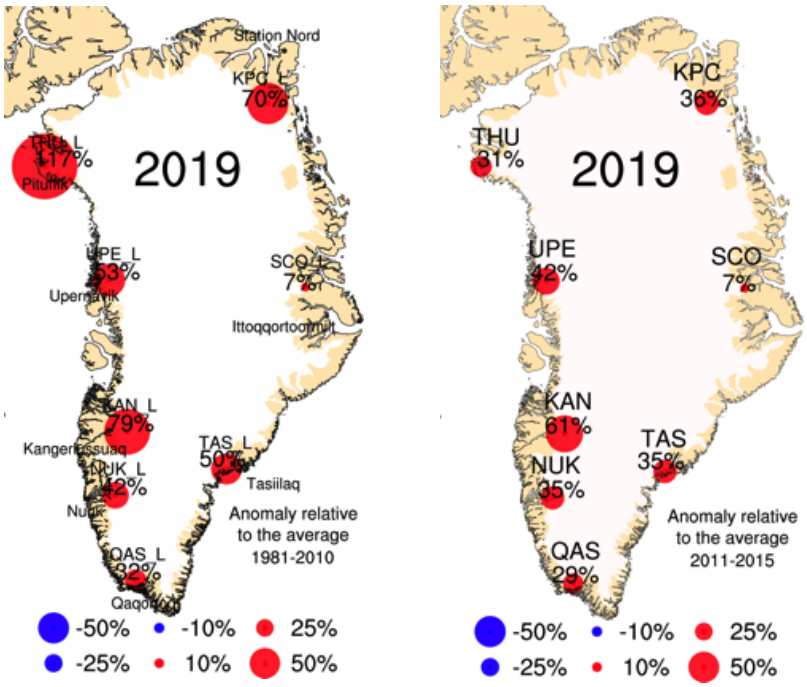


Figur 2: *Kurven viser på en daglig basis, hvor stor en procentdel af Indlandsisens samlede areal, der har oplevet afsmeltning, defineret som minimum 1 mm afsmeltning ved overfladen. Den blå kurve viser smelteudbredelsen i 2019, mens den mørkegrå kurve viser middelværdien for perioden 1981-2010. Det lysegrå bånd viser forskellene fra år til år, dog fratrukket den højeste og laveste daglige værdi. Som det ses, ligger den blå kurve over gennemsnittet i næsten hele sæsonen. Under smeltehændelsen i slutningen af juli og begyndelsen af august var der afsmeltning på 58% af isens overflade, kun overgået af 2012.*





Figur 3: *Kortet viser, hvor snelinjen befandt sig i slutningen af smeltesæsonen, dvs. højere oppe er det sne og længere nede is. Grafen viser, hvor stort isområdet er. 2019 er det største isområde målt indtil nu, kun lidt større end i 2012.*



Figur 4: *Kortene viser netto-afsmeltningsafvigelserne (anomalierne) for 2019 ved de lavereliggende PROMICE vejrstationer set i forhold til perioderne 1981-2010 (venstre) og 2011-2015 (højre).*

Afsmeltning fra Indlandsisen måles desuden direkte på udvalgte steder under PROMICE-projektet. Ved alle de 21 målestationer under PROMICE projektet blev der målt et nettotab af is og sne, der var højere end gennemsnittet for perioden 2008-2019. Den største afsmeltning skete i Vest-, Nordvest- og Nordgrønland. Det var ved stationerne Kronprins Christian Land (KPC), Pituffik (THU) og Upernavik (UPE). Der er vejrstationer i forskellige højder, og resultaterne fra de lavereliggende målestationer blev sammenlignet med gennemsnittet for standardklimaperioden 1981-2010. Alle disse stationer havde i 2019 en afsmeltning, som var højere end gennemsnittet i standardklimaperioden.

Den store afsmeltning afspejler de høje sommertemperaturer i juni, juli og august, som lå over gennemsnittet for 2008-2019 ved alle målestationerne.

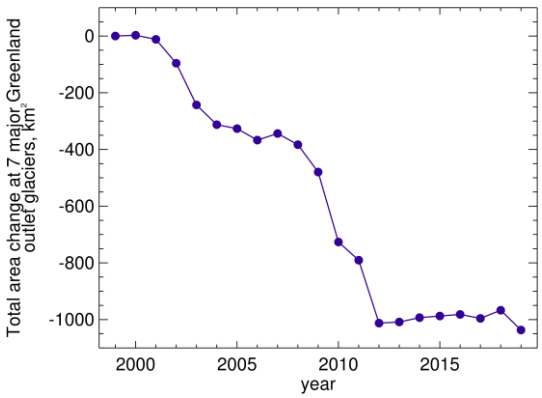
Massetab fra kælvning af isbjerge

Grønlands iskappe taber bl.a. ismasse via sine udløbsgletsjere, der munder ud i havet. Hvis der er ligevægt, balanceres kælvning af isbjergene og afstrømning af isen mod havet.

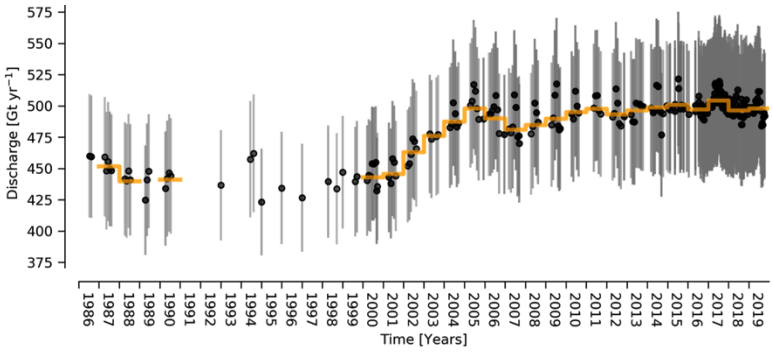
Udløbsgletsjernes ændring i areal er siden 1999 blevet målt af satellitterne Sentinel-2, LANDSAT og ASTER. Disse målinger viser, at de syv største udløbsgletsjere siden 2018 samlet set har mistet et areal på -71,2 ±1,4 km^2. Dette tab er det største tab efter en ellers stabil periode uden store tab i årene 2013-2018. Det er gletsjerne Helheim, Kangerdlugssuaq, Jakobshavn, Rink, Zachariae, Nioghalvfjerdsfjordenbræ og Petermann. Det største tab i areal havde Nioghalvfjerdsfjordenbræ. Tre af disse gletsjere tabte areal (Helheim, Zaccaria og Nioghalvfjerdsfjordenbræ), to vandt areal (Kangerdlugssuaq og Petermann) og to (Jakobshavn og Rink) var stabile.

Det største tab skete ved Nioghalvfjerdsfjordenbræ i forbindelse med løsrivelsen af Spalte is-shelf-området. Væksten af Petermann tyder på, at der ikke var store kælvningshændelser. Dog bevæger den store sprække sig fremad, og man kan forvente et arealtab på flere dusin km^2 i fremtiden.

PROMICE vurderer desuden isbjergsproduktionen fra satellitterne Sentinel-1A og -1B. Satellitterne måler således hastigheden af udløbsgletsjerne langs iskanten. Ud fra denne hastighed kan man beregne den mængde af is, der kælves til havet. Det gennemsnitlige tab af is fra kælving var 449 Gt i perioden 1981-2010. I perioden 2005-2018 var det gennemsnitlige tab steget til 484-503 Gt pr år. I sæsonen 2018-2019 var tabet lidt højere og nåede op på 497 Gt den 31. august 2019 De fleste områder har haft et rimeligt stabilt tab i de seneste 10 år. Det er Nordvestgrønland der har haft en vedvarende stigning i tab af is på cirka 21 % i perioden 1998-2018.



Figur 5: *Kurven viser den totale ændring i arealet af 7 af de største udløbsgletsjere i Grønland. Den viser, at disse gletsjere siden 2018 har mistet et areal på -71,2 ±1,4 km^2. Dette tab er det største tab efter en ellers stabil periode uden store tab i årene 2013-2018.*



Figur 6: *Tidsserie af kælvning fra den grønlandske indlandsis. Prikkerne viser, hvornår observationerne fandt sted (begrænset til > 50% dække). Den orange trinvise linje viser det årlige gennemsnit (begrænset til tre eller flere observationer pr. år).*

Højde- og masseændringer

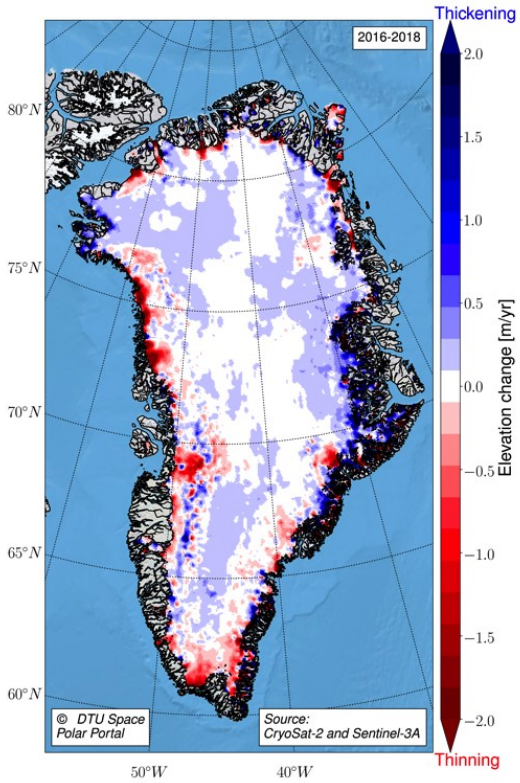
GRACE-satellitterne leverede i perioden 2002-2017 data til beregninger af Indlandsisens totalmassebalance, som både inkluderer bidraget fra overflademassebalancen samt tab fra gletsjere, der kælver i havet.

Disse data viser, at Indlandsisen i gennemsnit mistede 260 Gt is pr. år indtil 2012, og at smeltesæsonen i 2012 var udsædvanlig med et tab på 458 Gt. Dette er den totale massebalance, det vil sige SMB minus kælvning af isbjerge og smeltning af gletsjertunger.

GRACE-missionen måtte afsluttes i 2017, fordi batterierne på den ene af satellitterne var brugt op. Desværre var der ingen ny satellit i kredsløb, da det skete, og først den 22. maj 2018 blev der opsendt to nye satellitter. Det er GRACE-FO-satellitterne (GRACE Follow On), som afløser de oprindelige GRACE-satellitter.

Der har været problemer med et af instrumenterne på GRACE-FO-satellitten, og der arbejdes løbende på at validere og analysere data i dybden. De foreløbige data for Grønland viser i sin helhed, at GRACE-FO virker rimelig godt for Grønland. Der arbejdes på at få de endelige GRACE-FO resultater for Grønland snarest på Polarportalen.

I den aktuelle sæson 2018-2019 har man som supplement kunne bruge data fra Copernicus Sentinel-3A satellitten, som nu har målt højder længe nok til, at den kan bruges til at observere stabile højdeændringer af Indlandsisen. Der er dog stadig nogle udfordringer med satellittens data fra isranden, og derfor kombineres Sentinel-3A med data fra CryoSat-2 satellitten. Figur 6 viser de årlige højdeændringer i en treårig periode fra januar 2016 til december 2018. Kortet er baseret på højdemålinger ved hjælp af radaraltimetri. Disse målinger viser, at Jakobshavn Isbræ er blevet tykkere ude ved fronten i de seneste år.

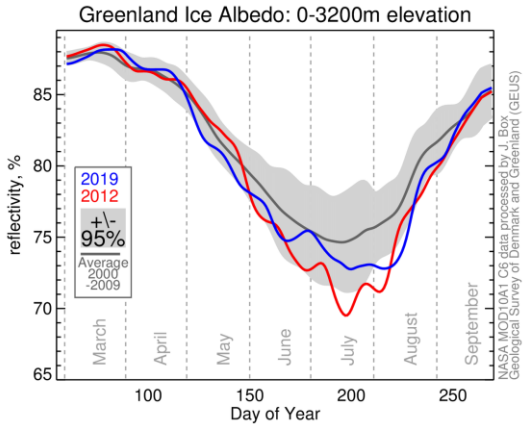


Figur 7: *Kortet viser højdeændringer per år baseret på Sentinel-3A og CryoSat-2 data fra perioden januar 2016 til december 2018.*

Indlandsisens albedo var rekordlav i 2019

I beregningen af overflademassebalancen arbejder man i dag med en "overflade energi budget model", hvori der indgår albedodata. Albedoen er et udtryk for en overflades evne til at reflektere solens stråler. Jo lysere en overflade er, desto bedre er den til at reflektere solens stråler, og desto større er albedoen. Mørke overflader optager tværtimod større mængder af solenergien som varme. Det er MODIS-satellitten (Moderate-resolution Imaging spectroradiometer), der siden 2000 har leveret albedodata via observation af Jordens refleksion af sollys.

I sensommeren 2019 var albedoen rekordlav, og det betyder, at isen reflekterede væsentlig mindre energi end gennemsnittet over store områder.



Figur 8: *Figuren viser de daglige gennemsnit af albedomålinger for årene 2012 og 2019. Den viser, at albedoen var rekordlav i august 2019. Det betyder, at isen reflekterede væsentlig mindre energi end gennemsnittet over store områder.*

Laveste udbredelse af havis i juli i 40 år

Når temperaturen i det centrale Arktis kommer over frysepunktet, starter havisen sin smeltesæson.

Havisens begyndte at smelte tidligere end normalt i 2019, i nogle områder en hel måned tidligere.

Udbredelsen af havisen var allerede rekordlav i foråret, og den varme sommer gjorde det kun værre. Juli 2019 blev da også den juli måned med mindst is, i de 40 år man har målt med satellit.

De områder, hvor havisen allerede forsvandt i juni, blev opvarmet af solen, så de var op til 4 grader varmere end normalt i Baffin Bugten på den Grønlandske vestkyst, Laptevhavet nordøst og Karahavet nordvest for Sibirien. Det varme havvand gør, at der smelter mere is.

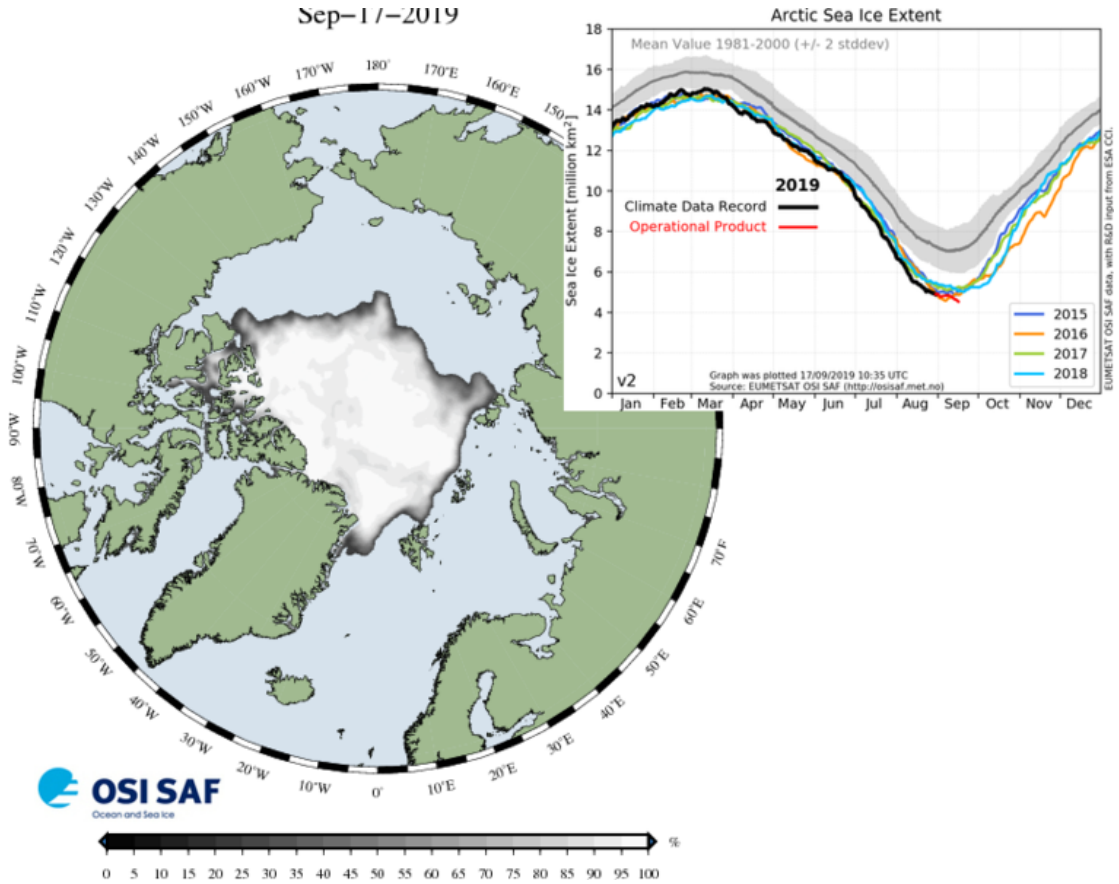
Den 17. september nåede den arktiske havis sin årlige minimumsudbredelse, som endte på 4.583.125 km^2. Det er omtrent 100 gange Danmarks areal. Denne minimumsudbredelse placerer 2019 på en delt anden plads over de laveste minimumshavisudbredelser. Andenpladsen deles med 2006, mens 2012 er stadig det år, hvor minimumsudbredelsen af havisen var mindst.

Genopfrysningen af havisen gik i gang fra d. 17. september, men den blev hæmmet, fordi vandtemperaturen omkring isen stadig var 2-4 grader varmere end normalt.

Havisen er vigtig for klimaet, fordi den er lys og således har en høj albedo. Jo mindre havis der er, desto større bliver de mørke vandoverflader i Arktis, som absorberer solenergi og dermed bidrager yderligere til opvarmning og afsmeltning af isen.

Solens energi øger også opvarmning af havet, og det forsinker opfrysningen om efteråret. Det betyder, at isen derfor har kortere tid til at vokse sig tyk i løbet af vinteren. Det kan bevirke, at den er tyndere om foråret og bryder tidligere op. Havis, der smelter, absorberer desuden mere sollys end kold og frossen havis.

Den kraftige afsmeltning af havisen får med andre ord en selvforstærkende effekt, som betyder, at afsmeltningen giver endnu mere afsmeltning. Hvis der fortsat sker en opbrydning af den flerårige is, så kan havisens stabilitet blive truet. Hvis den flerårige is bryder op og driver sydpå (hvor den smelter), er der en stor risiko for, at der opstår isfri somre i det arktiske ocean.

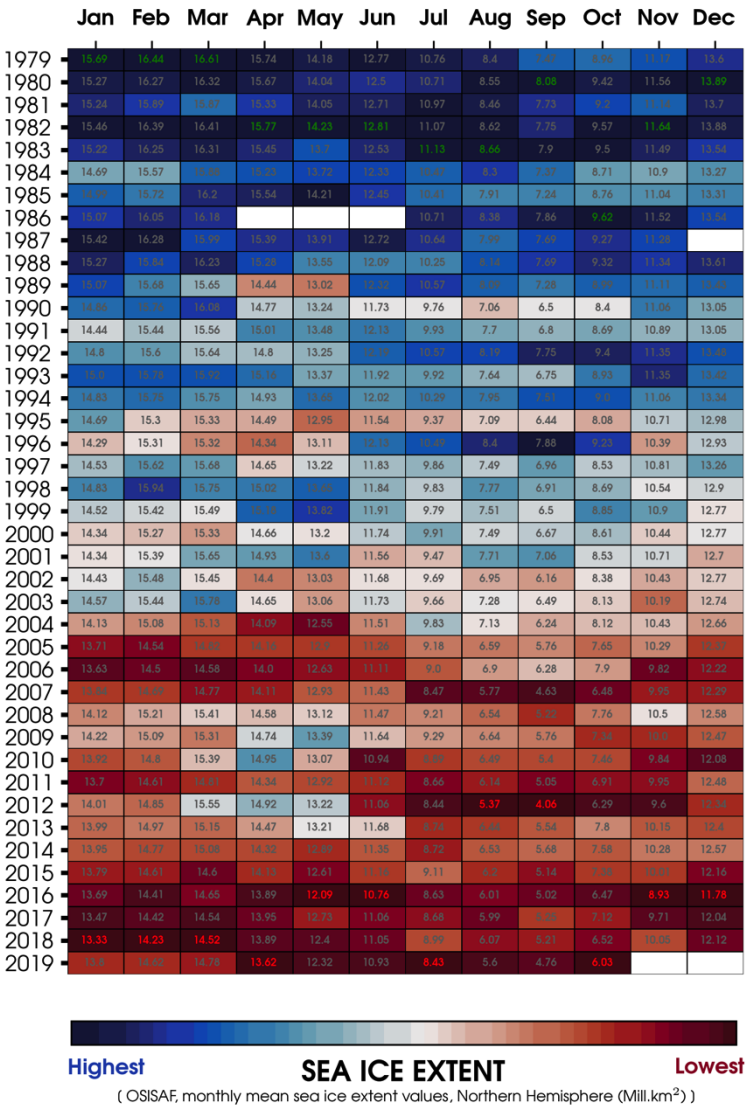


Figur 9: *DMI's kurve af havisudbredelse fra 17. september 2019, som var datoen for sæsonens laveste isudbredelse. Kort og grafik er baseret på EUMETSAT's OSISAF iskoncentrations-beregninger, og det viser arealet af havområder, der har mere end 15% isdække. Grafik fra Polar Portal.*

Udbredelse af arktisk havis

Udbredelsen af den arktiske havis analyseres af både det amerikanske NSIDC og det europæiske EUMETSAT - og herigennem DMI. Begge centre anvender de samme satellitdata, men de behandler "støj" over åbent vand og langs iskanterne lidt forskelligt. Det betyder, at kurverne for udbredelsen ikke altid er helt ens. De europæiske tal er afdækket via data fra DMI-forskere, og de er bl.a. publiceret i tidsskriftet The Cryosphere.

Observationer af isens udbredelse viser, at arealet af den arktiske sommerhavis siden slutningen af 1970'erne er faldet årligt med ca. 94.000 km^2 i gennemsnit. Dette er mere end det dobbelte af Danmarks landareal.



Figur 10: *Figuren viser, hvordan den gennemsnitlige månedlige udbredelse af den arktiske havis har udviklet sig fra 1979 og til oktober 2019. Udbredelsen er beregnet på baggrund af data fra OSI SAF (OSI 450), den midlertidige klimadata registrering ICDR, OSI-430-b samt et Near-Real-Time (NRT) produkt. De månedlige rekordhøje smeltninger er røde.*