

Polarportalens Sæsonrapport 2024

Sæsonen 2023-24 var præget af markante udsving både med store snefald om vinteren og store afsmeltninger om sommeren. Samtidig er 2024 nu det 28. år i træk, hvor Grønlands indlandsis mistede mere masse i løbet af smeltesæsonen, end den fik tilført i løbet af vinteren. Og havisen nåede 13. laveste maksimum- og 6. laveste minimumsudbredelse 2024

Samlet set mistede Grønlands indlandsis 80 milliarder tons (Gt) is i løbet af de 12 måneder fra september 2023 til august 2024. Til sammenligning mistede Indlandsisen 196 milliarder tons masse i sæsonen fra september 2022 til og med august 2023. Det sidste år, hvor der er sket en nettotilvækst af is, er stadig 1996. Udsigterne for havisens maksimumsudbredelse så dystre ud, da havisens minimumsudbredelse i 2023 endte på den sjette laveste minimumsudbredelse siden man begyndte at observere havisen med satellitter i 1979. Men en hård vinter sikrede en større maksimum-udbredelse i marts 2024, end man havde kunnet forvente.

I det følgende ser vi på de væsentligste overvågningsresultater i Arktis i 2024:

- Store udsving i både afsmeltning og snefald
- Indlandsisen opnåede den 19. højeste SMB i 44 år
- Sen start på smeltesæsonen igen i 2024
- Grønlands indlandsis mister fortsat masse
- Havisen nåede 13. laveste maksimum- og 6. laveste minimumsudbredelse 2024

Store udsving i både afsmeltning og snefald

I sæsonen 2023-24 var der, ligesom året før, en kraftig afsmeltning gennem den meteorologiske sommer. Alligevel sluttede den akkumulerede overflademassebalance for "massebalanceåret" 1. september - 31. august meget tæt på gennemsnittet for perioden 1981-2010. Det skyldes at snefaldet om vinteren og i juni var over middel.

Disse udsving i både afsmeltning og snefald er præcis, hvad forskerne forventer i et klima, der bliver varmere og varmere. Det resulterede i, at Grønland igen mistede mere is, end det vandt, selvom Grønland som i tidligere år var køligere sammenlignet med Nordamerika og især Europa.

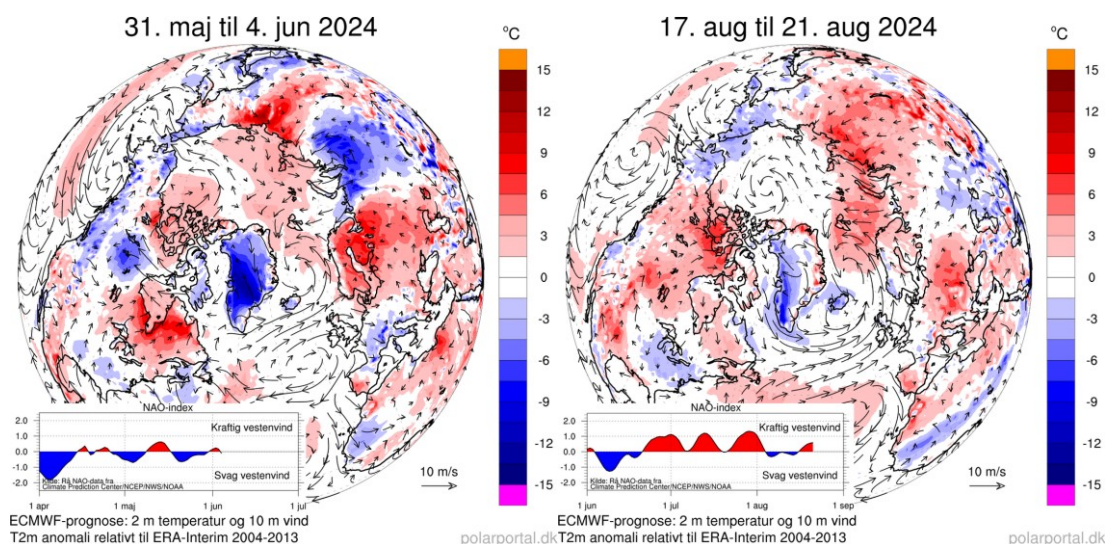
Varme over Europa og Nordamerika, køligt over Grønland

I 2023-24 oplevede sydlige Europa flere hedebølger, mens Nordeuropa (med undtagelse af det arktiske Skandinavien) havde en ret kølig og regnfuld juli efterfulgt af en varmere og mere solrig sensommer. Svalbard havde også rekord-høje temperaturer og rekordstore mængder af gletsjerkælvninger i sæsonen. Men hvorfor blev Grønland skånet?

Som i tidligere sommersæsoner skyldes de forholdsvis våde og kølige perioder over Grønlands

indlandsis såkaldte "blokerende" højtryksvejrssystemer, som har en enorm indflydelse på ekstreme vejrforhold. I et sådant system, som blokerer vestenvindsstrømningen, er jetstrømmen formet som det græske store bogstav Omega (Ω). Forskning tyder på, at denne type mønstre har været stærkere og mere vedvarende i de senere år. Når jetstrømmen buler op mod nord over Canada og Nordeuropa, opstår der lavtrykszoner ved hver "fod" af Omegaen – også over

Grønland. Svalbard blev til gengæld fanget i den modsatte del af Omegaen med høje temperaturer og varm luft, som medførte store mængder smeltning. Kontrasten mellem Grønland på den ene side og Svalbard og den østlige del af Canada på den anden side er også et almindeligt mønster, og det viser, hvordan fokus på ekstremer i én region af verden kan betyde, at man mister fokus på modsatte yderligheder i en anden region.



Figur 1: Kortene viser køligt sommervejr i Grønland (i midten af kortet) og varme over det nordlige Nordamerika og det nordlige og østlige Europa, især det nordlige Skandinavien (venstre panel) og Svalbard (højre panel). Farverne angiver temperaturer, der er varmere (rød) eller køligere (blå) end langtidsgennemsnittet for årstiden. Pile viser vindretningen i 10 meters højde. (Kilde: DMI, Polar Portal).

Indlandsisen opnåede den 19. højeste SMB i 44 år

Ændringer i den totale masse af den grønlandske indlandsis afspejler de kombinerede effekter ved overfladen, ved siderne og under iskapen. Overflademassebalancen (SMB) er defineret som forskellen mellem snefald og "runoff" fra Indlandsisen, og er under det nuværende klima altid positiv ved afslutningen af et massebalanceår. Dertil kommer den marine massebalance, som består af massetabet ved kysten som følge af kælvningen af isbjerger og smeltningen af gletsjertunger, der møder havet. Der er også et lille bidrag fra underkanten af iskapen på grund af friktion og varmestrømmen fra undergrunden.

Snefald er den eneste måde, Indlandsisen kan få masse på, og for at Indlandsisen forbliver konstant, må det opveje alle andre måder, Indlandsisen kan miste is på.

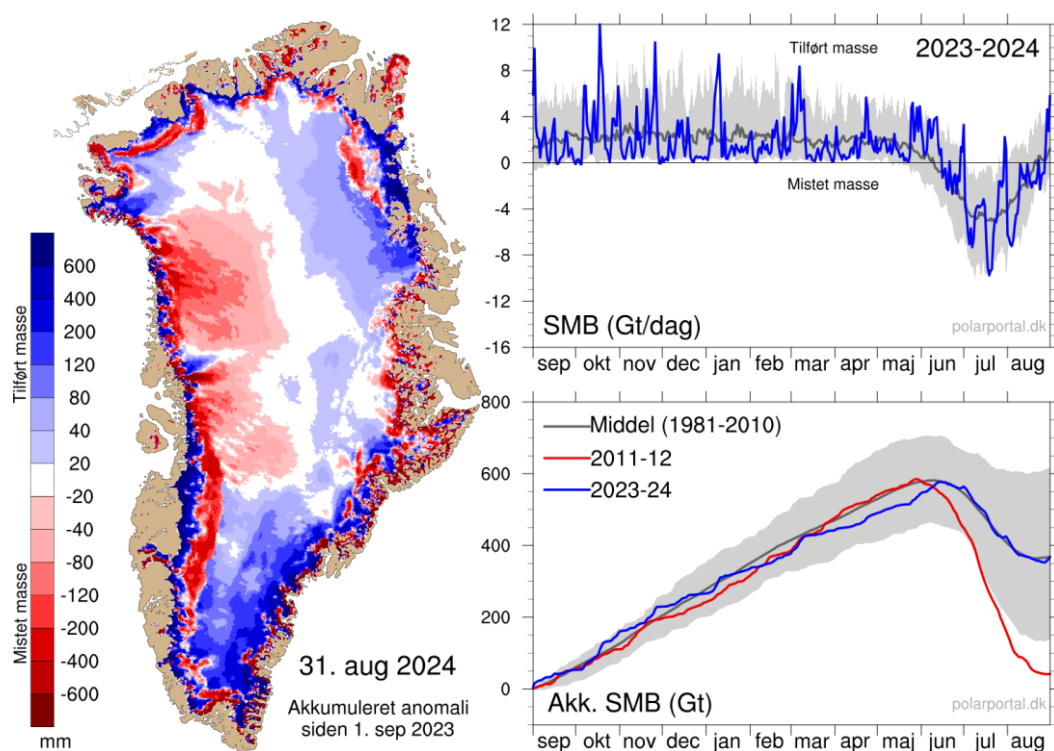
Overflademassebalancen, som er et udtryk for den isolerede tilvækst og afsmeltning af Indlandsisens overflade, overvåges både via målinger ved overfladen (PROMICE og GCNet vejrstationer fra GEUS) og computermodeller. DMI foretager daglige prognoser af, hvor meget is eller vand Indlandsisen ophober (gennem snefald) eller afgiver (gennem runoff). Ud fra disse simuleringer kan man få et samlet mål for, hvordan

overflademassebalancen udvikler sig over hele Indlandsisen (Fig. 1). Ifølge DMIs beregninger sluttede Grønlands indlandsis året 2023-24 med en nettooverflademassebalance (SMB) på omkring 367 Gt. Dette er den 19. højeste SMB i et datasæt, der går 44 år tilbage, og det er tæt på gennemsnittet for 1981-2010, som er 332 Gt. Til sammenligning var den laveste beregnede SMB på kun 38 Gt i 2012.

Ser vi på den totale massebalance, som er summen af massebalancen for overfladen, kanterne og undersiden, så mistede Grønlands indlandsis omkring 80 milliarder tons (Gt) is i perioden fra september 2023 til august 2024. Det betyder, at 2023-24 nu er 28. år i træk, hvor Grønlands indlandsis er blevet mindre. Det sidste år, hvor der er sket en nettotilvækst af is, er stadig 1996. Det seneste års SMB er illustreret i kortene og diagrammerne i Figur 2 nedenfor, baseret på

data fra Polar Portal. Den blå linje i det øverste diagram viser den daglige SMB. Store snefaldshændelser bliver synlige som "toppe". Den blå linje i det nederste diagram viser den akkumulerede SMB, opsummeret fra begyndelsen af "massebalanceåret" den 1. september 2023. Det langsigtede gennemsnit, og dets variabilitet, er vist med gråt. Til sammenligning viser den røde linje den rekordlave sæson 2011-12.

Kortet viser, hvordan den geografiske spredning af SMB-tilvækst (blå) og SMB-tab (rød) ser ud gennem året 1. september 2023 til og med 31. august 2024. Som man kan se, havde det sydlige Grønland et relativt nedbørsrigt år i forhold til langtidsgennemsnittet, men nordvest og vest tabte mere end normalt. Som altid er der en lille tilvækst af is i de højtliggende regioner, hvor det generelt er for koldt for runoff. Toppene af sne og afsmeltning er tydelige i graferne til højre.



Figur 2: Til venstre: Kortet viser den opsummerede massebalance over året 1. september 2023 til og med 31. august 2024 (i mm isafsmeltning eller -tilvækst). Blå viser en akkumulation af isen, og rød viser et istab. Til højre: Daglig (øverste diagram) og kumulativ (nedre) SMB af Grønlands indlandsis, i henholdsvis Gt (milliarder tons) pr. dag og Gt (milliarder tons) – 1 Gt is svarer til 1 kubikkilometer is. Blå linjer viser "SMB-året" 2023-24. Den grå linje viser gennemsnittet for 1981-2010 og det grå areal er afgrænset af henholdsvis de andenstørste og næstmindste værdier for hver dag af året. Til sammenligning viser den røde linje i det nederste diagram det rekordlave SMB-år 2011-12. (Kilde: DMI, Polar Portal).

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 kælder isbjerge og smelter i mødet med varmt havvand.

Sen start på smeltesæsonen igen i 2024

Den tidlige vinter begyndte med snefald over gennemsnittet ved flere lejligheder i september, oktober og november. Som i 2022-23 fulgte en temmelig tør periode i slutningen af vinteren efterfulgt af kraftige snefald i marts, april og maj, så den akkumulerede SMB var tæt på gennemsnittet, da smeltningen begyndte.

Smeltesæsonen startede forholdsvis sent i juni, og det skyldtes en række store snefald i maj og juni. Smeltesæsonens begyndelse er defineret som den første af tre dage i træk, hvor der er en smeltning over mere end 5% af Indlandsisens overflade. I år var det den 29. maj, to dage senere end medianen for perioden 1981-2021.

Det placerer dette års ablationsstart som den 16. seneste ud af 44 års data. Selve "ablations-sæsonen" startede d. 24. juni, og det er 11 dage senere end medianen for 1981-2010. Ablations-sæsonen er defineret som den første dag af tre dage i træk med en SMB under -1Gt.

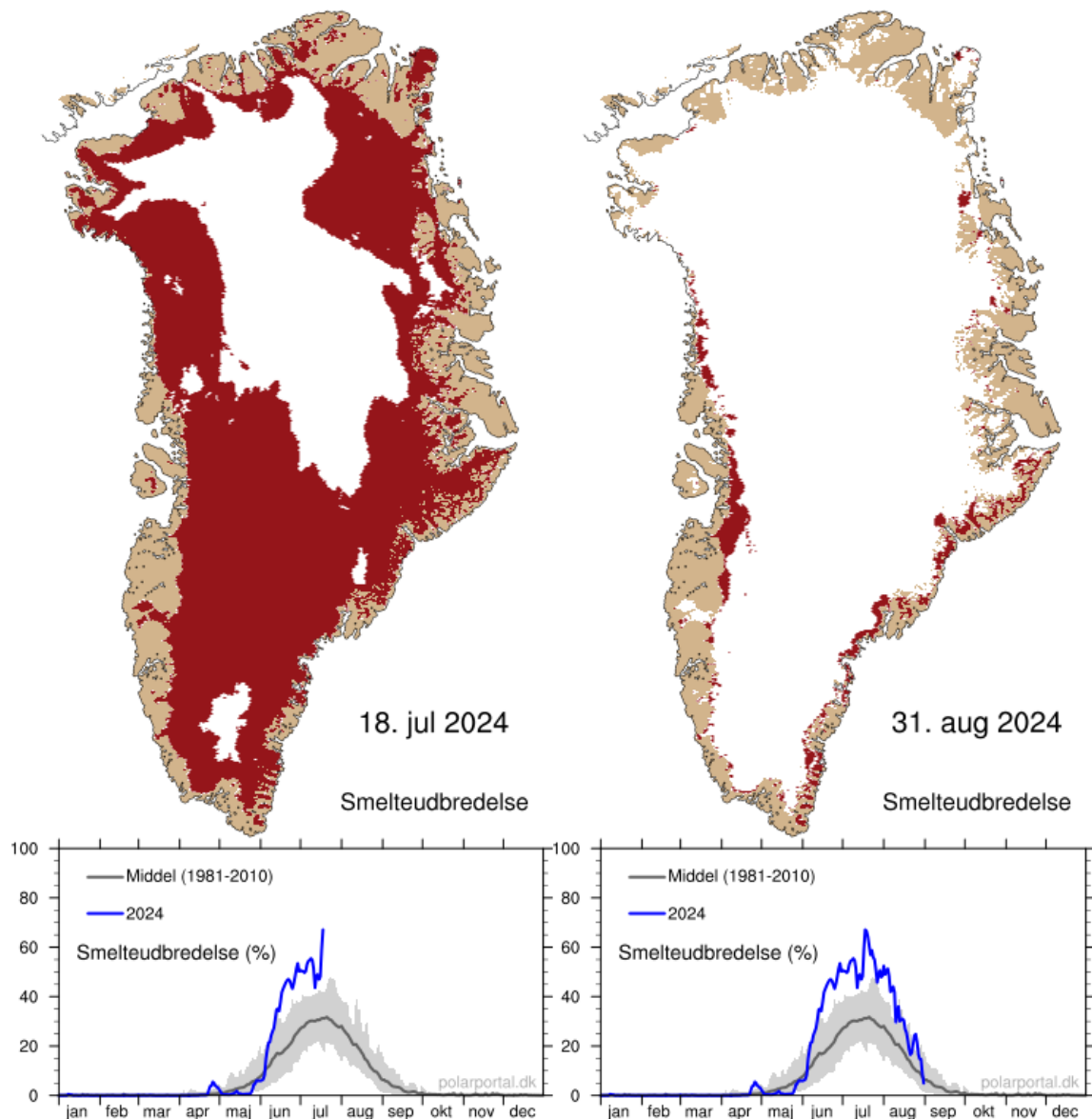
Og selv om der også kom nogle dage med stor afsmeltning over store områder af Indlandsisen, så blev yderligere afsmeltning i august forsinket, takket være nogle sene snefald i juni. Ny sne er hvidere end gammel sne (den har en højere albedo) og fungerede derfor som et "beskyttende tæppe" mod smeltning.

Definitioner af starten på smeltesæsonen

På Polarportalen arbejder vi med to forskellige definitioner af starten på smeltesæsonen:

Smeltesæsonens begyndelse: Den første dag ud af mindst tre dage i træk hvor mere end 5% af isens overflade oplever smeltning på mere end 1 mm/dag.

Ablationssæsonens begyndelse: Den første dag ud af mindst tre dage i træk, hvor Indlandsisen mister mere end et gigaton (Gt) dagligt fra overfladen.

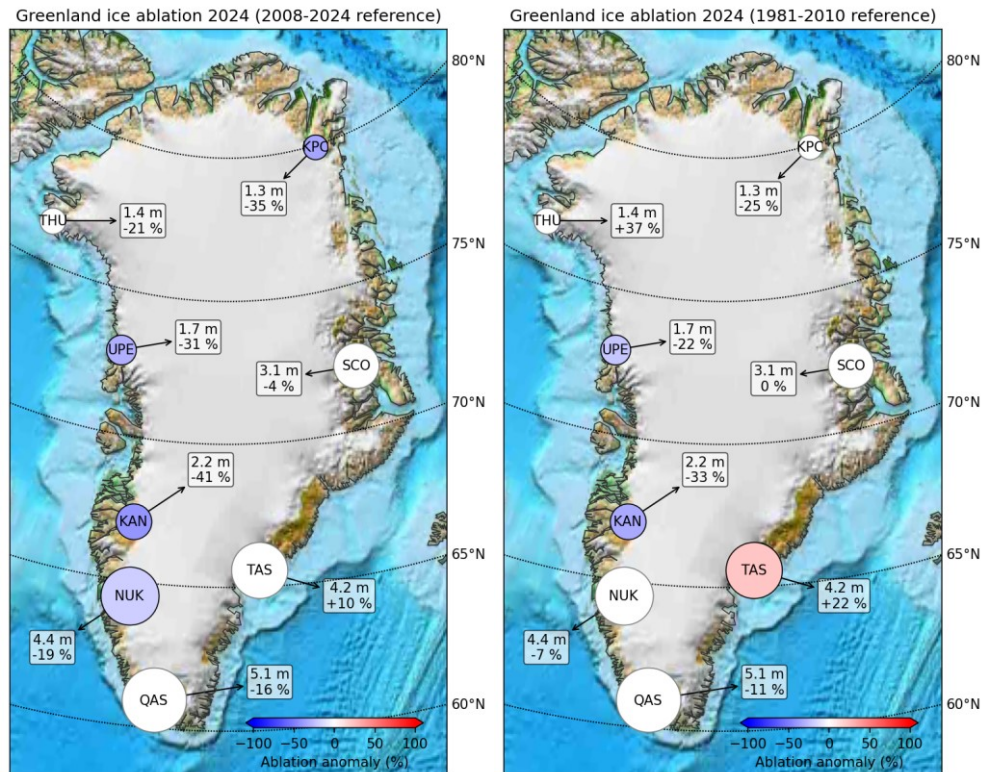


Figur 3: Det venstre kort viser området med isafsmeltning den 18. juli, dagen med maksimal smelteudstrækning (67%) af denne sommer (rødt). Kortet til højre viser situationen ved sæsonafslutningen den 31. august, da Indlandsisen som sædvanligt var godt tilbage i sit vintermønster. Kilde: DMI Polar Portal.

Smelteområdet var et godt stykke over gennemsnittet for perioden 1981-2010 i det meste af juni, juli og august, dog tilbage til mere normale værdier på grund af snefald i august.

Ablation (issmeltning) i løbet af smeltesæsonen 2024 blev registreret på tværs af otte vejrstationer vedligeholdt af Programmet for Overvågning af Grønlands Indlandsis (PROMICE). Der var bemærkelsesværdige regionale variationer: Tasiilaq i det sydøstlige Grønland oplevede 4,3 meter

netto ablation, hvilket er 22% over gennemsnittet for 1981-2010. Til gengæld oplevede Kangerlussuaq i det centrale vestlige Grønland 2,2 meter netto ablation, som er 33% under gennemsnittet for 1981-2010. Samlet set var ismeltningen for 2024 lavere end gennemsnittet, primært fordi snemængderne i juli og august var højere end normalt, og fordi vejret langs vestkysten var køligere.



Figur 4: Kortene viser netto-afsmeltningsafvigelse (anomalierne) for 2024 ved de laveliggende PROMICE vejrstationer set i forhold til perioderne 2008-2024 (venstre) og 1981-2010 (højre). (Kilde: Van As et al. (2016), opdateret).

Grønlands indlandsis mister fortsat masse

Det samlede billede af Indlandsisen

Data om Indlandsisens totalmassebalance gør det muligt at overvåge hele indlandsisens "regnskab" for tilvækst og tab, og tallene viser, at året 2023-2024 igen havde et højt tab af is i form af kælvning og havsmeltning, dog mindre end de sidste 5 år.

Grønlands indlandsis mistede 80 Gt is, og det gør 2023 til det 28. år i træk, hvor indlandsisen mistede mere is, end den vandt baseret på data af de tre modeller fra Mankoff et al.)

Den grønlandske indlandsis kan kun tilføres mere is ved at have en positiv overflademassebalance (SMB). Det sker, når der falder mere sne, end der smelter. Men Indlandsisen mister også is via andre processer, som primært sker via "kælvning" af gletsjere og ved smeltning af gletsjernes udløbs-tunger, dér hvor de møder havet. Kombination af disse tab med SMB giver

den "total massebalance", TMB, for året. I gennemsnit over en længere periode skulle den helst være nul, det vil sige, at der hverken vindes eller tabes is, men det er ikke tilfældet.

Der er to tilgange til at måle Indlandsisens totalmassebalancen: Modellering af kælvning og undersøisk smeltning (beskrevet i artiklen af Mankoff et al., 2021) samt måling af isens masse via måling af Jordens tyngde (GRACE). De to metoder er fuldstændig uafhængige af hinanden. Men de har en fælles periode, nemlig fra 1. april 2002 til 15. maj 2024. Og de kommer frem til forholdsvis samstemmende værdier for tab af Indlandsisen – henholdsvis 4.756 Gt (Mankoff et al.) og 4.911 Gt (GRACE).

Måling og modellering af kælvning samt undersøisk smeltning

Ved hjælp af satellitter kan man måle den hastighed, hvormed isen strømmer gennem kontrolpunkter langs kanterne af iskappen, hvor

man kender isens tykkelse og form. Ved at kombinere disse data om, hvor tyk isen er, kan man estimere mængden af is, der går tabt ved processen med kælning og undersøisk smeltning.

GRACE-satellitterne måler Jordens tyngdefelt

Ved hjælp af data fra GRACE-satellitterne kan man vurdere, hvor meget is Grønland samlet set taber uafhængigt af beregningerne af kælning og undersøisk smeltning. GRACE-satellitterne er tvillinge-satellitter (derfor kaldes de også "Tom and Jerry") adskilt af en afstand på omkring 220 km. Denne afstand afhænger af tyngdekraften og kan måles meget præcist. Tyngdekraftsændringer er desuden relateret til masseændringer, som fx kan ske på grund af tab af is. På den måde kan data fra GRACE satellitterne benyttes til beregning af Indlandsisens massetab.

Behandlingen af data fra GRACE-satellitterne er kompliceret, og derfor kan de først gøres tilgængelige med et par måneders forsinkelse.

Ifølge målingerne fra GRACE og dens efterfølger GRACE-FO har den grønlandske indlandsis haft et samlet tab af is på omkring 4.911 Gt i perioden fra 1. april 2002 til den 15. maj 2024. Det svarer til en stigning i havniveauet på omkring

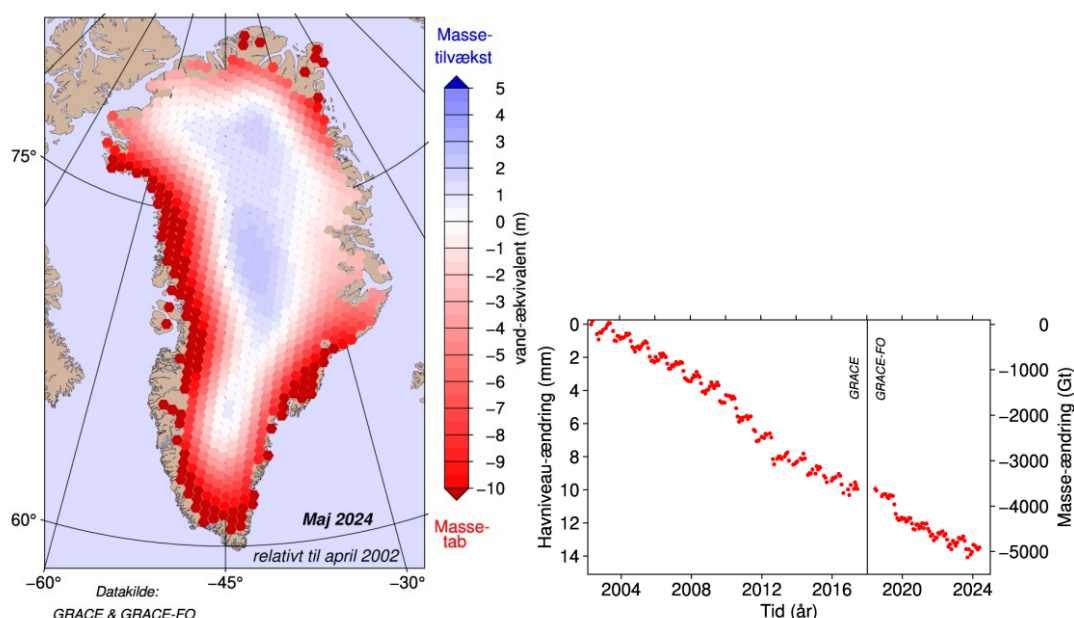
14 mm. Det er nok til at dække hele USA med en omkring halv meter vand.

DMLs seneste estimat viser, at Grønlands indlandsis kan komme til at bidrage med mindst 274 mm til det globale havniveau i fremtiden, uanset hvordan klimaet ændrer sig i fremtiden.

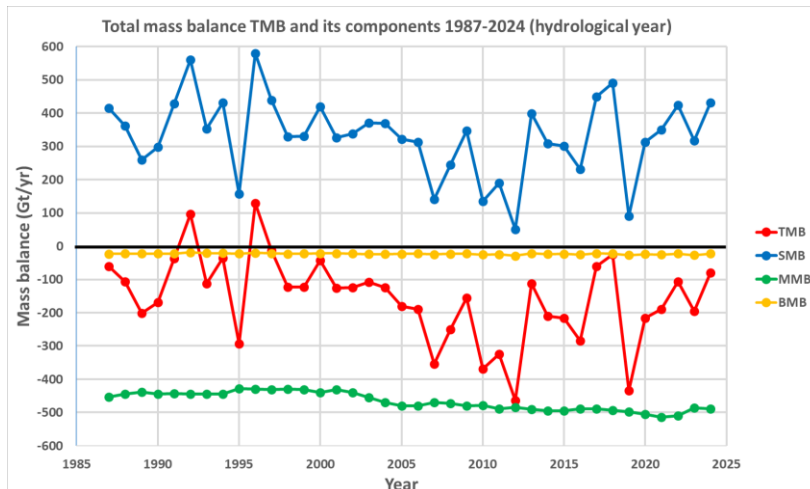
Kortet og grafen i figur 5 viser stigningen (blå) og tabet (rød) i ismassen. Forskellen i disse masseændringer over et glaciologisk år (september-august) er indlandsisens totalmassebalance (TMB) for det pågældende år.

Kortet viser også, at det meste af istabet sker langs kanten af Indlandsis, og især langs vestkysten, hvor uafhængige observationer også tyder på, at isen bliver tyndere. Højt oppe i det centrale Grønland er der en lille stigning i ismassen, da der normalt er lidt eller ingen snesmeltning i denne region.

Grafen illustrerer udviklingen i masseændringer måned for måned målt i gigatons i forhold til april 2002. Den venstre akse på grafen viser, hvordan dette ismassetab udmønter sig i et bidrag til en havniveau stigning, hvor 100 Gt svarer til 0,28 mm af global havniveau stigning.



Figur 5: Grafen viser udviklingen måned for måned i ændringerne i Indlandsisens totalmasse målt i Gt baseret på data fra GRACE og GRACE-FO missionerne. (1 Gt er 1 mia. ton eller 1 km³ vand. 100 Gt svarer til en global havniveau stigning på 0,28 mm). GRACE blev opsendt i marts 2002, og missionen sluttede i oktober 2017. GRACE-FO blev opsendt i maj 2018, og derfor er der en periode uden data mellem de to missioner. De seneste data er fra maj 2024 (Kilde: Polarportal).



Figur 6: Graferne giver et overblik over den samlede smeltning fra den Grønlandske indlandsis fra 1987 til 2024.

Totalmassebalance (rød), overflademassebalance (blå), marin massebalance (grøn), basalmassebalance (gul). Basalmassebalancen referer til processer i bunden af indlandsisen. Der, hvor isen glider, smelter den ofte også på grund af den varme, der genereres af friktion og af varmen fra jordens kerne (den geotermiske varme). Værdierne er i Gt pr år, og de er baseret på opdateringer til Man-koff et al. (2021). For 2023-24 endte TMB med et tab på 80 Gt is. (Kilde: Martin Stendel, DMI)

Havisen nåede 13. laveste maksimum- og 6. laveste minimumsudbredelse 2024

Udbredelsen af havis er en meget vigtig indikator for klimaets tilstand i de polære egne. Når havisen forsvinder i et område, opstår der større områder med mørke havoverflader, som absorberer mere energi fra Solens stråling. Og det sætter gang i en ond cirkel, som får opvarmningen i Arktis til at accelerere. Denne sammenhæng mellem isudbredelse og temperatur kaldes is-albedo-feedback.

Havisens udbredelse varierer fra år til år og afhænger af strømforhold, luft- og havtemperaturer samt storme, der kan bryde isen op. I foråret har især havisen langs Grønlands østkyst været udbredt, og endnu længere mod øst – i området over mod Svalbard – har lavere temperaturer end normalt også givet gode forhold for havisen.

Den 13. laveste maksimumudbredelse

Den 13. marts 2024 nåede isen i Arktis den årlige maksimumudbredelse, der endte som den 13. laveste siden målingerne begyndte i 1979. Det er altså uden for de 10 laveste udbredelser.

Udsigterne tidligere på smeltesæsonen så ellers dystre ud. Havisminimum i september 2023, var nemlig den sjette laveste minimumudbredelse siden 1979. Men en hård vinter med gode forhold for havisen hjalp udbredelsen godt på vej mod en relativ stor maksimumudbredelse i marts i forhold til niveauet de seneste 20 år.

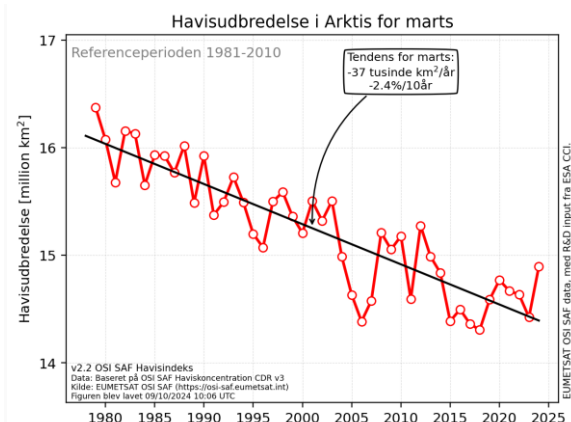
Gennemsnittet for havisudbredelse i Arktis for hele marts endte som den 15. laveste udbredelse siden 1979. Det er desuden den største maksimumudbredelse siden 2013.

Sjette laveste minimum

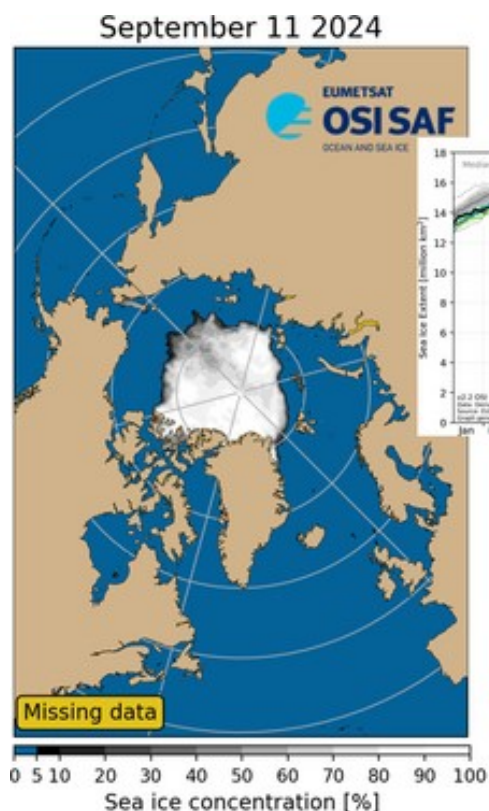
Efter havismaksimum smeltede isen relativt hurtigt. Den 11. september endte med en udbredelse på 4,6 millioner km², og det giver den en placering som den sjette laveste siden 1979. Det er i den lave ende, men dog en nogenlunde forventet udbredelse, når man ser i forhold til den nye normal efter rekordåret 2007.

Det tilsvarende månedlige gennemsnitsminimum for september 2024 blev det femte laveste, siden man begyndte at lave satellitbaserede målingerne i 1979.

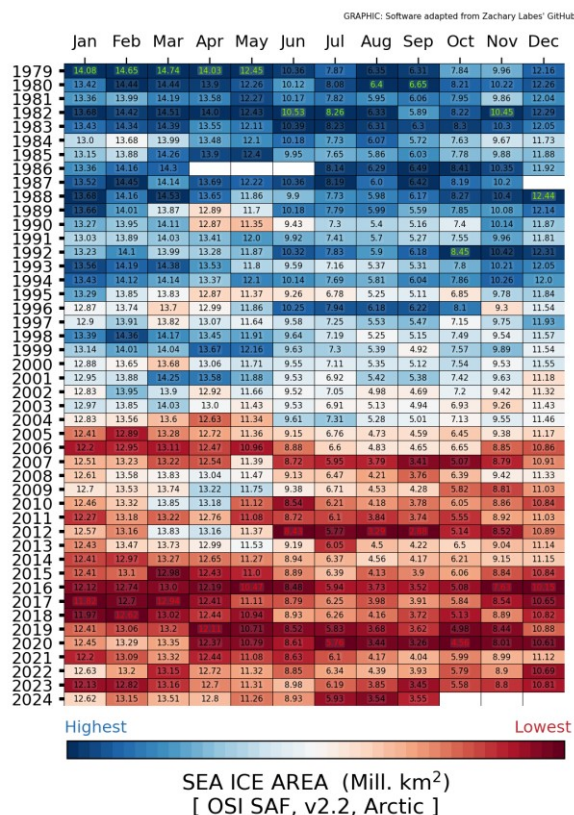
Alt i alt tyder årets minimum- og maksimum-isudbredelser på en relativt stabil situation i Arktis i 2024. Men en ekstrem varme i Arktis i oktober gjorde, at genopfrysningen af havisen havde svære kår. Det gælder især i den europæiske sektor af Arktis, i områderne omkring Svalbard, Barents- og Karahavet, hvor havisen sidst på året var trukket ekstremt langt mod nord. Varmen – og den meget nordlige iskant i området – skyldtes et langvarigt lavtryks-system i Nordatlanten fra Island til Svalbard, som dels trak varm luft til Arktis og dels skubbede isen mod nord.



Figur 7: Over de seneste 45 år er havisens maksimumsudbredelse i Arktis svundet ind med ca. 38.000 km²/år i forhold til gennemsnittet i perioden 1981-2010. (Kilde: EUMETSAT's OSISAF).



FIGUR 8: DMI's kurve af havisudbredelse den 11. september 2024, som var datoen for sæsonens laveste isudbredelse. Kort og grafik er baseret på EUMETSAT's OSISAF iskoncentrationsberegninger, og det viser arealet af havområder, der har mere end 15% isdække. (Kilde: Polar Portal).



Figur 9: Figuren viser ranglisten over lave isudbredelser i Arktis måned for måned og år siden 1979. Tallene i kassen viser isudbredelsen ranglistet fra bunden (ocean.dmi.dk). 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. (Kilde: http://ocean.dmi.dk/arctic/sie_monthmean.php).

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 km² i gennemsnit. Dette er mere end det dobbelte af Danmarks landareal.