

Polarportalens Sæsonrapport 2021

Året 2021 er 25. år i træk, hvor Grønlands indlandsis har mistet mere masse i løbet af smeltesæsonen, end den har fået tilført i løbet af vinteren. Forsommeren var kølig og våd med usædvanligt stort og sent snefald i juni. Det forsinkede starten på smeltesæson. Til gengæld medførte en hedebølge i slutningen af juli et stort istab.

I sæsonen 2020-2021 endte den grønlandske indlandsis med en nettooverflademassebalance på omkring 396 mia. tons (Gt). Ifølge DMI's beregninger placerer det sæsonen på den 28. laveste plads ud af en 41-årig tidsserie. Set med nutidens øjne kan det betragtes som et ret gennemsnitligt år. Men det er tankevækkende, hvordan vores perspektiv ændrer sig i takt med klimaændringerne. For i slutningen af 90'erne ville det samme tal have været set som et meget lavt år i den daværende klimasamtid.

Året 2021 var bemærkelsesværdigt af flere grunde. Det var nemlig året, hvor man for første gang registrerede nedbør i form af regn på station Summit, som ligger "på toppen" af Indlandsisen i en højde af 3.200 meter over havets overflade. Desuden skete der i 2021 en acceleration af istabet ved gletsjeren Sermeq Kujalleq – også kendt som Jakobshavn Isbræ eller Ilulissat-gletsjeren – som ellers har været stagneret i flere år.

Ser vi på den totale massebalance, som er summen af overfladesmeltning og kælvning af isbjerge samt smeltning af gletsjertunger i kon-

takt med havvand, så mistede Grønlands indlandsis omkring 166 mia. tons is i løbet af den 12 måneders periode, der sluttede i august 2021. Det betyder, at 2021 er 25. år i træk, hvor Grønlands indlandsis er blevet mindre.

Vintersnefaldet i 2020-2021 var tæt på gennemsnittet i perioden 1981-2010, hvilket var godt nyt for indlandsisen. For en kombination af et lavt vintersnefald og en varm sommer kan føre til meget store istab, som det skete i 2019.

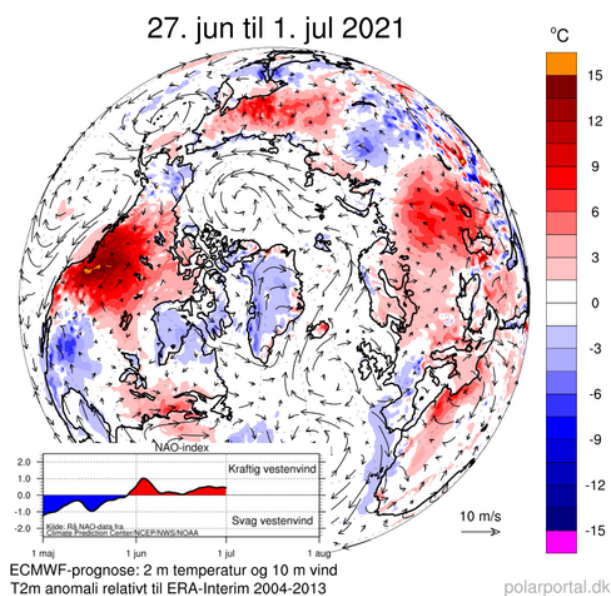
Årsagen til den kolde og våde forsommer over den grønlandske indlandsis skal i øvrigt findes ret langt væk, over det sydvestlige Canada og det nordvestlige USA. Over den vestlige del af Canada og USA dannedes et enormt "blokerende" højtrykssystem. Formet som det store græske bogstav Omega (Ω) forekommer dette strømningsmønster faktisk regelmæssigt i troposfæren, ikke bare over Nordamerika, men denne blokering er aldrig før blevet observeret med en sådan styrke. En undersøgelse af World Weather Attribution viser, at sådan et cirkulationsmønster kun kan forklares som et resultat af menneskeskabt opvarmning.

I det følgende ser vi på de væsentligste overvågningsresultater i Arktis i 2021:

- Usædvanligt vejr i den arktiske sommer 2021
- Tæt på gennemsnitlig afsmeltning af Indlandsisens overflade i 2021
- Ekstreme smelteperioder på trods af gennemsnitlige temperaturer
- Det samlede tab – den totale massebalance
- Mindre tilvækst i årene 2018-2021
- Havisen nåede sin anden laveste værdi i juli 2021

Usædvanligt vejr i den arktiske sommer 2021

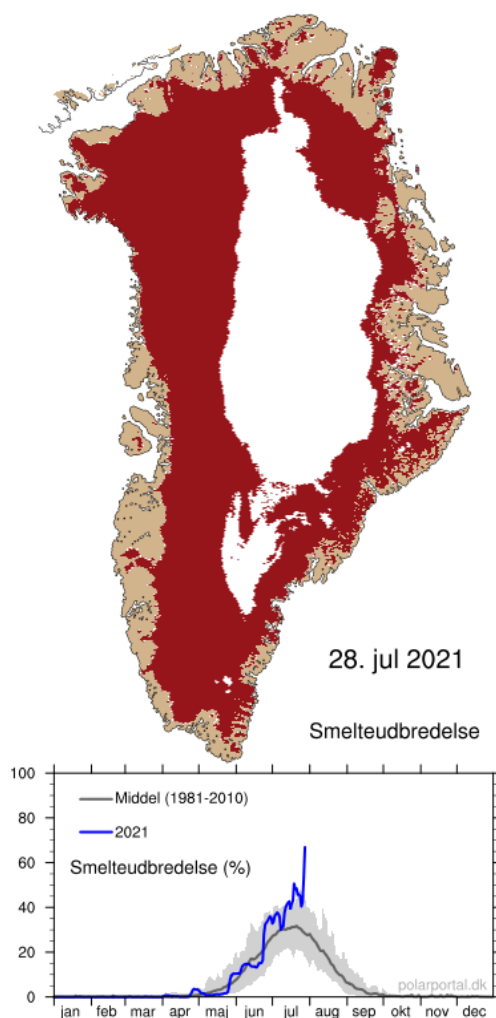
Det arktiske vejr var i sommeren 2021 ud over det sædvanlige. På trods af den kølige forsommer kom der i slutningen af juli en periode med meget høje temperaturer, da smeltesæsonen gik i gang. Det medførte en intens afsmeltning rundt om indlandsisen. Og det førte til meget store istab i løbet af blot et par dage.



Figur 1: Kortet viser køligt, vådt sommervejr i Grønland (i midten af kortet) og den ekstreme varme over Nordamerika. Farvelægningen angiver temperaturer, der er varmere (rød) eller køligere (blå) end langtids-gennemsnittet for årstiden. Pilene viser cirkulationsmønstrene i atmosfæren. (Kredit: Polar Portal).

Kortet i Figur 2 viser området for isafsmeltning den 28. juli (rød skravering), og skemaet nedenfor bekræfter, at der var smeltning over mere end 60 % af indlandsisens overflade den dag.

Det østgrønlandske lufthavnssamfund Nerlerit tæt på Ittoqqortoormiit (tidligere kendt som "Scoresbysund") – registrerede en ny rekordhøj temperatur på 23,4°C på dette tidspunkt.



Figur 2: Øverst: Kort over de områder af Grønland, hvor der sker overfladeafsmeltning den 28. juli 2021 (rød). Nederst: Graf, der viser procentdelen af indlandsisen, hvor overfladen smelter hver dag i 2021 (blå linje, der slutter den 28. juli). Den grå linje viser gennemsnittet for 1981-2010. (Kredit: Polar Portal).

Regn var også et vedvarende tema i sommer-sæsonen 2020-2021. I Qaqortoq i det sydlige Grønland blev der sat en ny rekord i daglig nedbør på 145 mm ved sommersonhverv, mens der også var oversvømmelser i byen Qaanaaq i det nordvestlige Grønland.

Den anden usædvanlige hændelse skete d. 14. august 2021, hvor det regnede på Grønlands højst beliggende målestation, bogstaveligt talt på toppen af Grønland. Målestationen ligger meget afsides 3.216 meter over havets overflade med en årlig gennemsnitstemperatur på -30°C . Regn er et udtryk for temperaturer tæt på eller over frysepunktet, og smeltning i denne højde sker meget sjældent. Det er således første gang siden observationerne begyndte i 2008, at medarbejderne på stationen observerede regn.

Optegnelserne fra Summit Station går kun tilbage til 1990'erne, så vi kan ikke sige meget om regnvejr på Summit. Men ser vi på data fra

GISP2-iskernen, som er boret op her, kan man identificere tynde islag, som viser, at der må have været tøvejr, og at der muligvis faldt regn, da smeltevand og/eller regn kunne genfryse i sneen. Og da sommer- og vintersne ser forskellig ud i en sådan kerne, kan man tælle årene og derfor finde ud af, hvilket år smeltningen fandt sted.

I løbet af de seneste 2.000 år er smeltelag kun set ni gange (Alley et al. 1995): I årene 2021, 2019, 2012 blev der også observeret smeltelag direkte af stationspersonalet. Går vi længere tilbage i tiden, finder vi yderlige islag i de seneste 2000 år - i 1889, 1094, 992, 758, 753 og 244. Vi kan desværre ikke gå længere tilbage i tiden, fordi is og sne er mere presset sammen, jo dybere vi går, og i en dybde mellem 400 og 500 m kan man ikke længere se individuelle islag. Smeltning og/eller regn er altså en meget sjælden hændelse på Summit. Den højest observerede temperatur på toppen af Grønland var i øvrigt $2,2^{\circ}\text{C}$ den 13. juli 2012.

Tæt på gennemsnitlig afsmeltning af Indlandsisens overflade i 2021

I 2021 blev starten på smeltesæsonen forsinket af et rekordstort snefald i begyndelsen af juni. Og da ny sne er lys hvid og reflekterer sollys bedre end den gamle mørke gletsjeris nederunder, var smeltningen lav i starten af smeltesæsonen. Det var også ret køligt og vådt i juni og begyndelsen af juli.

Ændringer i den totale masse af den grønlandske indlandsis afspejler de kombinerede effekter af på den ene side overflademassebalancen (SMB), der er defineret som forskellen mellem snefald og afstrømning fra indlandsisen, og som altid er positiv ved afslutningen af et år, og på den anden side massetabet ved kysten som følge af kælningen af isbjerge og smeltningen af gletsjertunger, der møder havet.

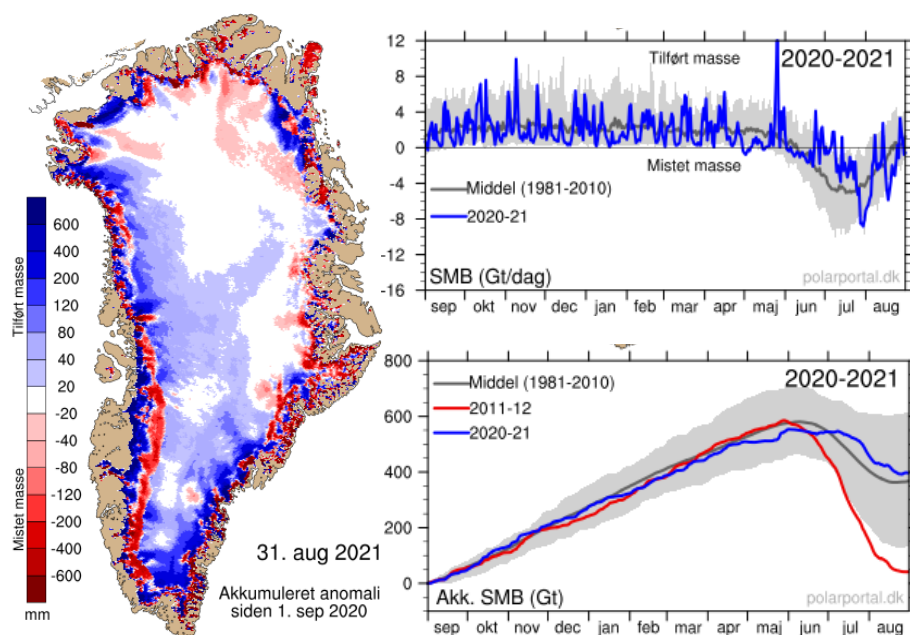
Overflademassebalancen, som er et udtryk for den isolerede tilvækst og afsmeltning af Ind-

landsisens overflade, overvåges både via egentlige målinger (PROMICE stationer fra GEUS) og computersimuleringer. DMI foretager daglige simuleringer 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. 2).

Ifølge DMI's beregninger endte overflademassebalancens nettoresultatet for den grønlandske indlandsis i 2021 med 396 mia. tons (Gt). Det er ikke langt fra gennemsnittet for 1981-2020, som er 341 Gt. Resultatet er, at perioden september 2020 til august 2021 rangerer som 28. lavest ud af en 41-årig tidsserie. I det nuværende klima kan dette betragtes som et ret gennemsnitligt år. I slutningen af 90'erne ville det samme resultat have været set som et me-

get lavt år. Til sammenligning var den laveste beregnede SMB på kun 38 Gt i 2012.

Kortet i Figur 3 viser, hvordan den geografiske spredning af SMB-tilvækst (blå) og SMB-tab (rød) for 2020-2021 sammenlignes med det langsigtede gennemsnit (grå).



Figur 3: Til venstre: Kortet viser forskellen mellem den årlige SMB i perioderne 2010-2021 og 1981-2010 (i mm isafsmeltning). Blå viser en større akkumulation af is end gennemsnittet, og rød viser større istab end gennemsnittet. Til højre: Daglig (øverste diagram) og kumulativ (neder) SMB af Grønlands indlandsis, i henholdsvis Gt (milliarder tons) pr. dag og Gt (milliarder tons). Blå linjer viser 2020-2021 SMB-år. De grå linjer viser gennemsnittet for 1981-2010. Og den røde linje i det nederste diagram viser det rekordlave SMB-år 2011-2012. (Kredit: 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 Indlandsis 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. Siden 1990-erne har overflademassebalancen generelt været faldende.

Ekstreme smelteperioder på trods af gennemsnitlige temperaturer

De automatiserede målestationer under PROMICE projektet målte temperaturer i juni og juli 2021, som var inden for ± 1 standard afvigelse. I slutningen af juli og august var der dog tre hændelser med ekstrem afsmeltning.

Den første skete d. 19. juli. Her blev der observeret afsmeltning over et areal på 702.000 km² af Indlandsisens overflade. Det svarer til 43 % af Indlandsisens samlede overflade. Den anden ekstreme hændelse opstod d. 28. juli, hvor der

blev observeret smeltning på 54 % af Indlandsisens overflade. Og den tredje hændelse opstod d. 14. august med en smelteareal på 53 % af Indlandsisen. Denne sidste smelteperiode var samtidig den, hvor der blev registreret smeltning højst oppe på Indlandsisen, nemlig ved National Science Foundation's (NSF) Summit Station, i en højde af 3216 meter.

Ved alle vejrstationer langs kanten af Indlandsisen blev der målt temperaturer over gennemsnittet under alle de tre nævnte ekstreme smeltehændelser.

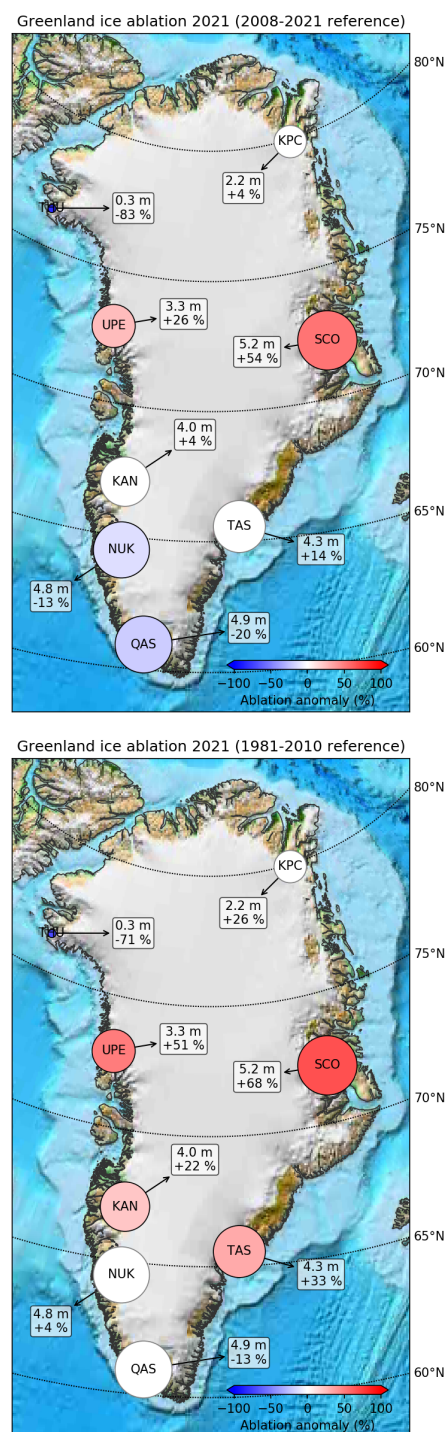
På Polarportalen arbejder vi med to forskellige definitioner af starten på smeltesæsonen:

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 dagligt fra overfladen.

Gennem hele ablationssæsonen har PROMICE målestationerne langs Indlandsisens kant registreret smeltning, som var signifikant over gennemsnittet langs de centrale vestlige og østlige kyster.

Smeltesæsonen 2020-2021 på Indlandsisen startede den 27. maj. Ablationssæsonen startede d. 17. juni, og det er 4 dage senere end gennemsnittet for 1981-2020.



Figur 4: Kortene viser netto-afsmeltningsafvigelse (anomalierne) for 2021 ved de laveliggende PROMICE vejrstationer set i forhold til perioderne 2008-2021 (øverst) og 1981-2010 (nederst). (Kredit: Van As et al. (2016), opdateret).

Det samlede tab – den totale massebalance

Den grønlandske indlandsis kan kun vinde mere is ved at have en såkaldt "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 en "total massebalance" 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.

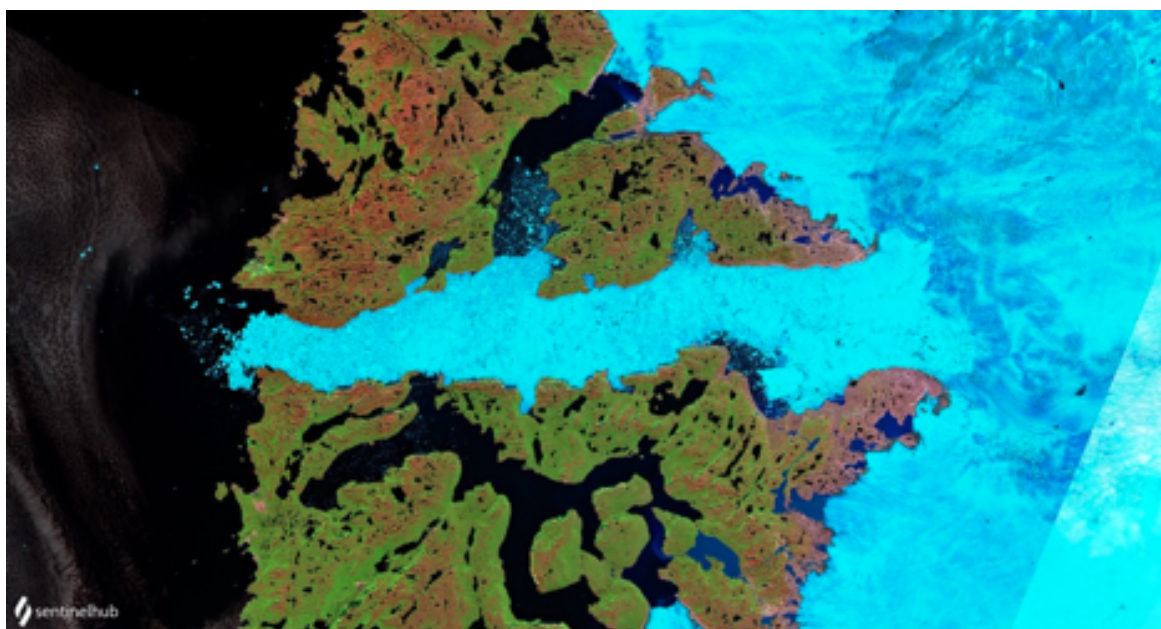
Ved hjælp af satellitter kan vi måle den hastighed, hvormed isen strømmer gennem kontrolpunkter langs kanterne af iskapen, hvor vi kender isens tykkelse og form. Ved at kombinere disse data om, hvor tyk isen er, kan vi estimere mængden af is, der går tabt ved processen med kælving og undersøisk smeltning.

Disse data gør det muligt at overvåge hele indlandsisens "regnskab", og tallene viser, at året 2020-2021 havde det højeste tab af is i form af

kælving og havsmeltning siden 1986, hvor satellitregistreringerne begyndte.

Dertil kommer, at den hurtigste gletsjer i verden, Sermeq Kujalleq (også kendt som Jakobs-havn Isbræ eller Illulissat-gletsjeren,) i 2020-2021 er accelereret igen efter et par forholdsvis "stille" år.

Samtidig producerede gletsjeren en stor mængde isbjerge, og det er beregnet, at den mistede omkring 45 Gt is i 2021. Det er altså mere end 10 % af tallet for den årlige overflademasse. Dette har stor indflydelse på årets samlede is-regnskab.



Figur 5: Billede af gletsjeren Sermeq Kujalleq fra d. 22. august 2021 er taget af ESA Sentinel-2-satellit. Gletsjeren accelererede og kælvende betydeligt i 2020-2021 og mistede omkring 45 Gt is. (Kredit: ESA/Sentinel-2)

Selvom Grønland altså ikke oplevede et rekordstort istab inklusive kælving i sæsonen 2020-2021, så var det alligevel 25. år i træk, hvor indlandsisen mistede mere is, end den vandt.

Den samlede massebalance for 2020-2021 viser et tab på omkring 166 Gt is fra Grønland. Det er tæt på det gennemsnitlige årlige istab for perioden 1987-2021. Ud fra disse tal kan det bereg-

nes, at Grønlands indlandsis fra 1. september 1986 til 31. august 2021 har mistet cirka 5.500 Gt is. Det svarer til et bidrag på 1,5 cm af den globale gennemsnitlige havstigning af cirka 12 cm – vel at mærke kun på grund af massetab fra Grønlands indlandsis. For perioden 1. september 2002 til 31. august 2021, som er dækket af GRACE-data (se nedenfor) er tabet 4352 Gt svarende til 1,2 cm havniveaustigning.

Mindre tilvækst i årene 2018-2021

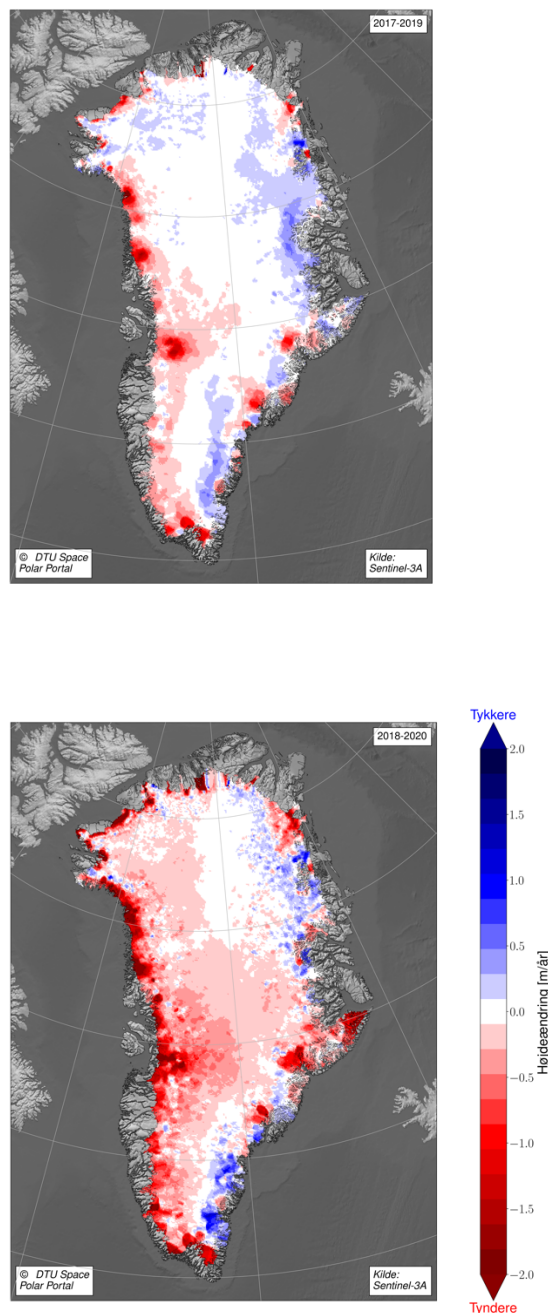
GRACE-satellitterne og deres efterfølgere GRACE-FO måler små ændringer i Jordens tyngdefelt, som er resultatet af ændringer i massen af is. Ud fra dette kan man bestemme masseændringer af Indlandsisen.

Ifølge målingerne fra GRACE og GRACE-FO har den grønlandske indlandsis totalt haft et tab af is på omkring 4470 Gt i perioden fra april 2002 til juni 2021, svarende til en stigning i havniveauet på 1,2 cm. Det passer godt til massebalancedata, som beskrevet ovenfor. Husk at disse metoder er uafhængige af hinanden.

Kortene i Figur 6 viser, hvordan Indlandsisen over tid bliver henholdsvis tyndere eller tykkere i perioden januar 2017 til december 2020.

Det øverste kort viser den tre-årige periode fra januar 2017 til december 2019, og det nederste kort viser, hvordan den har ændret sig i den efterfølgende periode fra januar 2018 til december 2020. Data stammer fra Sentinel-3A satellitten, som er en såkaldt radar-altimeter mission. Satellitten udsender et radarsignal, som reflekteres på Jordens overflade og kastes tilbage til satellitten.

Selv inde på midten af iskapen er den blevet tyndere, og det har ikke været tilfældet før, hvor den store udtynding primært var knyttet til de store udløbsgletsjere. Billedet bekræfter et relativt lille massetab af indlandsisen fra 2017-18, efterfulgt af en stor afsmeltning i 2019 og 2020. Det ses også, hvordan store snefald i Sydøstgrønland er med til bremse afsmeltningen. Dette område er et af de eneste steder, hvor vi ser, at isen er blevet tykkere på kortet fra 2018-2020.



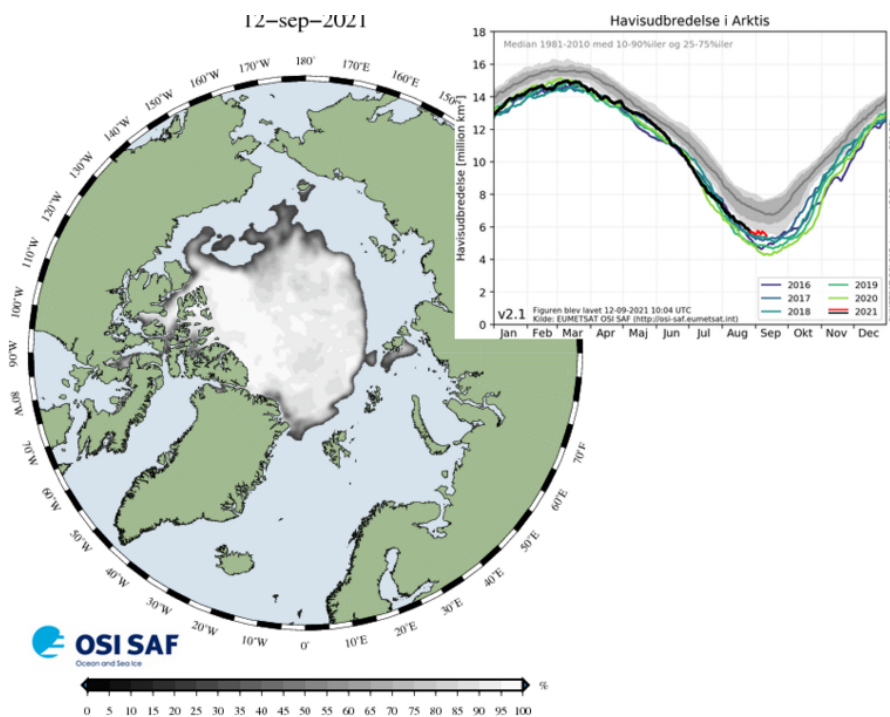
Figur 6: Kortene viser bearbejdning af data fra Sentinel-3A satellitten. De røde områder indikerer områder, hvor isen er blevet tyndere, mens de blå områder indikerer, hvor den er blevet tykkere. Billedet bekræfter et relativt lille massetab af indlandsisen fra 2017-2018, efterfulgt af en stor afsmeltning i 2020. Det ses også, hvordan store snefald i Sydøstgrønland er med til bremse afsmeltningen. Dette område er et af de eneste steder, hvor vi ser, at isen er blevet tykkere på kortet fra 2018-2020. (Kredit: DTU Space. Datakilde: ESA/Sentinel-3A).

Havisen nåede sin anden laveste værdi i juli 2021

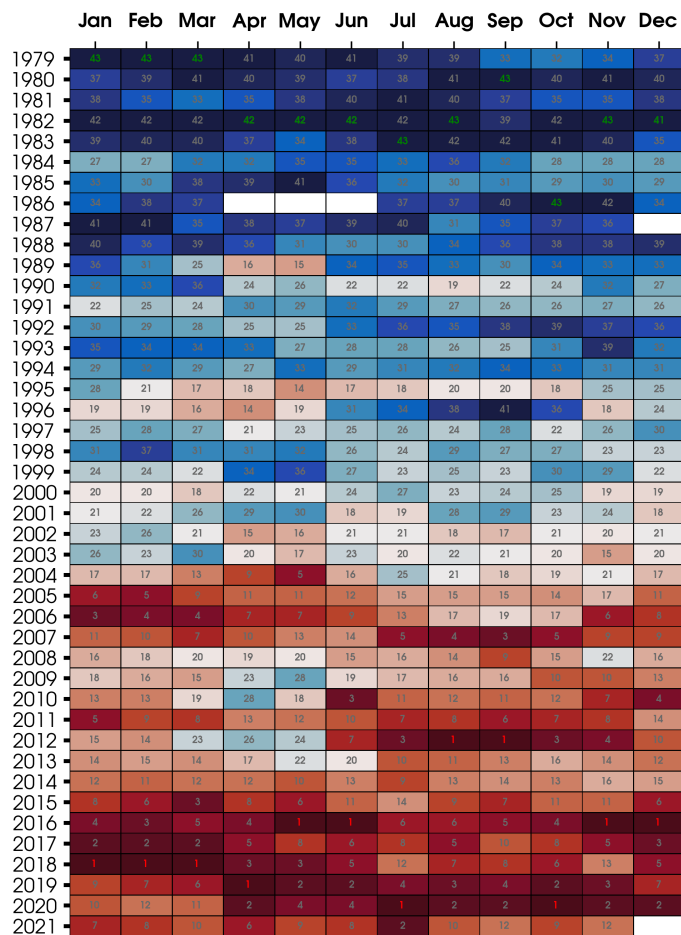
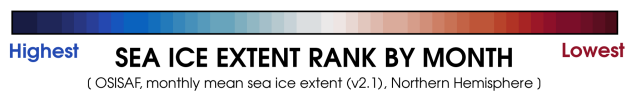
I juli 2021 blev der målt den andenlaveste værdi siden 1979. Men i august og september var smeltningen ikke så kraftig, og da havisudbredelsen nåede sit årlige minimum d. 12. september, endte udbredelsen lige uden for top 10 af laveste udbredelser siden 1979.

Datoen for havisudbredelsens årlige minimum var i 2021 to dage senere end gennemsnittet for 1981-2010 (10. september). Genopfrysning-

gen af havisen gik således også i gang lidt senere end normalt. Mange af de laveste udbredelser er målt inden for de seneste 20 år, og den nedadgående trend er dårligt for klimaet i Arktis, da havisen spiller en stor rolle i det globale klimasystem. Det skyldes blandt andet, at mindskelsen af havisen sætter gang i en ond cirkel, som får opvarmningen i Arktis til at accelerere.



Figur 7: DMI's kurve af havisudbredelse fra 12. september 2020, 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. (Kredit: Polar Portal).



Figur 8: 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. (Kredit: 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.