

Om forsknings- og målemetoderne i Ice Frontiers

De sidste årtier har verden været vidne til en øget afsmeltning ved begge poler, hvilket har skabt en stor debat om, hvordan klimaændringer påvirker gletsjerafsmeltningen, og hvordan det i sidste ende kan påvirke havniveauet. Forskerne har registreret markante ændringer ved mange af Indlandsisens marine udløbsgletsjere, der viser tydelige tegn på udtynding og tilbagetrækning. Derfor har der været stor fokus på Grønland, Indlandsisen og de marine udløbsgletsjere de seneste år. Billeder og data fra satellitter og fly har været fundamentale for at følge med i isens bevægelser, afsmeltning og kælvninger.

Med Ice Frontiers giver vi eleverne mulighed for selv at opmåle gletsjerne, og dermed selv erfare hvordan Indlandsisen reagerer på de klimaændringer, vi ser i dag. Programmet giver adgang til en del af de klimadata, som forskere bruger til at estimere forholdene med, og Ice Frontiers belyser nogle af de metoder, der bliver brugt til at beregne afsmeltningen på.



Flyfotos af Kangerlussuaq Gletsjer fra henholdsvis 21. august 1933 (tv) og 28. juli 2013 (th). På de to billeder ses en forskel på gletsjerfrontens placering på ca. 7 km. Billederne stammer fra bogen "Indlandsisen – 80 års klimaændringer set fra luften" (Foto: Geodatastyrelsen og Hans Henrik Tholstrup).

Isens afsmeltning og massebalance

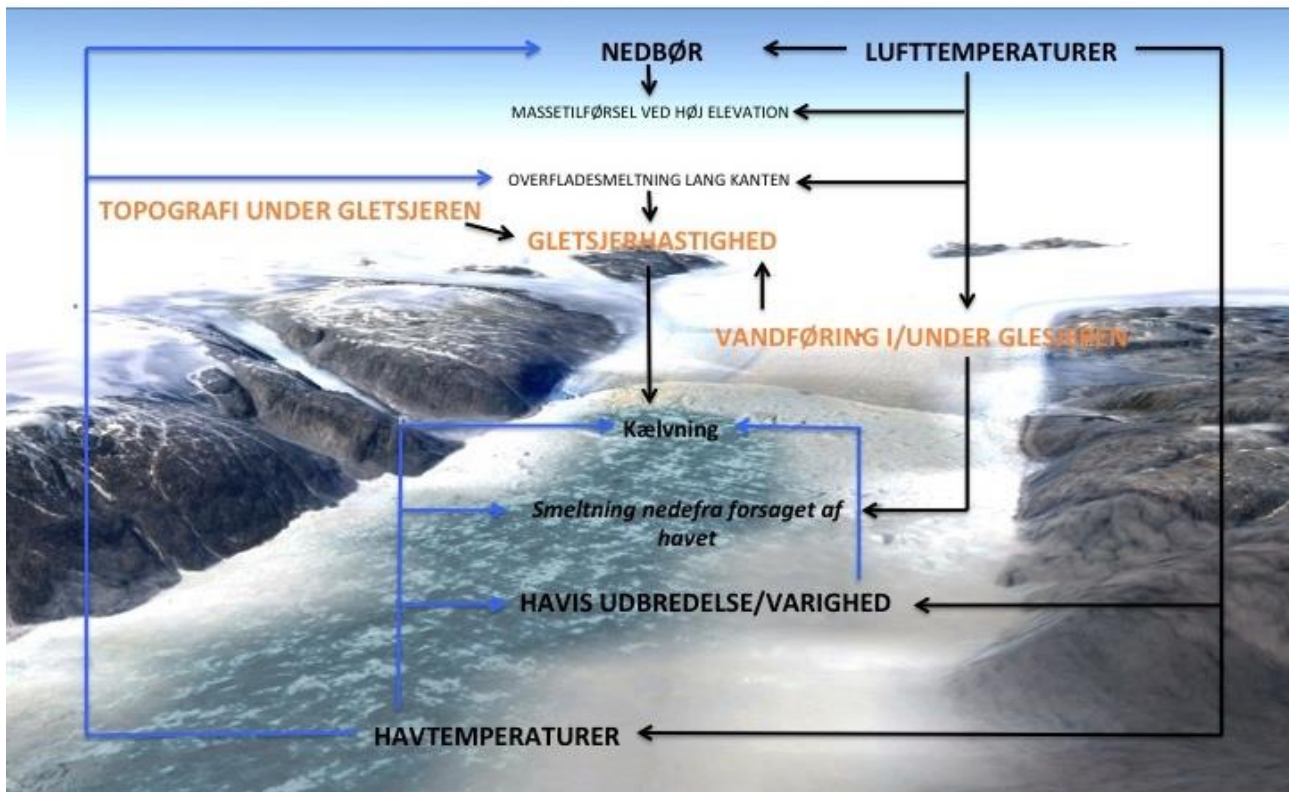
Indlandsisen er over tre kilometer høj. De høje luftlag gør, at størstedelen af den nedbør som falder her er i form af sne, hvilket bidrager til isens masse. Generelt er det kun kanterne af Indlandsisen, som ligger lavt nok til at blive påvirket af varmere temperaturer og regn, som kan have en negativ påvirkning på massebalancen. De gletsjere der udgør størstedelen af massetabet fra Indlandsisen er de marine udløbsgletsjere. Massetabet her sker dels via smeltning på isens overflade og dels via gletsjerkælvninger.

Sommeren (ablations-perioden) byder på øget solpåvirkning og nedbør i form af regn, hvilket begge dele genererer smeltevand. Smeltevandet kan fungere som en form for glidemiddel ved gletsjersålen, der kan forårsage en øgning af gletsjerens hastighed. Når hastigheden øges, bliver der trukket ny masse frem fra områder dybere inde i Indlandsisen og derved bliver Indlandsisen lavere. Hvis de høje hastigheder forsætter, kan der kun opnås ny balance, hvis nedbørsmængden stiger. Gletsjerfronten vil være mere ustabil i perioder med øget acceleration, som kan generere en øgning i kælvninger. Disse finder oftest sted om sommeren, når havisen ikke længere ligger som en beskyttende barriere foran gletsjerfronten.

Ablations-perioden er kort og varer bare fire måneder fra juni-september. I denne periode er august den måned, hvor gletsjerne har tabt mest masse. Herefter begynder det at blive koldere igen, hvilket kan bidrage til, at der på ny bliver en positiv massebalance. Forskere er derfor mest interesseret i, hvad der er sket med gletsjerne når ablations-perioden slutter. Ved hjælp af satellitbilleder taget fra samme periode hvert år kan de få en forståelse af masse- og gletsjerfrontsændringer fra år til år. I Ice Frontiers er der udvalgt de samme billedmaterialer, hvor man for hvert billede kan se hvornår de er taget og med hvad. De tidligste billeder i Ice Frontiers, fra 40'erne til 70'erne, er taget fra fly, mens de nyere billeder kommer fra satellitter, som kredser rundt om jorden. Billederne skal gerne være fra den samme periode hvert år, men nogle gange er det ikke muligt. Her må forskerne stille sig til takke med det billedmateriale, der ligger så tæt på dette tidspunkt som muligt.

Billederne bliver brugt til at vise gletsjerfrontens bevægelser, og sammenholdt med en række andre klimadata og opmålinger, gjort på land, kan forskerne estimere ændringer i massebalancen. Arbejdet er vanskeligt, da der er stor variation i miljøerne langs Grønlands kyster. Nedbørsmængder, lufttemperaturer, havtemperaturer, havstrømme og topografien under isen er nogle af de

væsentlige faktorer der spiller ind i beregningerne, men der er flere faktorer som skal medregnes for at få så nøjagtige resultater, som muligt (se figur 1).



Figur 1 – Illustration af de primære miljøfaktorer i luft og vand (sorte) og gletsjerspecifikke faktorer (orange), som menes at påvirke marine udløbsgletsjeres opførsel og massebalance. De blå pile viser havets påvirkning, mens de sorte viser de atmosfæriske. Baggrundsbilledet er af Kangerlussuaq Gletsjer. Grafik af Lisbeth Rykov med inspiration fra Carr et al. (2013).

For at forstå Indlandsisens dynamik og sensibilitet for klimaændringer kræver det, at man ser længere tilbage i tiden. Glaciale aflejringer og spor i landskabet, samt sedimentkerneboringer i søer og fjorde, viser Indlandsisens bevægelser under og efter sidste istid. Samtidigt fortæller iskerner, som årringe på et træ, historien om hvordan klimaet har været for flere tusind år siden. Nogle fly er udstyret med laserskannere og radar, som kan vise tykkelsen på isen, islagene og tilmed give et billede af topografien under isen. NASA har samlet disse data og lavet en fantastisk 3D visualisering af målingerne, som kan ses her: [Greenland's Ice Layers Mapped in 3D](#). Målingerne har gjort det enklere at finde frem til de ældste lag i isen, og givet en forståelse for hvorfor nogle gletsjere accelerer hurtigere end andre, da topografien, geologien og dybden af gletsjerfronten har stor betydning for forståelsen af gletsjerens opførsel.

Opmåling af gletsjerne

Man kan læse mere om de enkelte gletsjere i materialet "Om gletsjerne i Ice Frontiers". De seks marine udløbsgletsjere, som er blevet udvalgt til Ice Frontiers, er: Kangerlussuaq Gletsjer, Helheim Gletsjer, Sermeq Kujalleq, Petermann Gletsjer, Upernavik Isstrøm og Storstrømmen Gletsjer. De er nogle af Indlandsisens største marine udløbsgletsjere og de står for en stor andel af massetabet. I forhold til landsatte udløbsgletsjere er marine udløbsgletsjerne yderligere påvirket af ændringer i havets temperatur og dynamisk stress, hvilket bevirker at de er mere ustabile end de landsatte. Ved en øgning i kælvningsraten, trækker isen sig tilbage, indtil der igen har genfundet sig en balance i isen og gletsjerfronten har fundet sig et nyt stabilt underlag.

Et af målene med Ice Frontiers er at give eleverne mulighed for selv at prøve de metoder, som forskerne benytter til at opmåle isen og afsmeltningen. Og at eleverne får indblik i, hvor kompleks forskning af Indlandsisen er. Derfor er der valgt at bruge stort set de samme redskaber og klimadata, som forskerne bruger. Årlige ændringer af gletsjerfronten bliver registreret ved hjælp af et referencepunkt, som man sætter et stykke inde på isen, så man er sikker på, at gletsjerfronten ikke vil passere i løbet af ens opmålinger. Referencepunktet vil have den samme plads under hele opmålingsforløbet, så man kan se de årlige ændringer i gletsjerfrontens placering. Det færdige resultat vil dels give et billede, hvor man kan se alle sine opmålinger, samt en graf der viser de årlige bevægelser. Grafen sammenligner man med andre klimadata, for at se om der er nogle af de faktorer, som kunne have påvirket gletsjerens opførsel. Nogle gletsjere reagerer forholdsvist hurtigt på temperatur- og nedbørsændringer, dvs. inden for et år, mens andre bruger et par år eller årtier.

Fly- og satellitbilleder

Billedmaterialet i Ice Frontiers er genereret fra historiske flyfotos og satellitbilleder. Flybillederne stammer tilbage fra 1940'erne og frem, hvor Danmark gjorde hævde på Grønland ved at kortlægge store dele af kysten. Disse billeder blev genopdaget i Geodatastyrelsens arkiver af Kurt H. Kjær fra Statens Naturhistoriske Museum, som fik idéen om at bruge billedmateriale til at vise tidligere placeringer af gletsjerfronter.

Billederne er taget i lod, ligesom satellitbillederne, hvilket gør det nemt at bruge dem i opmålingerne i programmet. De er dog ikke lige så frekvente som satellitbillederne, så for hver gletsjer findes der kun 2-3 år med flybilleder fra før 1970'erne.

Satellitbillederne er blevet genereret fra USGSs hjemmeside (<http://earthexplorer.usgs.gov>). USGS står for United State Geological Survey, som foruden satellitbilleder også råder de over store mængder data om tilstande i miljø og økosystemer, naturkatastrofer, naturressourcer, arealanvendelse og klima.

Satellitbillederne er taget fra forskellige satellitter, Landsat 1-8, ASTER og Corona. Landsat-satellitterne blev opsendt af NASA i samarbejde med USGS, og billederne kan downloades gratis fra deres hjemmeside (http://landsat.usgs.gov/about_landsat1.php). ASTER er japansk, men kan hentes fra NASAs side (<http://reverb.echo.nasa.gov/>) og nu også fra USGSs hjemmeside. Satellitbillederne bliver downloadet i filmapper med rå data, som man kan sammensætte alt efter behov.

Lufttemperaturer

Forskerne vil altid forsøge at finde en klimastation så tæt på forskningsområdet som muligt og med længst mulig temperaturhistorik. For fire af gletsjerne ligger klimastationerne indenfor 100 km, men for de sidste to er data indhentet for steder, der ligger noget længere væk. Dette er gældende for Petermann Gletsjer, hvor data er udvundet fra Pitufik (Thule basen) og Kangerlussuaq Gletsjer, hvor data er fra Scoresbysund.

Der er længst temperaturhistorik fra Vestgrønland, da østkysten er tyndt befolket og har været svær at komme til på grund af havisen. Herunder er angivet temperaturstationerne med DMI's referencenummer for hver enkelt gletsjer:

Petermann Gletsjer (4202):	1948 – 2012
Storstrømmen Gletsjer (4320):	1949 – 2012
Kangerdlugssuaq Gletsjer (4339):	1950 – 2012
Helheim Gletsjer (4360):	1895 – 2012
Upernavik Isstrøm (4211):	1873 – 2012
Jakobshavn Isbræ (4221):	1873 – 2012

Klimadata opdateres årligt via DMIs tekniske rapporter (<http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/2013/>).

Havtemperaturer

Havtemperaturerne er modellerede ud fra observationer og meteorologiske data af Hadley Centre (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en3/>).

Nedbør

Nedbøren er modelleret ud fra en kombination af nedbørsstationer fra DMI og fra sne- og iskerner af Professor Jason Box fra De Nationale Geologiske Undersøgelser For Grønland og Danmark (GEUS).

Temakort

I datamaterialet er der to temakort. Det ene visualiserer Indlandsisens hastigheder i m/år og er blevet skabt ud fra satellitdata. Det andet temakort viser de masseændringer der er sket siden 1900. Kortet er lavet ud fra højdemålinger af isudbredelsen i flybilleder. I flybillederne kan man se markante spor på fjeldene hvor stor/høj isen var i 1900, som var slutningen af den sidste lille istid.

”Om forsknings- og målemetoderne i Ice Frontiers” er skrevet af Lisbeth Rykov, cand.scient. i Geografi og Geoinformatik fra Københavns Universitet, med udgangspunkt i specialet ”Ice Frontiers - A didactical method to convey scientific research of the Greenland Ice Sheet to Earth Science in Danish high schools” 2015.