

# Den grønlandske flom, juli 2012

Af Sebastian H. Mernild,  
Jeppe K. Malmros, Jes-  
per Eriksen og Leif Ras-  
mussen

»Min familie og jeg var på tur til isfronten, og lige som vi runder det sidste forbjerg og kan se indlandsisen, kollapser hele gletscherfronten. Jeg har aldrig set noget lignende før eller siden. Det var enorme mængder is, der kollapsede. I løbet af meget kort tid (vi taler timer, hvis ikke minutter) steg vandstanden i elven med 10–20 meter. Jeg husker endda, at vi også var nervøse for vandforsyningsledningen og broerne over Watson Floden. Dengang stod vandet over broerne, men begge dele slap uskadte.«

Sådan beskriver et øjenvidne på allernærmeste hold dannelsen af en voldsom flodbølge fra indlandsisens rand nær Kangerlussuaq (Sdr. Strømfjord), Vestgrønland, hvor fronten kollapsede, og vandet momentant begyndte at fosse ud. Den personlige skildring er fra 1991, men kunne ligeså godt være fra 1980'erne, fra 2007, 2008, 2010 eller fra midten af juli måned i år (10–12. juli), hvor Kangerlussuaq-området igen var ramt af pludselige og voldsomme smeltevandsmasser.



Figur 1. Broerne over Watson Floden ved Kangerlussuaq, Vestgrønland, på en sommerdag med normalafstrømning. I baggrunden ses Kangerlussuaq by (Foto: A. B. Mikkelsen). Beliggenheden af Kangerlussuaq samt Summit (på toppen af indlandsisen) er vist på grønlandskortet med henholdsvis en rød og en blå prik.

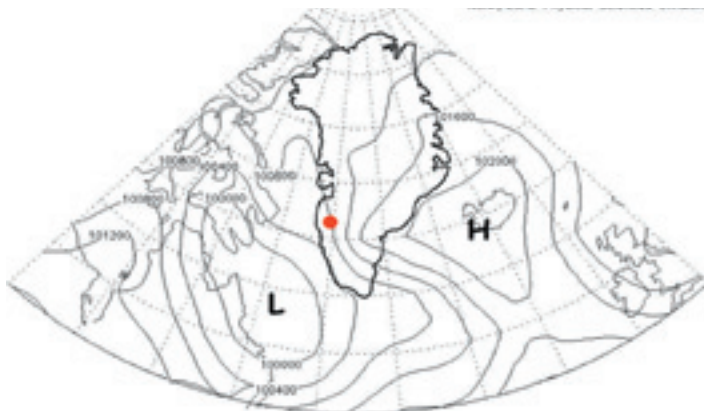
YouTube-klip gik i dagene efter juli-vandmasserne kloden rundt, hvor det på TV's nyhedsudsendelser kunne ses og høres, at »den grønlandske flom« flædede en 20 tons gummiged væk fra Watson broerne, som var det et bade dyr, samtidig med at vandmasserne ødelagde broens midtersektion over Watson Floden og skilte nord og syd fra hinanden, så adgangen til bl.a. lufthavnsradaren blev afskåret. Broerne er et kritisk sted (Figur 1), da Watson Floden nedstrøms indlandsisen efter cirka 30 kilometers forløb snævrer betydeligt ind, inden smeltevandet passerer under dem.

## Vejret

Forud for de pludselige og voldsomme vandmasser indtraf usædvanligt høje temperaturer over Grønland, inklusiv den grønlandske indlandsis i sidste halvdel af juni og juli. Det varme vejr var betinget af det atmosfæriske storskala cirkulationsmønster, som var karakteriseret ved et højere end normalt lufttryk over Island/Grønland, eller, med meteorologisk sprogbrug: *Den Nordatlantiske Oscillation* (NAO) var i sin negative fase.

I Kangerlussuaq blev middeltemperaturen for juni på 11,6°C, hvilket er 0,1°C fra rekorden fra 1997, og i skrivende stund (den

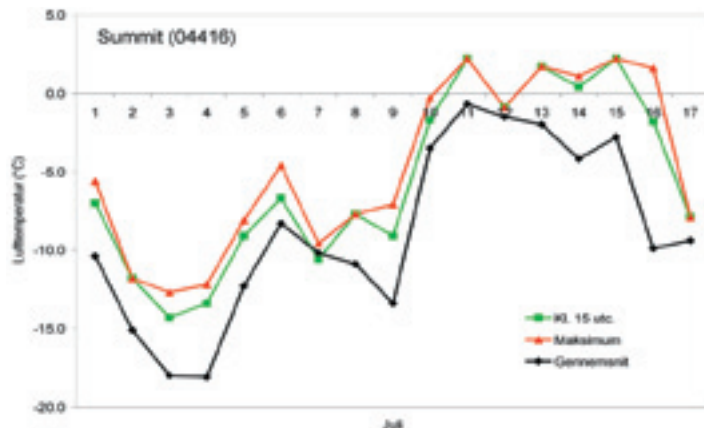
Figur 2a. Lufttrykket (angivet i Pascal) i havniveau omkring Grønland 11. juli 2012, 00 UTC. Kangerlussuaq er markeret med rødt. Reanalyse fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).



25. juli) ligger juli indtil videre på 12,2°C, hvilket kun er 0,5°C fra rekorden for hele måneden på 12,7°C, sat tilbage i 1974. Mange steder kulminerede varmen d. 10–11. juli, med lokale varmerekorder til følge, med højtrykket beliggende omkring Island og et lavtryk over Labradorhavet, der tilsammen generere en sydøstlig strømning af atlantisk varmluft op over Grønland, hvis vestkyst ydermere blev udsat for en føhn-effekt (Figur 2a). For eksempel satte Qasigiannuguit ved Disko Bugten d. 10. juli varmerekord på 23,3°C, og i Kangerlussuaq var man samme dag tæt på at nå de 25°C (Figur 2b). Dagen efter målte DMI's automatiske vejrstation på Summit, som er Grønlands højeste punkt i ca. 3200 meters højde, en overgang 2,2°C (Figur 2c), og i den efterfølgende uge blev



Figur 2b. Temperaturkurver for Kangerlussuaq, Vestgrønland, for juni og juli 2012 visende døgnetts højeste og laveste målte temperatur, samt normalen for perioden (1961–1990). For juli er temperaturen kun vist til og med 24. juli. Kilde: DMI.

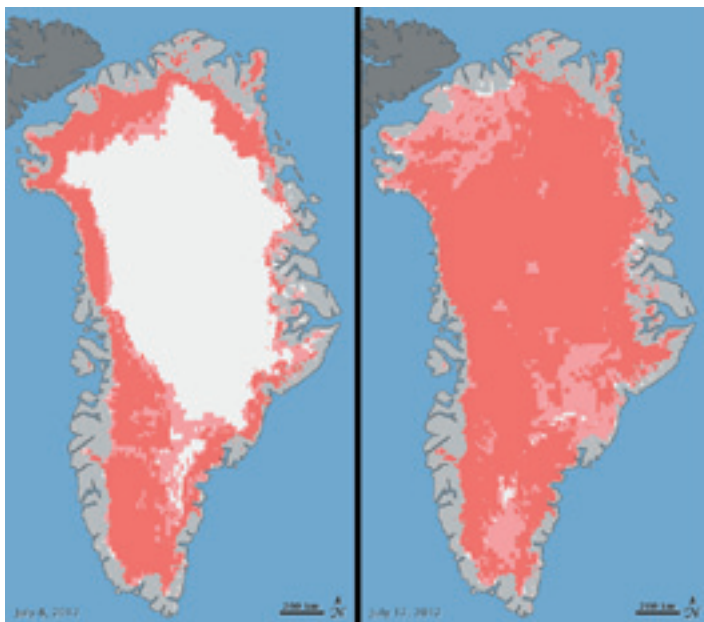


Figur 2c. Tidsserie fra 1. til 17. juli 2012 af lufttemperaturen (2 m) ved DMI's automatiske vejrstation 04416 Summit (3200 meters højde) på toppen af indlandsisen. Beliggenheden af Summit ses på grønlandskortet på figur 1. Kilde: DMI.

Figur 3. Afsmeltning på indlandsisens overflade for d. 8. og d. 12. juli, hvor rød farve viser afsmeltning og hvid farve er lig ingen afsmeltning. Kilde: NASA.

der registreret tøvejr hele fire af dagene på Summit, hvilket er ekstremt usædvanligt. Yderligere afslører radiosonedata, at nulgrader isotermerne i den frie atmosfære over Grønland d. 11. juli typisk lå i 3000–3500 meters højde, højest i Aasiaat, og lavere i Sydgrønland, omkring 2500 meters højde. Dette er generelt usædvanligt højt. Disse radiosonde luftmassetemperaturer kan være svære at oversætte direkte til den målte lufttemperatur inde over isen, men målingerne fra Summit bekræfter, at der har været tøvejr på toppen af indlandsisen. Ikke kun direkte målinger bekræfter tøvejret. Satellitobservationer fra National Aeronautics and Space Administration (NASA) fra d. 12. juli viser, at indlandsisens overflade var udsat for et afsmeltningsareal på 97% (Figur 3), hvilket sammenlignet med iskernedata ikke er set større siden 1889.

Samtidig var snedækket generelt tyndere og sneudbredelsen mindre på indlandsisen i Kangerlussuaq området sammenlignet med tidligere år på samme tid. Den summerede (sne)nedbør for perioden september 2011 til maj 2012 var den laveste siden 2000/2001 og cirka 40% lavere end gennemsnittet siden 2000/2001. Under normale omstændigheder ville indlandsisen være dækket af sne, og dermed ville indlandsisens overflade i stort omfang reflektere solens stråler retur til verdensrummet, da al-



bedoen for nysne ligger omkring 0,8–0,9 (i fagsprog benyttes betegnelsen albedo som et mål for en overflades evne til at reflektere lys og dermed energi). En mørk flade med lav albedo absorberer langt mere energi fra Solen - og omvendt). Men som en kombination af den lave vinternedbør samt de høje temperaturer i både juni og juli var store områder af den nedre del af indlandsisen allerede blottet for sne, og den blotlagte gletscheris gjorde, at en større andel af solens energi blev absorberet på overfladen (albedoen for gletscheris ligger omkring 0,3–0,4), hvorved afsmeltningen blev intensiveret.

### Flommen

De producerede smeltevandsmængder fra indlandsisens overflade strømmer dels gennem og ud af gletscheren til havet, dels til hulrum og magasiner på, indeni, under og foran indlandsisen, så

disse over tid – over smeltesæsonen – fyldes med smeltevand. Intet tyder på, at temperaturerne i dagene og ugerne forud for de store og konstant stigende vandmasser alene kan forklare mængden af smeltevand i Watson floden. Alt peger på, at indlandsisens magasiner og hulrum gennem juni og juli støt og roligt er blevet fyldte, og det er sandsynligt, at de høje temperaturer i dagene umiddelbart forud for flommen har bevirket, at vandtrykket er blevet så stort, at en del af magasinerne kollapsede, således at smeltevandet momentant begyndte at fosse ud gennem tunneler og revner i gletscherfronten, og at et jøkkelløb (Boks 1) herunder er blevet dannet (Figur 4a og 4b) og har suppleret de i forvejen voldsomme smeltevandsmængder fra indlandsisen, der strømmer direkte til havet. Sandsynligheden for et jøkkelløb understøttes af, at der dels blev

### Boks 1: Jøkelløb

Når et glacialt smeltevandsmagasin pludselig tømmes på ganske kort tid, kan der opstå en voldsom flodbølge – et jøkelløb, som er et veldokumenteret og -beskrevet glaciologisk og hydrologisk fænomen. Ordet jøkelløb stammer oprindeligt fra det islandske ord *Jökulhlaup*, som betegner en flom (flodbølge), der er forårsaget af en hurtig aftapning af smeltevand fra et magasin, som er opdæmmet af, på, i eller under en lokal gletscher eller indlandsisen. Muligheden for jøkelløb er til stede i sommer- og efterårs-månederne, hvor der forekommer gletschere og smeltevand.

Den faktiske forekomst af jøkelløb kan afhænge af, om landskabet i f.eks. gletscherrandområdet indeholder lavninger eller dale, som kan spærres af som følge af gletscherens fremadskridende bevægelse, det vil sige både af en funktion af landskabets form og af gletscherens dynamik. Sådanne afspærrede lavninger kan fyldes op med smeltevand med en hastighed, der afhænger af gletscherafsmeltningen. Vandet stiger indtil det når den laveste tærskel, hvorefter det strømmer videre gennem lavninger og vandløb mod udløbet til havet. Forekomsten af en sådan opstemmet sø vil ikke altid medføre et jøkelløb.

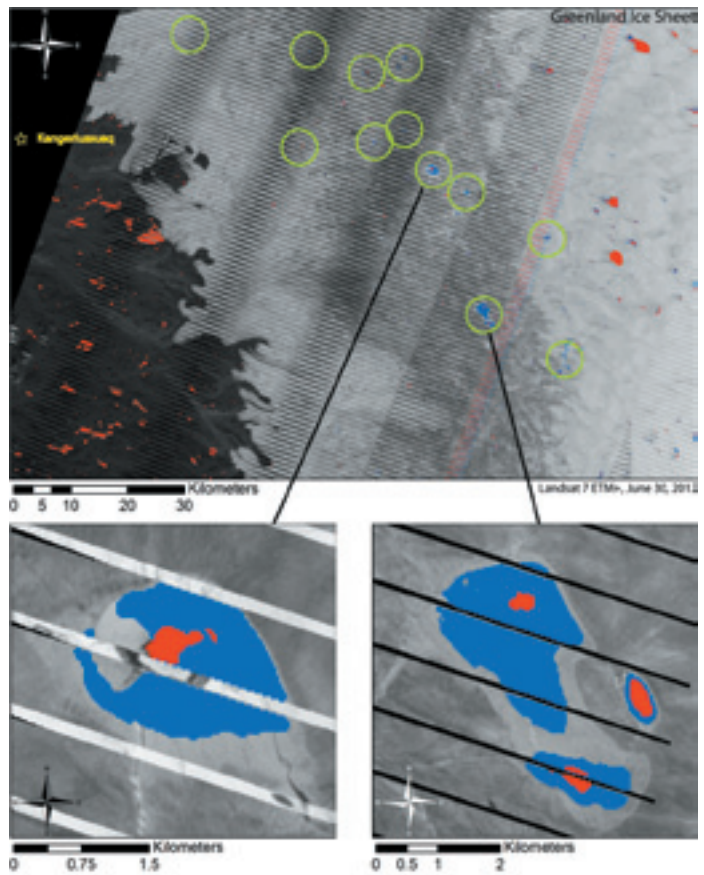
Der findes flere mekanismer, som kan forklare forekomsten af jøkelløb. En sådan kan være vulkansk aktivitet under gletschere, som vi kender det fra Island, og i regioner uden for Grønland er det set, at opstemningen af smeltevand brydes som følge af jordskælv. Hvis smeltevandet i f.eks. søer foran gletscherisen stiger så meget, at opdriften kan løfte isranden, kan opstemningen løftes og skylles væk. Ydermere kan sprækkedannelser på grund af isbevægelsens dynamik ligeledes føre til udvikling af drænsystemer, som kan tappe hulrum eller magasiner momentant. Når vand strømmer gennem tunneler og revner i gletscherisen eller langs isens bund, vil revnens eller tunnelens dimension være et resultat af et kompliceret samspil mellem vandstrømmen og isens dynamiske bevægelse. Vandets varme og den varme, der opstår ved friktion, vil smelte isen omkring tunnelen, mens isbevægelsen omvendt vil medføre en indsnævring af tunnelen. Hvis smeltningen og isbevægelsen holder hinanden i skak, vil smeltevandstunnelens dimensioner (tværsnitsarealer) være stabile, men hvis vandstrømmen (og/eller vandtemperaturen) stiger, kan processen medføre en hurtig udvidelse af tunnelen, der kan medføre en endnu højere vandgennemstrømning og dermed udløse et jøkelløb.



Figur 4a. Brusende smeltevand opstrøms broerne over Watson Floden (10. juli, 2012). Som det kan ses, er vandforsyningsledningen dækket af de voldsomme smeltevandsmasser. På figur 1 ses vandforsyningsledningen cirka 8–9 meter over den normale vandstand (Foto: A. Lyberth).



Figur 5. Indlandsisen og området omkring Kangerlussuaq, Vestgrønland. På indlandsisens overflade ses udbredelsen af supraglaciale smeltevandssøer 30. juni (blå) og 16. juli (rød). Et utal af disse søer er drænet i den mellemliggende periode og kan sagtens have bidraget til de voldsomme smeltevandsmasser i perioden 10.–12. juli. Med grøn ring er vist de smeltevandssøer eller klynger af smeltevandssøer, der er drænet fra indlandsisens overflade i perioden mellem de to Landsat billeder (kilde: Landsat 7, U.S. Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center (EROS)).



observeret isskoster på strækningen mellem isfronten og udløbet ved Watson broerne, dels blev det ud fra satellitobservationer observeret, at flere smeltevandssøer (dvs. adskillige kvadratkilometer smeltevandsmagasiner) på indlandsisens overflade blev drænet i perioden fra 30. juni til 16. juli (Figur 5), meget tænkeligt som en konsekvens af de høje temperaturer. Kom-



Figur 4b. De brusende smeltevandsmasser nedstrøms broerne over Watson Floden (10. juli, 2012). I midten af billedet ses gummigeden, inden den blev taget af vandmasserne. (Foto: A. Lyberth).

binationen af voldsomme smeltevandsmængder samt et eventuelt jøkelløb er set tidligere ved Kangerlussuaq, f.eks. d. 31. august 2007, men dengang ikke i samme ekstreme omfang som her i juli i år, da vandet i 2007 ikke var i nærheden af at strømme over broerne. Da vandmasserne fra juli i år var på deres højeste blev de skønnet til at være cirka 3.500.000 l/s (eller 3500 m<sup>3</sup>/s), hvilket volumenmæssigt er mere end dobbelt så meget i forhold til direkte observationer af jøkelløbet i 2007. Dette skøn er efter forfatterens overbevisning højt sat.

### Fremtiden

I samarbejde med Danmarks Klimacenter ved DMI har førsteforfatteren simuleret indlandsisens massebalance og afstrømningsforhold for perioden 1950 til 2080 i programmet SnowModel på baggrund af input-data fra den regionale klimamodel HIRHAM4 (Boks 2), og ligeledes særskilt for Kangerlussuaq-området. Tendensen for Kanger-

lussuaq-området er, at både årsmiddeltemperaturen, årsnedbøren, afsmeltningssæsonen, afsmeltningen og afstrømningen er beregnet til at øges i fremtiden. Fra observationer af flomhændelser (jøkelløbet) over tid ved vi, at såvel hyppigheden som effekten er tiltaget i et varmere klima. Derfor vurderes det, at antallet af flomme statistisk set vil forekomme hyppigere og voldsommere ved Kangerlussuaq i fremtiden, efterhånden som bl.a. temperaturen og afstrømningen stiger. Men direkte at kunne forudsige hvornår, på hvilken dato, en ny flom samt et jøkelløb vil indtræffe, ligger uden for rammerne af modelstudierne.

### Afslutning

Skildringen af de pludselige og voldsomme vandmasser ved området omkring Kangerlussuaq i juli overgår alt, hvad forfatterne til dato har set. En begivenhed forfatterne forventer er lig den, som den i indledningen skildrede gruppe af personer på tur til is-

fronten fik tilbage i 1991, hvor gletscherfronten kollapsede og et jøkelløb blev skabt.

Flomme kombineret med jøkelløb kan i sagens natur få meget alvorlige konsekvenser, specielt hvis de som i juli i år begge indtræffer, hvor indlandsisens afsmeltning er på sit højeste. Et sådant jøkelløb-naturfænomen kan forekomme uden varsel, men typisk efter perioder med høje temperaturer, stor gletscherafsmeltning og/eller nedbør, og det kan på imponerende vis minde os om, at naturens kræfter er utæmmelige.

### Om forfatterne

*Sebastian H. Mernild*, klima- og polarforsker (Ph.D.) ved Climate, Ice Sheet, Ocean, and Sea Ice Modeling Group, Department of Computational Physics and Methods, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA, og contributing author på den kommende IPCC klimareport.

Arbejdstelefon: +1 (505) 665-2838

Skype tlf.: +45 36 99 27 03

E-mail: mernild@lanl.gov

*Jeppe K. Malmros*, naturgeograf (cand. scient.) fra Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet.

*Jesper Eriksen og Leif Rasmussen* er/har været grønlandsmeteorologer ved Danmarks Meteorologiske Institut.

Øjenvidneberetning:

*Mikkel Møller Schøler's* øjenvidneberetning fra indlandsisens rand nær Russel Gletscheren, omkring 30 kilometer øst for Kangerlussuaq, 1991.

### Boks 2: SnowModel og HIRHAM4

SnowModel er et modelværktøj, som ud over at simulere snefordeling og -udvikling er i stand til at beregne overfladeafsmeltningen og ferskvandsafstrømningen fra sne og gletscheris i tid og rum. Forfatterne har i samarbejde med amerikanske forskere siden 2004 videreudviklet SnowModel, og modellen er således blevet afprøvet og testet geografisk bredt – i forskellige klimatiske og fysiske miljøer i både Arktis og Antarktis samt i det vestlige USA. I relation til indlandsisen har SnowModel været anvendt med en opløsning på 5x5 km, hvor bl.a. observerede meteorologiske data fra automatiske vejrstationer på og uden for isen (1960–2010) og data fra regionale klimamodeller såsom DMI's HIRHAM4 (1950–2080) har været anvendt som input-data.



Foto: A. Lyberth

### Videre læsning

Mernild, S. H. and B. Hasholt 2009. Observed runoff, jökulhlaups, and suspended sediment load from the Greenland Ice Sheet at Kangerlussuaq, West Greenland, for 2007 and 2008. *Journal of Glaciology*, 55(193): 855–858.

Mernild, S. H., B. Hasholt, D. L. Kane and A. C. Tidwell 2008. Jökulhlaup Observed at Greenland Ice Sheet. *Eos Trans. AGU*, 99(35): 321–322.

Mernild, S. H. and G. E. Liston 2012. Greenland freshwater runoff. Part II: Distribution and trends, 1960–2010. In press. *Journal of Climate*.

Mernild, S. H., G. E. Liston, C. A. Hiemstra, and J. H. Christensen 2010. Greenland Ice Sheet surface

mass-balance modeling in a 131-year perspective 1950–2080. *Journal of Hydrometeorology*, 11(1): 3–25.

Mernild, S. H., G. E. Liston, C. A. Hiemstra, J. H. Christensen, M. Stendel, and B. Hasholt 2011. Surface mass-balance and runoff modeling using HIRHAM4 RCM at Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord), West Greenland, 1950–2080. *Journal of Climate*, 24(3): 609–623.

Mernild, S. H., G. E. Liston, and M. van den Broeke 2012. Simulated internal storage build-up, release, and runoff from Greenland Ice Sheet at Kangerlussuaq, West Greenland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(1), 83–94.

Olesen, O. B., and A. Weidick 1977. Vandkraft i Grønland – per-

spektiver og problemer. *Tidsskriftet Grønland*, 69–85.

Info om jøkelløb findes på Wikipedia:

<http://en.wikipedia.org/wiki/J%C3%B6kulhlaup>

YouTube film af vandmasserne ved broudløbene af Watson Floden:

<http://www.youtube.com/watch?v=v5h3AdiJT8A&NR=1>

[http://www.youtube.com/watch?v=7SuJ1sFn\\_B0](http://www.youtube.com/watch?v=7SuJ1sFn_B0)

<http://www.youtube.com/watch?v=WrlX-WzWA8k&NR=1>

Indlandsisens afsmeltningsareal: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=78607&src=eoa-iotd>