



# Jøkelløb

– et voldsomt naturfænomen

Foto: Mark Begnaud, VECO

*Når en smeltevandssø pludselig tømmes på ganske kort tid, kan der opstå en voldsom flodbølge – et jøkelløb. I august måned fik forskere en sjælden mulighed for at lave målinger under sådan et løb i Grønland.*

Af Bent Hasholt og Sebastian H. Mernild

■ Tusindvis af amerikanske soldater og turister fra hele kloden har gennem årene stået på broerne over Watson River ved Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord), Vestgrønland, og betragtet det storslåede syn, når smeltevandet fra ca. 6.000 km<sup>2</sup> af Indlandsisen om sommeren brøler og buldrer gennem de smalle kløfter på vej mod fjorden. En amerikansk soldat har prøvet at forcere vandmasserne – en mindeplade på broen fortæller om det sørgelige udfald af hans forsøg.

## Da floden rejste sig

Normalt er vandstanden i Watson River faldende i slutningen af august, fordi temperaturen aftager, og afsmeltningen fra Indlandsisen derfor bliver mindre. Men om morgenen den 31. august 2007 var vandstanden pludselig steget cirka 1 meter i forhold til dagen før. I løbet af formiddagen steg vandet time for time, og blev fyldt med isskoser og stumper af afreven vegetation. På grund af vandmassernes erosion i elvens bund og bredder var vandet gråbrunt af sediment. Folk i Kangerlussuaq blev klar over, at de var

vidne til et spektakulært naturfænomen – jøkelløb. Ordet jøkelløb stammer fra det islandske ord *jökulhlaup*, og betegner en flom (flodbølge), som er forårsaget af en hurtig aftapning af vand fra en sø, som er opdammet af eller i en lokal gletscher eller Indlandsisen. Vandstandsstigningen fulgtes med interesse og bekymring, idet vandmasserne var ved at nå op til vandforsyningsledningen, som tilfører byen vand fra en nærliggende ferskvandssø. Vandledningen er ført over elven øst for

broerne, hvor den er ophængt i kabler spændt ud mellem piller forankret i bunden. Teknikere fra den amerikanske logistikorganisation VECO var allerede i gang med at forberede en tømning af vandledningen for at undgå forurening af drikkevandet i tilfælde af brud. Vandstanden kulminerede omkring frokosttid den 31. august, med en vandstand 4,25 meter over det normale for perioden. I de efterfølgende timer faldt vandstanden brat. Jøkelløbet medførte at turistudflugter til Indlandsisen måtte aflyses, da vejen



← Vandledningen over Watson River, Kangerlussuaq, under jøkelløbet. Der er ikke langt mellem vandoverfladen og vandledningen.

dertil var oversvømmet af vand samt spærret af enorme isskasser i personbilstørrelse.

### En uventet sidegevinst

Kilden til jøkelløbet var en issø beliggende 35 km fra broerne ved Kangerlussuaq. Ved tapingen faldt vandstanden i den ca. 0,5 km<sup>2</sup> store sø mellem 36 og 60 meter. Det tappede volumen har derfor udgjort et sted mellem 18–30 millioner kubikmeter.

Området ved Kangerlussuaq har igennem længere tid været af særlig videnskabelig interesse, hvad angår vand- og sedimenttransport, fordi området er et af de få Indlandsisoplande, hvor den totale transport til havet kan bestemmes. Dette på grund af de to velafgrænsede kløfter (tværprofiler) vandet passerer ved broerne over Watson River, inden dets udløb til fjorden.

Netop i år blev projektet CRIK (Climate Record in Kangerlussuaq) iværksat af Center for Arktisk Teknologi, DTU, og Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet. Sidstnævnte har til opgave, at beskrive de recente transportprocesser. Projektets formål er at undersøge, hvordan sedimentationen i fjorden ved Kangerlussuaq kan relateres til klimaforandringer. I løbet af foråret og sommeren 2007 blev udstyr installeret til måling af vandstand og sedimenttransport i elven tæt ved broerne over Watson River. Jøkelløbet var en uventet "sidegevinst" ved projektet, men ligeledes en hård belastning for måleudstyret.

### Årsager til Jøkelløb

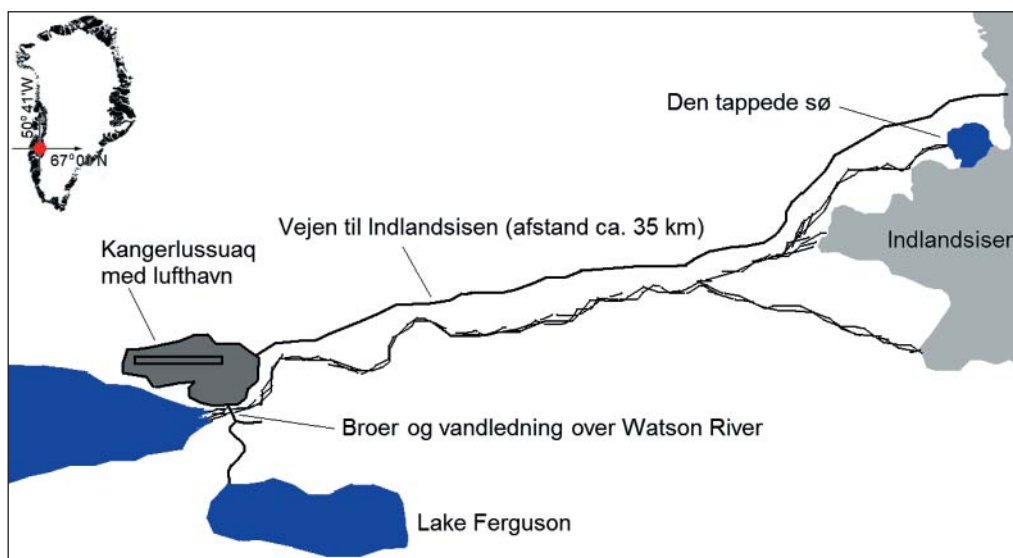
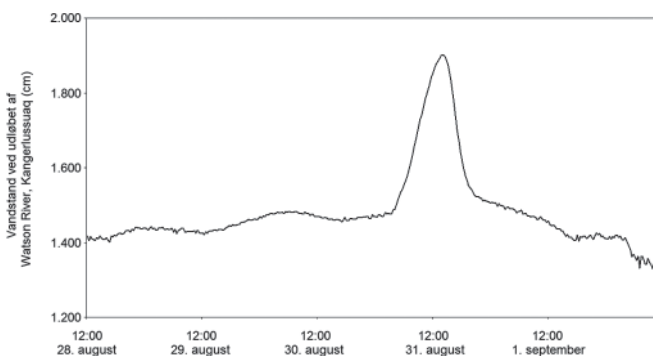
Muligheden for jøkelløb er altid til stede i en gletschers eller Indlandsisens randområde. Den faktiske forekomst afhænger af, om terrænet i randområdet indeholder lavninger eller dale, som kan spærres af som følge af



Foto: Mark Bejrgaard, VECO

De enorme isskasser som jøkelløbet førte med sig. Her er det vejen mellem Kangerlussuaq og Indlandsisen.

Vandstandsvariation ved udløbet af Watson River, Kangerlussuaq, Vestgrønland. "Puklen" illustrerer ændring i vandstand under jøkelløbet på cirka 4,3 meter. Fratrækkes der 1.000 cm fra vandstanden, svarer det nogenlunde til vanddybden opstrøms for tærsklen.



Oversigtskitse over Kangerlussuaq området, Vestgrønland, med angivelse af den tappede sø ved Indlandsisen og broer ved udløbet af Watson River. Skitsen er ikke målfast.





Foto: Mark Beignaud, VECCO

*Issøen ved Indlandsisen før den blev tappet. Fotoet er taget den 22. juli, 2007.*

Foto: Mark Beignaud, VECCO

*Den tappede Issø ved Indlandsisen. Fotoet er taget den 2. september, 2007.*

gletscherens fremadskridende bevægelse, dvs. både en funktion af landskabets form og af gletscherens dynamik. Sådanne afspærrede lavninger kan fyldes op med smeltevand med en hastighed, der afhænger af afsmeltningen. Vandet stiger indtil det når den laveste tærskel, hvorefter det strømmer videre gennem lavninger i terrænet mod udløbet. Forekomsten af en sådan opstemmet sø vil ikke altid medføre et jøkelløb.

Der findes flere mekanismer, som kan forklare forekom-

sten af jøkelløb. En årsag kan være vulkansk aktivitet under gletschere som vi kender det fra Island. Andre steder kan opstemningen brydes som følge af jordskælv. Hvis vandet i søen stiger så meget, at opdriften kan løfte isranden, kan opstemningen løftes og skylles væk. Sprækkedannelse på grund af isbevægelse kan ligeledes føre til udvikling af drænsystemer som kan tappe søen hurtigt. Når vand strømmer gennem tunneler og revner i isen eller langs isens bund vil revnens

eller tunnelens dimension være et resultat af et kompliceret samspil mellem vandstrømmen og isens 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 tunnelens dimensioner (tværsnitsarealer) være stabile, men hvis vandstrømmen (og/eller temperaturen) stiger kan processen medføre en hurtig udvi-

delse af tunnelen, som medfører en endnu højere vandgennemstrømning og dermed udløser jøkelløbet.

### 100 millioner kubikmeter

Hvilke af mekanismerne, der har været på spil ved jøkelløbet den 31. august, kan vi ikke afgøre på nuværende tidspunkt. Vi ved, at der i perioden forud for jøkelløbet, den 21. til 28. august, indtraf en relativ varm periode, og at der i perioden fra den 29. til 31. august faldt i alt 33 mm nedbør. Ud fra temperaturforholdene kan smeltning af Indlandsisens rand ved Kangerlussuaq skønnes til cirka 480 mm i løbet af de foregående 10 dage, hvortil kommer de 33 mm nedbør. For at beregne tilstrømningen af vand til søen, er det nødvendigt at kende opland som dræner til søen. Her hersker imidlertid en betydelig usikkerhed. Et forsigtigt skøn baseret på, at oplandets størrelse er knap 1500 km<sup>2</sup>, og at der i ca. en tredjedel af oplandet forekommer afsmeltning, giver en tilstrømning til søen på omkring 100 millioner m<sup>3</sup>. Rigeligt til at hæve søens vandstand hurtigt. Vandstandsstigningen i søen kan have været så hurtig, at isranden i tærskelområdet er blevet løftet på grund af opdriften. Endvidere kan vandmængden og/eller regnvandets temperatur have været høj nok til at udvide dræningstunnelerne i isen, som derefter er udvidet katastrofalt af den øgede gennemstrømning.

### Jøkelløb – en trussel

I Grønland indtræffer de fleste jøkelløb i ubemærkede og ubeboede områder. Jøkelløbet i Kangerlussuaq skete i et område, hvor der færdes mange turister. Var det indtruffet om natten kunne folk i teltlejr være druknet, ligesom dagsturister på vej til Indlandsisen i bil kunne være blevet ramt af vandmasserne eller de medfølgende isskoster. Vandstands målingerne viser, at hvis jøkelløbet var sket tidligere på smeltningssæsonen, hvor vandstanden på grund af almindelig smeltevandstilførsel var næsten



Foto: Karen Luise Knudsen

Et stort jøkelløb i Island: En vulkan under den store gletscher Vatnajökul smeltede en masse is og det endte med et jøkelløb den 5. nov., 1996 med et maksimum på 45.000 m<sup>3</sup> pr. sek.! Billedet er taget fra et SAS-rutefly ca. 4½ time efter jøkelløbets start. Store vandmængder løber ud over den snedækkede Skeiðarár-slette.

lige så høj som under jøkelløbet, kunne det have truet broerne over Watson River. En afbrydelse af vandforsyningen og transportvejene til tekniske installationer ville være katastrofal for lokalsamfundet og indirekte for lufttrafikken. Konklusionen er, at jøkelløb ved Kangerlussuaq kan være særdeles farlige for både mennesker og tekniske anlæg. Hyppigheden af tapning har været anslået til en 8–10 årig periode, men ingen ved imidlertid hvordan de senere års klimaforandringer påvirker forekomsten og hyppigheden af jøkelløbene i området.

### Sedimenttransport og jøkelløb

De måleresultater, som er anvendt ovenfor til belysning af jøkelløbet, er samlet ind med henblik på at undersøge tilførslen af vand og sediment til fjorden i forbindelse med CRİK-projektet. Tilførslen har dels betydning for aflejringen af sediment i deltaområdet (herunder tilsanding af havnen) og dels for strømningen af fersk- og saltvand i fjorden. Foreløbige undersøgelser har vist, at der under en flom kan transporteres i størrelsesordenen 800.000 ton

sediment pr. dag ud i fjorden.

Dette års vandprøver er endnu ikke analyseret, og sensoren, som skulle registrere detailvariationer i sedimentkoncentrationen, gik tabt under jøkelløbet. Data på sedimenttransporten under jøkelløbet forekommer derfor ikke. Men ud fra observationer langs elven og den afrevne vegetation, tyder alt på en kraftig erosion. Erosionen har medført store ændringer i elvens leje og i arealerne tæt på bredden. Resultatet af erosionen og den efterfølgende transport vil højst sandsynligt kunne ses i fjordbundens lagserie af sedimenter. Hvis man kan identificere sådanne "jøkelløb-lag" vil dette kunne bruges

i tolkningen af rækkefølgen af sedimentlag og give værdifulde oplysninger om hyppigheden af jøkelløb. Målinger af sedimenttransporten er derfor nødvendige for at tolke landskabsudviklingen i området foran Indlandsisen. Dels dannelsen af terrænformer siden Istiden og dels de ændringer, som kan forventes under en ændring til et varmere klima. I forbindelse med International Polar Year (IPY) 2007–2009 er der planlagt et mere omfattende måleprogram, med mere avanceret måleteknik, og en mere omfattende registrering og tolkning af landskabsudviklingen i området mellem Indlandsisen og fjorden. ■

## Andre jøkelløb

De størst kendte jøkelløb er de såkaldte Missoula Floods der indtraf i det nordvestlige USA for 13-15.000 år siden, man regner med at de indtraf ca. hver 55 år. Maksimumsvandføringen er beregnet til 11-17 millioner m<sup>3</sup> pr. sek. Ved Vatnajökull i Island er der konstateret forekomst af jøkelløb med varierende tidsafstand 1 – 10 år. Maksimumsvandføringen har været fra 6.000-45.000 m<sup>3</sup> pr. sek. Fra Vestgrønland kendes mindst 11 større isdæmmede søer, som tappes fra en gang om året til en gang hver 11 år. Maksimumsvandføringen kendes ikke, men tappevoluminet varierer fra 0,1-2,5 km<sup>3</sup> (= 100.000.000 - 2.500.000.000 m<sup>3</sup>)

Jøkelløbet den 31. august havde en skønnet maksimumsvandføring på omkring 1000 m<sup>3</sup> pr. sek.

### Om forfatterne



Bent Hasholt er lektor ved Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet. Tlf.: 35 32 25 07 E-mail: bh@geogr.ku.dk



Sebastian H. Mernild er ph.d. og post doc. ved International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, USA. Indtil februar 2008 gæsteforsker ved CIRES, University of Colorado Boulder, USA.

Skype tlf.: 36 99 27 03 E-mail: fxs@uaf.edu

### Videre læsning:

Mere om jøkelløb kan f.eks. læses på Wikipedia: (<http://en.wikipedia.org>) Gode søgeord er: "Missoula Floods" og "Glacial lake outburst floods".

God lærebog: W.S.B. Paterson: *The Physics of Glaciers* (Pergamon)

Artikel: Knight, P.G. & Russell, A.J. (1993): *Most recent observations of the drainage of an ice-dammed lake at Russell Glacier, West Greenland, and a new hypothesis regarding mechanisms of drainage initiation. Journal of Glaciology, Vol 39, No. 133 pp. 701-703.*