

POLY SCIENCE

NATURVIDENSKAB
FILOSOFI
ERKENDELSE

Grønland hæver sig

Siden 2004 har den sydøstli-ge del af Grønland hævet sig tre gange så meget som nor-malt. Årsagen er isens for-svinden, og processen synes at accelerere. Det bekræfter, at afsmeltningen af is kan foregå meget hurtigere end tidligere antaget.

GEOLOGI

Af Steen Laursen redaktion@ing.dk

Grønland, Skandinavien og mange andre områder omkring Arktis hæ-ver sig med nogle centimeter om året, og det har de gjort, siden istiden sluttede for over 10.000 år siden. Men hvor denne hævning generelt klinger af, så accelererede den i 2004 pludse- lig i Sydøstgrønland. Året før hævede området omkring lufthavnen Kulusuk sig 0,5 centimeter, men i 2004 blev det til 1,5 centimeter. Sådan har det været hvert år lige siden – og ikke bare ved Kulusuk. En 400 kilometer lang kyststrækning syd for lufthav- nen viste sig kort efter at have hævet sig omkring fire centimeter i 2004, mod mindre end en centimeter om året før.

Den korte forklaring er, at kystens indlandsis i 2004 på grund af den globale opvarmning mistede om- kring 250 kubikkilometer is og sne – svarende til en halv millimeter dybe- re hav verden over. Og når man fjern- er det, der tynger Grønland, så svupper landet op.

Overraskede forskere

Abbas Shfaqat Khan er geodæt ved Space Center i København og anker- mand på undersøgelserne af den bratte landhævning. »Lige præcis ved kysten hæver landet sig med over fire centimeter om året, og jo længere du kommer væk, jo mindre bliver landhævningen.« forklarer han. »På østkysten sker massetabet langs en 400 kilometer lang kyst, og her kan man måle upliftet op til 400 kilome- ter ude i havet og inde i landet».

Præcis hvor stort upliftet inde i lan- det er, hvor hurtigt hele indlandsisen forsvinder og mange andre detaljer tør Abbas ikke komme ind på, for for- skerne er endnu ved at analysere de første års data. Tallene skal renses, sammenkøres og publiceres, før de giver et samlet billede. Men rammen er tydelig. Isen forsvinder med sti- gende hast, for stadig flere mekanis- mer træder til og nogle af dem tæn- der igen nye og forstærker andre.

Tilsyneladende flyder isen ud i ha- vet frem for at smelte og strømme bort, og i dag er fænomenet begræn- set til Sydgrønlands østkyst. Men ra- darinterferometriske undersøgelser tyder på, at fænomenet spredt sig mod nord langs kysten. På østkysten

ligger isen derimod højere oppe på fjeldene, så der slår atmosfæretempe- raturen ikke igennem i dag.

Tropisk varme

»Der er to faktorer, som bidrager til, at polerne modtager så meget varme, når Jordens atmosfære varmer op,« forklarer Eigil Kaas forsigtigt. Han er Professor ved Niels Bohr Instituttet i København. »Den, man oftest hører om, er, at Arktis og Antarktis er dæk- ket af is og sne, og når det smelter sta- dig tidligere om foråret, ændrer jor- den og vandet farve, så der bliver ab- sorberet mere sollys i løbet af året. Det hedder is-albedo feedback.«

»Men der er en anden faktor, som bidrager lige så meget. Stiger tempe- raturen med en grad, så stiger det maksimale vanddampindhold i den med 6-7 procent. Da den arktiske at- mosfære generelt indeholder langt mindre vanddamp end tropernes varme atmosfære, vil en stigning på 6-7 procent give en stigning i vand- dampindholdet, som er meget større i troperne end på høje breddegrader.«

»Den forøgede forskel i koncentra- tion medfører, at de almindelige vej- systemer transporterer mere vand- damp mod Arktis, end de gør i da- gens klima. Og når dampen konden- serer i Arktis, frigiver den varmen igen.«

Smurt is strømmer bort

Den varme atmosfære rammer ind- landsisen via dens overflade, for her stiger afsmeltningen fra indlands- isens randområder. Det får gletscher- ne i Sydøstgrønland til at accelerere, men præcis hvordan det sker, undrer Christine Hvidberg sig over. Hun sidder på Københavns Universitet og arbejder med NordGRIP boringen og indlandsisens reaktion på klimaæn- dringerne, og hun er sikker på, at smeltevandet må være nøglen.

»De ret hurtige ændringer i randen af indlandsisen kommer fra klima- ændringerne, men hvis varmen fra atmosfæren selv skulle trænge ned i isen, ville det tage flere tusinde år,« forklarer hun entusiastisk. »Så når isen reagerer så hurtigt, så skyldes det smeltevandet. Man har faktisk målt isens hastighed med GPS i 2002, og man så, at hastigheden vok- sede et par dage efter en stor smel- teevent på overfladen.«

»Så smeltevandet når formentlig en til to kilometer ned i isen, og nede ved bunden sænker det friktionen, så isen kan bevæge sig hurtigere. Isens hastighed kan øges op til fire gange, men vi ved endnu ikke, hvor stor be- tydning denne effekt har for Ind- landsisen på længere sigt,« beklager hun. Samtidig er hun åben for, at smeltevandet kan sætte andre meka- nismer i gang.

Den opdagelse fik forskerne til at ændre det gamle billede af indlands-



isen som en træg isklump, der er vok- set fast til grundfjeldet neden under. I dag regner de den for et dynamisk skjold, der har vand ved en del af grænsen til jorden neden under, og som reagerer på klimaet omkring sig. Faktisk fandt Christine Hvidberg og kollegerne is fra forrige istid ne- derst i NordGRIP boringen, og sam- tidig var der vand nedenunder det – selv her inde midt på Grønland.

»Formentlig stammer i hvertfald halvdelen af indlandsisens årlige massetab fra, at gletscherne kælver, men det hele er så nyt, at vi ikke bare kan putte det ind i en ismodel,« siger hun. Begejstringen over det jomfrue- lige forskningsområde stråler ud af hende. Men det er alligevel tydeligt for hende, at det massetab, som i dag hæver Grønland, er resultatet af, at

atmosfærens varme sender smelte- vand ned i indlandsisen og på en el- ler anden måde speeder den op.

Elastiske klipper

At landet hæver sig, når isen forsvin- der, er en kombination af to mekanis- mer, som tilsammen hedder *viscoela- stic flow*. Den hurtigste mekanisme består i simpel, elastisk deformation af klipperne, og den virker omgæn- de. Princippet er som sålen under en gummisko. Når man tager et skridt, bliver sålen først højere og smallere, fordi kroppens vægt forsvinder, og derefter bliver den atter fladere og bredere, fordi vægten vender tilbage.

I tilfældet på Grønland er det klip- perne under Grønland og Nordatlan- ten, som ændrer formen lidt, nu hvor isen forsvinder. For klipper fra alle

retninger bliver deformeret ind imod kystlinien, hvor der er forsvundet nogle centimeter indlandsis.

Men klipper er ikke mere elastiske end som så, især ikke de kolde helt oppe ved overfladen. Så det er et me- get stort område omkring kysten, som reelt bliver trykket med op. Der- for registrerer forskerne den ekstra hævning helt ud til 400 kilometer fra isranden.

Flydende undergrund

Den anden mekanisme i *viscoelastic flow* er i princippet den samme type væskestrømning, som får et isbjerg til altid at have ca. en tiendedel af sit volumen over havoverfladen. For hvis man skærer den oversøiske del af et isbjerg, så strømmer havvandet ind under det, fordi trykket her blev

lavere, da den oversøiske top holdt op med at tynde. Og vandet strømmer til, indtil bjerget atter har skudt en passende top op over overfladen.

På helt tilsvarende vis ligger Jor- dens sprøde skorpe med sine konti- nenter og flyder oven på Jordens he- de, tunge kappe. Så når man fjerner toppen af et bjerg eller toppen af Grønlands indlandsis, så falder tryk- ket ved grænsen imellem skorpen og kappen, og kappens klipper flyder derfor til.

Nu flyder klipperne i kappen ikke som vand. Der er mere tale om en langsom deformation eller krybning, så denne mekanisme er langsom. Faktisk er det en sådan flydning i kappen, som gør, at Grønland, Skan- dinavien og mange andre områder stadig hæver sig nogle centimeter ind-

året efter sidste istid, selv om den sluttede for over 10.000 år siden. Denne flydning er uelastisk, så hvis man lægger isen tilbage, så springer klipperne ikke bare på plads. De fly- der blot langsommeligt bort igen.

At Grønland hæver sig op af Nord- atlanten giver ganske vist land på lang sigt, men ikke så hurtigt, at Grønland kan gøre krav på ekstra re- sourcer på havbunden. Kravene skal nemlig være rejst senest i 2014, og der er ikke meget håb i de mellemlig- gende 24 centimeter. Til gengæld gi- ver det alverdens klima- og miljømi- nistre et nyt spektakulært udflygts- mål. For udover at området demon- strerer endnu en uventet konsekvens af klimaforandringerne, så viser det også et alvorligere problem meget ty- deligt. Selv om vi har undersøgt ind-

landsisen grundigt i mange år og har rigtig gode modeller for dens bevæ- gelser, så duer de modeller ikke nød- vendigvis, når forholdene ændrer sig.

Derfor kan forskerne blive nødt til at tage nye midler i brug. For eksem- pel har forskere fra NASA's Jet Propulsion Laboratory her i efteråret sat 90 gule badeænder fri inde på Ja- kobshavn Isbræ, mærket med en e- mail adresse samt ordene 'videnska- beligt eksperiment' og 'dusør' på en- gelsk, dansk og grønlandsk. Håbet er at blive kontaktet af hvem der nu må- te finde ænderne, og ad den vej få nye data til en ismodel for indlandsisen i en varmere æra. ■

META SCIENCE

Af Vincent F. Hendricks
Dr.phil., ph.d., professor i
formel filosofi, Roskilde
Universitetscenter
redaktion@ing.dk

Hvad ved jeg?

USA'S TIDLIGERE forsvarsminister Donald Rumsfeld skul- le på Forsvarsministeriets pressekonference 12. februar 2002 forholde sig til en avisand, og i denne forbindelse fik han formuleret det efterhånden legendariske udsagn:

REPORTS *that say that something hasn't happened are always interesting to me, because as we know, there are known knowns, there are things we know we know. We also know there are known unknowns; that is to say we know there are some things we do not know. But there are also unknown unknowns, the ones we don't know we don't know.*

DETTE UDSAGN er efterhånden kendt af alle, men hvad der måske er knap så velkendt er, at Rumsfeld heri formule- rer to af de vigtigste aksiomer i den såkaldte epistemiske logik. Epistemisk logik er et formelt system, der som mål har at karakterisere videns logiske egenskaber og som er specielt interessant for datalogien. Aksiomerne blev første gang formuleret i 1960'erne af den finske logiker og filo- sof Jaakko Hintikka og har siden været væsentlige grund- sætninger i den del af den teoretiske datalogi, der hidrø- rer databaser og vidensrepræsentation

DET FØRSTE axiom kommer til udtryk i Rumfelds 'there are things we know we know'. Dette axiom er bedre kendt i datalogien som positiv introspekti- on, og kan formaliseres i henhold til

»

Man kunne kalde det Rumsfeld's axiom. Spørgsmålet består nu i, hvorledes det skal for- maliseres

'we know there are some things we do not know'. Det svarer til det andet klassiske axiom, der kan karakterisere viden; betegnet negativ introspektion

(2) ¬K_δA → K_δ¬K_δA,

og læses som: 'hvis agenten _δ ikke ved A, så ved _δ at han ik- ke ved A'. Den bedste motivation for dette axiom stammer fra databaseapplikationer: Hvis ens viden er arrangeret som i en database, så betyder det, at alt hvad man ved kan optegnes i denne base, hvilket omvendt betyder, at hvis der er noget man ikke ved, så forefindes det ikke i databa- sen, hvorfor man ved, at man ikke ved det.

KENDT FOR AT VÆRE DRISTIG forsøger den tidligere for- svarsminister sig faktisk også (sandsynligvis uvidende om, at han er ved at gøre sig som logiker og datalog) med at føje et helt nyt axiom til den epistemiske logik med den afsluttende sætning 'there are also unknown unknowns, the ones we don't know we don't know'. Man kunne pas- sende kalde det Rumsfeld's axiom. Spørgsmålet består nu i, hvorledes det skal formaliseres – altså hvordan det mere præcist skal forstås. Man kunne forsøge sig med

(3) A → ¬K_δ¬K_δA,

hvilket betyder, at hvis A er tilfældet, så ved _δ ikke, at han ikke ved A. Heraf følger i hvert fald, at det er muligt, at _δ ved A, men det synes svagere end formuleringen, at der er kendsgerninger derude som vi decideret ikke ved, at vi ik- ke ved, hvis det er det Rumsfeld ved. Hvad ved jeg? ■