

The Day after Tomorrow - uniformitaristernes mareridt?

Tornadoer forekommer i forbindelse med meget kraftige bygeskyer på grænsen mellem varm, fugtig luft og kold, tør luft. De dannes mange steder i verden, dog ikke – som her – i Los Angeles-området, hvilket filmen *The Day after Tomorrow* ellers lægger op til i en visuelt overbevisende og imponerende scene. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)

Baseret på et tema fra dmi.dk med bidrag af: John Cappelen, Ole Bøssing Christensen, Niels Hansen, Eigil Kaas, Steffen Olsen Mads Hvid Ribergaard og Martin Stendel

Dmi.dk har smugkigget på *The Day after Tomorrow*. Filmen er sprængfyldt med vilde, visuelle vejr-fænomener; som vi i denne artikel sætter under meteorologisk lup. Hvad er fup, og hvad er fakta?

Filmen *The Day after Tomorrow* viser naturen fra sin værste side – hagl på størrelse med grapefrugter hamrer ned over Tokyo, orkaner af hidtil usete vindstyrker hærger Hawaii, og altødelæggende tornadoer pisker gennem Los Angeles. Verden går kort sagt under.

Men for en geolog er filmen mere end blot vilde visuelle vejr-fænomener. Den lægger også op til fornyet duel mellem to grundlæggende geologiske tænkemåder: katastrofisme og uniformitarisme.

Uniformitarismens ledetråd er, at naturkræfterne igennem hele Jordens levetid er af samme art og virker med samme intensitet som i dag. "Nutiden er nøglen til fortiden", ynder geologer at udtrykke det – en tanke, der kaldes aktualitetsprincippet. Det betyder, at alle aflejringer skal tilskrives kendte processer, og at man ikke "må" opfinde syndfloder og lignende til at forklare sin lagfølge.

Katastrofisme derimod, giver mulighed for, at Jorden til andre tider kan være hjemsted for stærke og for nærværende ukendte kræfter og mekanismer. Ikke nødvendigvis ved guders indgriben – som i den bibelske syndflod – men i alt fald voldsomme pro-

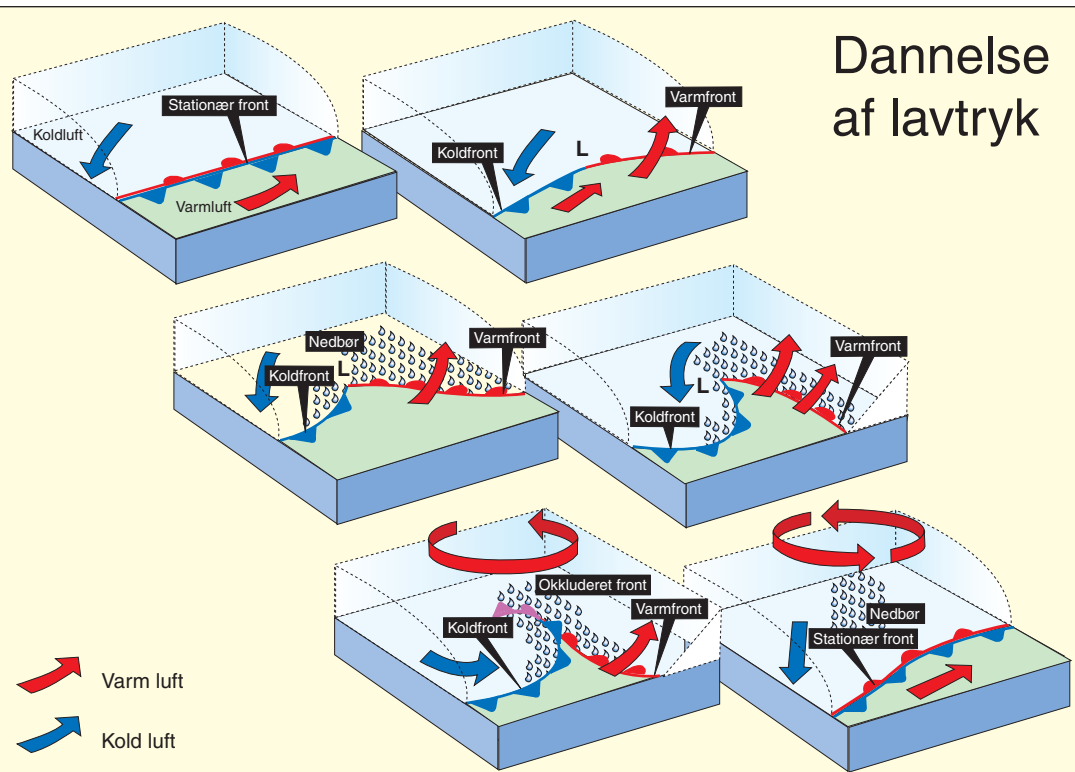
cesser, der ikke er på spil i dag.

Begge teorier har egentlig grundlæggende svagheder. Uniformitarismen, fordi den antager, at vi allerede har styr på alle de mulige processer til trods for vores uhjælpeligt korte dataserier – og katastrofismen, fordi den tillader opdagelse af en unik proces til forklaring af hver enkelt aflejrings.

Uniformitarisme betragtes ikke desto mindre i dag som den fundamentale forudsætning for tolkning af sedimentære bjergarter. Med *The Day after Tomorrow* får vi imidlertid mulighed for at se aktualitetsprincippet i et nyt lys. Er nutiden også nøglen til fremtiden? En håndfuld af DMIs eksperter i meteorologi og oceanografi har kigget processer i filmen igennem og fælder i det følgende deres dom.

God fornøjelse! Niels Hansen, cand.scient.geol. og pressechef på DMI.

Dannelse af lavtryk



Udviklingen af et lavtryk. Den kolde luft fra nord er vist med blå farve og den varme luft med rød. Pilene angiver de vigtigste luftstrømme, og farven viser dens oprindelse. Lavtrykket er markeret med et L. (Grafik: Modificeret af UVH efter DMI)



En snurrebasse, der nok kunne få Voldborg til at forlade sit velfortjente otium og haste ind i tv-byen. Superlavtrykket her har en diameter på mindst 5.000 kilometer - en del større end noget, der ville kunne opstå på planeten Jorden. I forgrunden ses den internationale rumstation ISS. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)

Lavtryk

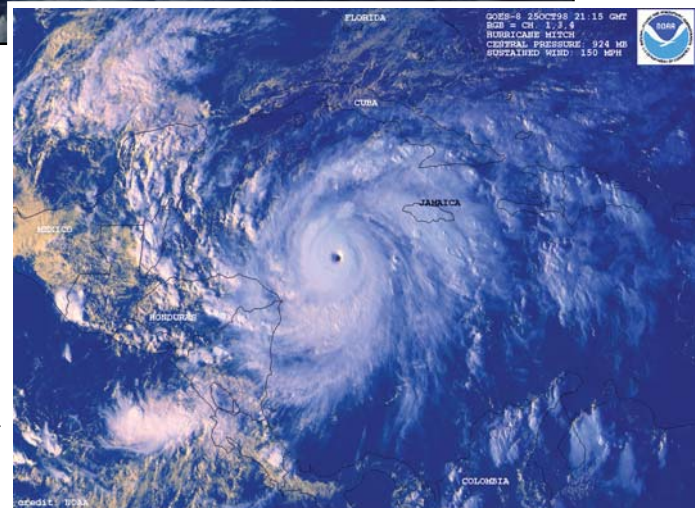
I filmen optræder tre enorme lavtryk (diameter ca. 5.000 kilometer), der har deres oprindelse langt mod nord og i løbet af en uge arbejder sig mod Ækvator og så at sige "fører istiden med sig". Superlavtrykkene kan karakteriseres som kontinentalskala polare lavtryk og har en struktur, der minder om en tropisk orkan.

Først og fremmest kan så udbredte lavtryk slet ikke eksistere på planeter med den størrelse, rotationshastighed og atmosfæresammensætning, Jorden har. De ville simpelthen ikke kunne opstå. Den maksimale diameter for et lavtryk af "tropisk orkan"-type er under 1.000 kilometer – altså fem gange mindre end superlavtrykkene i *The Day after Tomorrow*.

Polare lavtrykssystemer drives af sensibel og især latent varmefrigørelse i atmosfæren og er altid karakteriseret af et varmt centrum. I filmen er kernen (øjet) af lavtrykket imidlertid ekstremt kold. Så kold at temperaturen på et tidspunkt i filmen falder med 6 °C pr. sekund (!) Et sådant temperaturfald er næsten umuligt at opnå – det gælder både for lavtryk og for alle andre meteorologiske systemer. Det kræver nemlig et samtidigt lynhurtigt fald i lufttryk til et niveau, der er så lavt, at liv ikke er muligt. Og det er ikke tilfældet i filmen, for der både åndes og brændes bål, mens orkanens øje passerer. En så pludselig trykændring kan kun ske, hvis der er vindstyrker langt over lydens hastighed. Og det ser man heller ikke.

Det argumenteres for øvrigt i filmen, at luften trækkes ned fra den øvre del af troposfæren (otte kilometers højde om vinteren), hvor lufttrykket er meget lavt og temperaturen lav, men dette ville heller ikke være muligt uden fuldstændigt ekstreme vindstyrker, der kunne modvirke, at luften presses sammen efterhånden som den presses nedad mod det højere tryk nær jordoverfladen.

Et rigtigt, jordisk lavtryk – orkanen Mitch fra 1998. Mitch er en af de værste orkaner i nyere tid og medførte store oversvømmelser og jordskred i Centralamerika. Over 11.000 mennesker døde, mere end 18.000 blev meldt savnet, og 3 mio. blev forflyttet. (Foto NOAA; <http://www.osei.noaa.gov/mitch.html>)



Den lynfrosne mammut

I *The Day after Tomorrow* omtales en hel, dybfrosen mammut fra Sibirien som bevis på, at processen, der lægger den nordlige halvkugle på is, har været på spil tidligere i den geologiske historie. En sådan mammut – ja over 15 – eksisterer faktisk. Deres skæbne er dog en anelse anderledes, end det fremgår i filmen.

Det mest kendte eksemplar er den såkaldte Beresovka-mammut, der i år 1900 blev gravet ud af permafrosen jord i Sibirien. Eksemplaret var i næsten perfekt stand og havde blandt andet munden fuld af mad. Den var tydeligvis blevet overrasket, begravet og bevaret meget hurtigt. Den mest sandsynlige forklaring er, at Beresovka-mammuten og dens lige er blevet taget på sengen – og begravet af mudderskred. Det er et fænomen, der er overordentligt hyppigt forekommende i regioner med permafrost; hvilket vil sige næsten alle mammuternes kendte levesteder.

I områder med permafrost er jorden frosset til stor dybde – så stor at sommerens varme ikke når ned og tør de dybeste lag op. Samtidigt kan smeltevand fra de øvre jordlag ikke sive ned og væk på grund af frosten længere nede. Det betyder, at man i en del af året i praksis har en pakke tyndt-flydende mudder på en skøjtebane. Det er en cocktail, der kan sættes i skæbnsvanger bevægelse af den mindste forstyrrelse – for eksempel en jordrytelse – i en proces, der kaldes solifluktion eller jordflydning. Mammutten er altså blevet begravet i iskoldt

mudder. Mudder, der formentlig kort efter frøs og derved indkapslede – og i praksis mumificerede – det store pattedyr før eftertiden. I det hele taget er mudder-, jord- og sandskred meget hyppige processer til bevaring af fossiler.

Der er fundet andre mammuter i langt dårligere bevaringsstand end Beresovka-eksemplaret. De har tydeligvis været døde et stykke tid, før de blev begravet og frosset ned. Det faktum blev faktisk allerede så tidligt som i 1909 tolket som et modbevis til teori om "pludselig dybfrysning". Lektor Kim Aaris-Sørensen fra Zoologisk Museum fortæller i øvrigt, at forskerne i starten af det 20. århundrede troede, at mammuter var stort set hårløse, fordi eksemplarerne fundet i Sibirien praktisk taget ikke havde en trel på kroppen, når de videnskabelige ekspeditioner nåede frem. Senere undersøgelser viser, at pelsen bliver trukket ud af hårsækkene under frysningen, men ofte fandt man heller ikke håret i sedimentet 20-30 centimeter fra kadaveret, som man så ellers skulle forvente. Det viste sig nemlig, at de lokale beboere simpelthen stjal håret fra de store dyr, efterhånden som det smeltede fri – uldne, rød-brune striktrøjer af 30.000 år gammel mammut-uld er nemlig noget af det varmeste, der findes...

Flodbølge

I filmen overskyller en flodbølge New York. Bølgen når frihedsgudinden (93 meter) til brystet og er således over 50 meter høj! Bølgen efterlader New Yorks gader



Vindskabte bølger over åbent hav kan blive godt 20 meter høje. I *The Day after Tomorrow* opnår bølgen, der rammer New York, dog en højde på imponerende – og urealistiske – 50 meter. Faktisk minder bølgen i filmen langt mere om en såkaldt tsunami (jordskælvsbølge) end om en vindskabt. En tsunami er flere hundrede km lang, det vil sige 100-1.000 gange længere end en vindskabt bølge og indeholder således meget mere energi. Til gengæld er den maks. en meter høj. Først når den kommer ind på lavt vand, tårner bølgen sig op og vælter ind over kysten. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)

vandfyldte, og en førerløs coaster blæser ind i gaderne.

Bølgen benævnes i filmen “storm surge” (stormflod) – altså en bølge stuvet op mod en kyst som følge af vind. Det kan enten være den direkte vindpåvirkning fra hav til kyst eller en vindskabt bølge dannet over åbent hav, der så forplanter sig ind mod kysten.

Vindskabte bølger over åbent hav, hvor vinden blæser konstant i orkanstyrke i fire døgn med et stræk over 3.000 kilometer, vil blive godt 20 meter høje. De vil ikke vokse mere, da den energi, de modtager fra vinden, vil forsvinde i samme takt, som bølgerne

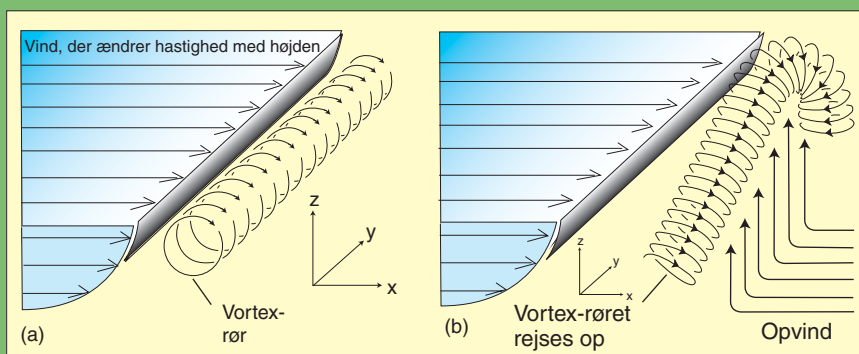
brydes. Når bølgen når grundt vand, stuves den op afhængigt af bundforholdene. Denne slags bølger indeholder imidlertid ikke nok energi til at kunne skabe en bølge af den størrelse, som ses i filmen.

En helt anden type bølge, som kommer nærmere på det, man ser i filmen, er en tsunami. Den kan blandt andet opstå som følge af et undersøisk jordskælv, undersøiske skred i havbunden eller – i mindre voldsom form – fra pludselige ændringer i atmosfærens tryk – fx i forbindelse med kraftigt tordenvejr.

Tsunami er bevæger sig med op til 700 km/t ude på det dybe ocean. En tsunami er

flere hundrede km lang, det vil sige 100-1.000 gange længere end en vindskabt bølge og indeholder således meget mere energi. Til gengæld er den maksimalt en meter høj, så på åbent hav passerer tsunami'en upåagtet forbi. Først når den kommer ind på lavt vand, tårner bølgen sig op og vælter ind over kysten. En tsunami-lignende bølge kan også opstå ved fx et stort stenskrud som det i Diskobugten ved Grønland, der i 2000 ødelagde store dele af en gammel ubeboet minebygd. Når en tsunami nærmer sig kysten, trækker vandet sig først tilbage, hvorefter den egentlige bølge vælter ind over land. Dette vil medføre store ødelæggelser, hvilket slet ikke ses i filmen, hvor alle skyskraberne står helt intakte tilbage. Dernæst vil vandet stille forsvinde og ikke bare blive liggende som i filmen. Coasteren, der i filmen stille og roligt drev ind mellem husene, ville med stor sandsynlighed være totalt havareret ved passagen af bølgen.

Tornadoer



a) Tornadoer starter deres liv oppe i luften, som en usynligt, roterende bevægelse - et vortex-rør. Vortex-rør opstår, fordi vinden blæser kraftigere i højden, end den gør nede ved jorden, hvilket giver den roterende bevægelse. Det svarer til bølger, der brydes inde under stranden, fordi toppen bevæger sig hurtigere frem end bunden. I luft bliver brydningen blot ved og ved.

b) Forblev den roterende bevægelse blot vandret og i højden, var den forholdsvis uskyldig. Men i forbindelse med kraftige tordenbyger kan det voldsomme opvinde rejse vortex-røret op, så det ender lodret. Når den ene ende af røret rammer jorden, er tornadodannelsen fuldført.

Tornadoer i Los Angeles

Med vilde vindhastigheder smadrer en hærskare af tornadoer en del af Los Angeles godt og grundigt – herunder noget så helligt som Hollywood-skiltet. Biler, busser og byggematerialer flyver rundt mellem hinanden, mens skyskraberne langsomt gnaves ned til grunden.

Det er usandsynligt, at tornadoer skulle optræde så talrigt og så spredt på et så lille område og med et sådant bevægelsesmønster, som det ses i filmen. Stærkt usandsynligt er det også, at busser og lastbiler med anhængere kan hvirvles op og flyve rundt, som filmen viser, selv om de kraftigste tornadoer nok kan flytte noget rundt på selv større biler. For øvrigt er Los Angeles i dag slet ikke et tornadoområde, og det er ret usandsynligt, at det vil blive det selv under fremtidens ændrede klima.

Tornadoer forekommer i forbindelse



Den forlattede mineby Qullissat ligger 40 km fra Paatuut på den anden side af Vajgat. Den lå lige i "skudlinjen" for tsunamien, der var udløst af et fjeldskred. Allerede i dagene efter skreddet stod det klart fra fotografier taget af politiet i Ilulissat, at der var sket ganske betydelige ødelæggelser i byen. Besøg den følgende sommer viste, at tsunamien her havde en maksimal højde på 30 m over havniveau og nåede op til 250 m ind på land.

Qullissat før og efter tsunamien. Bemærk det grønne hus på begge billeder – billedet til venstre er taget i 1985, det nederste billede i 2001. Det ligger lige i randen af det store område, der blev raseret af tsunamien. Bemærk også de store mængder sammenskylltet tømmer. Læs mere om fjeldskredet og andre naturkatastrofer på: <http://www.geus.dk/publications/geo-nyt-geus/gi023.htm>. (Foto: Lotte Melchior Larsen, GEUS)

med meget kraftige bygeskyer i grænsefladen mellem varm, fugtig luft og kold, tør luft. De dannes mange steder i verden, men specielt hører man meget om tornadoer over de centrale dele af USA, hvor mere end tusind er observeret på et år. Tornadoer dannes gerne i forbindelse med såkaldte konvergenslinier, hvor vindene blæser mod hinanden. I mange lande optræder hvirvlerne som skyumper, der principielt er nogenlunde det samme fænomen, men hyppigst i meget mindre kraftige udgaver. De meget kraftige tornadoer, der kendes som F5-tornadoer – med store ødelæggende kræfter – er heldigvis forholdsvis sjældne. De kræver såkaldte supercelle storme, der kun udvikles under specielle vejrforhold.

Vindhastigheden i tornadoens roterende bevægelse når i disse ekstreme tilfælde op



på over 500 kilometer i timen, samtidig med at tornadoen fejer hen over jorden med op til 200 kilometer i timen. I sjældne tilfælde kan der fra samme skysystem observeres 2-3 tornadoer, der "danser" ind imellem hin-

anden. Man taler også ind imellem om deciderede tornadoudbrud, hvor mange tornadoer opstår over en forholdsvis kort periode. Den 3-4. april 1974 blev der således registeret ikke mindre end 144 tornadoer fordelt på 13 stater, men så sent som i maj 2004 opstod der også mange, ca. 110, i USA's midtvest. Der er dog tale om forholdsvis store områder, der bliver hjemsøgt. Den hidtil største "dræber-tornado" opstod 18. marts 1925 og efterlod 695 døde og 2.027 sårede i sit 350 km lange spor gennem Missouri, Illinois og Indiana.

Kæmpehagl i Tokyo

I filmen optræder nedbør i forskellige, farlige former. Haglene i Tokyo er nok isoleret set de mest alvorlige. Japans hovedstad rammes først af ét, siden hen af et stort antal isklumper af grapefrugtstørrelse, der smadrer alt, hvad de møder.

Hagl dannes normalt, når underafkølede skydråber i store bygeskyer "forstyrres" og fryser momentant til is. Efterhånden som haglene støder sammen med flere underafkølede dråber i skyen, bliver de større og større – der bliver lagt lag på lag. Kraftige opvinde i de store bygeskyer sørger for, at haglene hvirvles op og ned og ikke falder ud af skyen på grund af tyngdekraften.

Jo højere temperatur, der er i skyen, jo hø-



I Ilskov sydvest for Karup i Midtjylland forårsagede en skypumpe – efter danske forhold – alvorlige ødelæggelser den 18. juni 2002. (Foto: ©Flyvevåbnets Fototjeneste)

jere vil vandindholdet også være, og jo mere is kan der akkumuleres på haglene, men jo højere vil 0-grader grænsen også ligge oppe i atmosfæren. Det gør området, hvor isfasen findes, og haglene vokser, mindre.

En ting er helt sikkert. Der skal være utroligt meget vand tilstede for at danne store hagl. For at haglene kan blive meget store, skal opvindene i skyen være endog meget kraftige og vedvarende for at holde haglet i luften. Det kraftige opvindsområde i veludviklede bygeskyer er gerne ret lille i udstrækning og "flytter" sig sammen med skyen. For at haglene kan nå at vokse sig store, skal de så at sige hele tiden gribes af nye opvinde, der opstår efterhånden, som skyen bevæger sig henover landskabet. Skyens udstrækning skal også være pænt stor, før haglene også kan blive det.

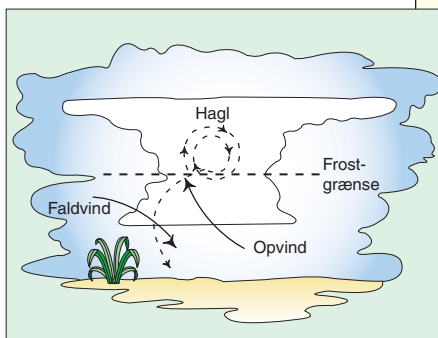
Ind imellem falder der dog store hagl rundt om i verden. Og når de når en vis størrelse, er de selvsagt meget farlige – her er filmen helt på linie med virkeligheden. Der berettes fra tid til anden om hagl i appelsinstørrelse med en diameter på ca. otte cm! Hyppigheden af sådanne hagl i en haglbyge er dog ekstremt lav. Det største kendte hagl havde en diameter på 14 cm og vejede 757 gram – noget af en basse. De senere år har man diskuteret forskellige forekomster af super-kæmpehagl i fodboldstørrelse, der er fundet rundt omkring i verden, uden man er nået til enighed om, hvorvidt der er tale om rigtige hagl.

Hagl på størrelse med grapefrugter i et antal som man ser på filmen – og måske over et stort område – er overdrevet i forhold til selv de kraftigste bygeskyer (super-cellestorme), vi kender til i dag. Hvis betingelserne for dannelse af bygeskyer bliver gunstigere i et forandret klima, vil man dog helt sikkert se, at hyppigheden af hagl i appelsinstørrelsen bliver større.

Fem meter sne i Europa

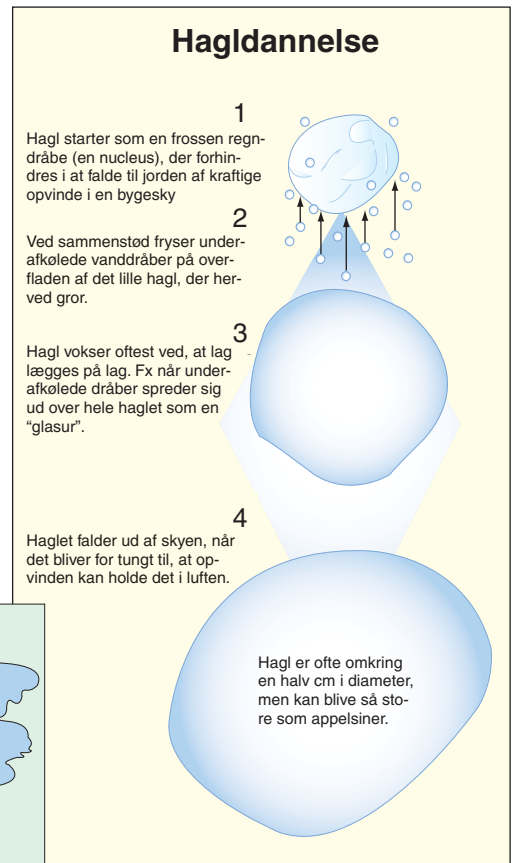
I filmen ser man satellitbilleder, som viser, at hele Europa er dækket af sne. Det frem-

Hagl dannes normalt, når underafkølede skydråber "forstyrres" og fryser til is. Haglene vokser, når de støder sammen med flere underafkølede dråber. Kraftige opvinde sørger for, at haglene hvirvles op og ned og ikke falder ud af skyen på grund af tyngdekraften. For at skabe kæmpehagl kræves enorme mængder underafkølet vand og endog meget kraftige opvinde for at holde dem i luften. (Grafik: UVH modificeret efter DMI)



går, at sneen har en gennemsnitlig dybde på 15 fod; ca. fem meter. Udbredt snefald af den størrelsesorden er simpelthen ikke fysisk muligt på så kort tid. Hvor meget sne, der kan falde fra en luftmasse, afhænger af vanddampmængden i atmosfæren, som igen afhænger af temperaturen.

En kubikmeter luft kan ved 20 °C indeholde 17 gram vanddamp, ved 0 °C kun fem gram og ved -20 °C ikke mere end ét gram. For hele atmosfæren svarer det ved 0 °C til ca. 10 millimeter vand, som efter en tomme-fingerregel giver ca. 10 centimeter sne. Meget mere nedbør er mulig, når temperatu-



reme er højere – men vanddamp kan dog også transporteres med vinden fra andre steder. På den måde er meget større sne-mængder mulige. Det gælder dog ikke over en region så stor som Europa, simpelthen fordi der ikke kan skaffes vanddamp nok. Lokalt er fem meter sne dog muligt. I februar 1999, det tyvende århundredes sne- og lavinerigeste måned, blev der visse steder i Schweiz observeret sne i de mængder. Det var dog i løbet af en måned – ikke dage, som i filmen. Det tykkeste observerede sne-dække i Mellemeuropa er 8,30 meter målt i 1943 på det tyske bjerg Zugspitze.

Havstrømme og klimaændringer

Udgangspunktet for filmens pludselige udbrud af voldsomme klimaforandringer, som på en uge bringer den nordlige halvkugle ind i en istidslignende tilstand, er en ændring i det Nordatlantiske Oceans cirkulation. I filmen skildres dette ved, at en række af observationsbøjer spredt rundt i Nordatlanten måler et samstemmende temperaturfald på 13 °F (7,2 °C). Det starter med en enkelt bølge og spreder sig i løbet af et døgn som en kold steppebrand til hele den nordlige del af Nordatlanten.

Filmens forsker har forudsagt, at denne pludselige ændring vil komme før eller senere som konsekvens af den globale opvarmning og øget afsmeltning fra klodens iskapper, som snart vil forsvinde. En dramatisk skildring af forrige års meget omtalte og bekymrende episode ved Anarktis, hvor en stor del af Larsen Isshelfen brækkede af



Sneen vælter ned over både udvalgte storbyer og hele kontinenter i *The Day after Tomorrow*. Megen sne kræver megen vanddamp; og megen vanddamp kræver en forholdsvis varm atmosfære – noget der ikke er belæg for i filmen. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)



Tsunamien, der rammer New York, fryser, inden den trækker sig tilbage; endnu et scenario, der mangler videnskabelig substans. Vandet må normalt forventes at ville trække sig tilbage, og det kræver et uhyggeligt og usandsynligt energitab til luften for at fryse så meget vand så hurtigt. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)

og flød ud i Sydhavet, bruges i filmen til at skabe en forbindelse til faktiske klimaforandringer. Oceanografisk set er det ikke urealistisk, at man lokalt kan observere temperaturændringer på syv grader over kort tid. Dette vil også kunne forekomme i Nordatlanten, hvor kolde og varme vandmasser mødes.

Golfstrømmen og dens fortsættelse mod nord, den Nordatlantiske Strøm, transporterer en meget varm og salt vandmasse fra Caribien og ind i de Nordiske Have (Islands-, Norske- og Grønlandshavet).

Denne strømning har langt fra et lige forløb, men ses som en ret hvirvelfyldt strømning, der til tider er ret intens og til andre tider og andre steder relativt diffus. Derfor observeres naturligt store lokale temperaturforskelle i nærheden af disse strømme, som kan modsvare filmens hurtige ændringer. Derimod kan denne variation af strømme ikke forklare samtidig afkøling over store områder.

Indstrømningen til de Nordiske Have er til dels drevet af nedsynkning og forbundet med dannelsen af dybvand. Nedsynkningen er unik for Nordatlanten og kun mulig, da det varme og salte vand i den Nordatlantiske Strøm opnår en meget stor massefylde, når det gradvis afkøles. Dybvandet flyder ud af de Nordiske Have, opblandes delvist og fortsætter sydover ved stor dybde. Dette dybvand er hovedelementet i et globalt cirkulationssystem, Den Thermohaline Cirkulation, som skematisk kan betragtes som en stor celle, hvor Golfstrømmen og den Nordatlantiske Strøm udgør den øvre del (se figur).

Det pludselige og udbredte temperaturfald skyldes i filmen en form for kollaps af denne celle. Dette scenario ligger ikke langt fra det, vi betragter som muligt og kan studeres i computersimuleringer af den oceane cirkulation, men kun hvis man påfører Nordatlanten en stor mængde ferskvand. Ferskvandet gør overfladevandet relativt fersk og forhindrer effektivt nedsynkning og dannelse af dybvand. Afledt heraf ændrer den Nordatlantiske Strøm styrke og rute, hvilket medfører betydelige temperaturændringer i havet og over land. Modellerne

viser imidlertid, at tidskalaen for denne respons er årtier, ikke døgn, som filmen viser.

Filmens fremfører afsmeltningen fra iskapperne som hovedårsag til den pludselige ændring i det Nordatlantiske Oceans cirkulation. I den videnskabelige klimadebat er øget afsmeltning fra Grønlands iskappe i fokus. Derimod er der ikke videnskabeligt belæg for at sammenkæde pludselige ændringer i Nordatlanten med Larsen Isshelfens kollaps ved Antarktis.

En konsekvens af global opvarmning er også gradvist øget nedbør i de arktiske egne.

Havstrømme

Havstrømmene i Nordatlanten er i høj grad styret af de østlige passatvinde omkring Ækvator, vestenvindsbæltet på mellem-breder samt østenvindene ved Nordpolen. Passatvinden driver vestgående strømme ved Ækvator, som bøjer mod nord nær Caribien og danner Golfstrømmen. I mødet med vestenvindsbæltet skilles Golfstrømmen fra kysten og bevæger sig østover mod Europa som Den Nordatlantiske Strøm. Undervejs deler den sig op i to grene, hvor den ene bøjer mod syd som Kanariestrømmen, den anden strømmer mod det Arktiske Ocean via de Nordiske Have med en gren mod Irminger Havet syd for Island. Det Arktiske Ocean tilføres store mængder ferskvand via floder, og udstømning af koldt, relativt ferskt vand sker via Den Østgrønlandske Strøm og gennem øhavet



(Grafik: UVH modificeret efter DMI)

mellem Grønland og Canada, hvor det bidrager til Labrador Strømmen.

Denne nedbør vil også mindske saltholdigheden i de Nordiske Have og derved svække dannelsen af dybvand. Effekten vil dog delvist kompenseres af, at saltholdigheden i Golfstrømmen og den Nordatlantiske Strøm øges via øget fordampning fra de tropiske havområder. Der er imidlertid ret stor videnskabelig enighed om, at den Nordatlantiske ocean-cirkulation er relativt stabil, samt at det vil kræve store ændringer i nedbør og afsmeltning, for at en pludselig ændring kan indtræffe. Klimaforskere kan dog ikke udelukke en pludselig ændring i den Nordatlantiske Ocean-cirkulation som direkte konsekvens af global opvarmning, men langt de fleste modelsimuleringer af det 21. århundredes klima viser kun gradvise ændringer i oceancirkulationen, som klimatisk kun har mindre betydning.

Istider og klimaændringer

Der har i mange år været generel enighed om de grundlæggende årsager til istidernes kommen og gåen. Hypotesen kaldes Croll-Milankovitch-teorien og postulerer, at istiderne skyldes små, cykliske variationer i Jordens bane om Solen. Variationer, der fører til et kompliceret mønster af ændringer i fordelingen af Solens energi på Jorden, og derfor påvirker de globale energibalancer og varmetransporter og hermed klimaet. Nu er de små variationer i fordelingen af Solens energi imidlertid ikke alene nok til at medføre de store udsving i Jordens gennemsnitstemperatur, der finder sted fra varmetid til istid og tilbage igen. Her spiller kuldioxid nemlig en vigtig rolle som forstærkende mekanisme.

Data fra blandt andet de antarktiske iskerner – som helten i *The Day after Tomorrow* netop arbejder med – viser, at atmosfærens kuldioxidindhold i store træk svinger sammen med temperaturen, men at kuldioxidindholdet halter efter klimaændringerne. Først bliver det varmere og så – ca. 1.000 år senere – stiger kuldioxid-



*Dagen er nu i overmorgen, og processen er bragt til ende - den nordlige halvkugle er indhyllet i et ispanser, og alt liv har givet fortabt. At vi en dag får en ny istid, er de færreste klimakyndige i tvivl om, men at det sker som skildret i filmen *The Day after Tomorrow*, er der ikke meget belæg for. (Foto fra filmen. © 2004 Twentieth Century Fox)*

mængden. Omvendt når det bliver koldere.

Kuldioxid er således en af flere såkaldte feedback- (eller tilbagekoblings-) mekanismer, der forstærker de små ændringer i fordelingen af Solens energi. Når den første svage opvarmning sætter ind, fører det til en lille stigning i atmosfærens kuldioxidindhold, der igen øger temperaturen en smule og så fremdeles. Også den naturlige drivhusgas metan virker på denne måde som en tilbagekoblingsmekanisme, der forstærker klimaændringer.

En anden vigtig tilbagekoblingsmekanisme er den øgede tilbagekastning af energi til verdensrummet, der finder sted, når polarisen breder sig. Mere is og sne giver øget energitab til verdensrummet, der fører til yderligere afkøling af planeten, hvilket igen øger isens udbredelse, der fører til yderligere energitab og så videre og så videre.

En tredje fundamental tilbagekoblingsmekanisme i klimasystemet har med vanddamp at gøre. Vanddamp er en drivhusgas, men den maksimale mængde vanddamp, atmosfæren kan indeholde, er stærkt afhængig af temperaturen. Jo varmere det er, jo mere vanddamp kan der være, og jo mere

opvarmende effekt fra vanddamp. Det omvendte, gør sig gældende, når det er koldt, som under istiderne. Her bliver det særlig koldt, netop fordi der er så lidt vanddamp.

Udgangspunktet for filmen er, at en istid igangsættes pludseligt og alene ved et nedbrud af oceancirkulationen. Dette er ganske kontroversielt. Det er rigtigt, at et nedbrud af oceancirkulationen (den såkaldte termohaline cirkulation) i sig selv kan føre til væsentlig regional afkøling over betydelige dele af den nordlige halvkugle. Men at dette i fuldt omfang kan aktivere de globale tilbagekoblingsmekanismer, der skal til for at istiden virkelig udvikler sig, er tvivlsomt.

Flere nyere forskningsresultater antyder, at de voldsomme temperaturvariationer, man har set i blandt andet grønlandske isborekerner (som følge af hurtige ændringer i den termohaline cirkulation), er knyttet til meget kolde klimasituationer. Den termohaline cirkulation er sandsynligvis mere stabil, når klimaet er varmt som nu, og desuden bliver temperaturændringerne i fx Europa og Arktis i forbindelse med variationer i oceancirkulationen, formentlig langt mindre.

Dommen

The Day after Tomorrow er altså ikke i stand til for alvor at slå uniformitarismen af banen som fortolkningsmæssigt fundament for både fortid og fremtid. De hidtil ukendte – og derfor katastrofistiske – processer i filmen kan nemlig uden de store problemer påvises at være i strid med grundlæggende fysiske principper.

At filmens effekter kun er visuelt og altså ikke videnskabeligt overbevisende, skyldes dog uden tvivl et bevidst valg fra producentens side. Indholdet (videnskaben) måtte så at sige vige for formen, da de enkelte scener skulle designes. For at komme

tæt på fænomener, der – isoleret set i alt fald – ville kunne stå for en meteorologisk og oceanografisk granskning, skulle der være skruet væsentligt ned for styrken og hastigheden af de enkelte processer.

Men betyder det, at fordi uniformitaristerne har ret i dag, så kan katastrofisterne ikke få ret dagen efter i morgen? ...eller sagt på en anden måde - hvilken allerede kendt proces vil fremtidens kakerlakgeologer mon gribe til for at forklare det tre meter tykke, højradioaktive øldåse-konglomerat, der måske bliver menneskehedens eneste budskab til eftertiden? ■

FALKENBERG
A/S MILJØRÅDGIVNING

- Undersøgelser
- Risikovurdering
- Projektering
- Oprydning
- In-situ
- Monitorering

Vassingerødvej 145, Lyngby
Tlf: + 45 48 18 75 66

Herningvej 36, Nykøbing F
Tlf: +45 54 82 45 65

www.falkgeo.dk
falkenberg@falkgeo.dk