

# Vulkanutbrudd kjøler ned jorda

**En opererer med åtte ulike styrkegrader på vulkanutbrudd. Det største utbruddet siste 250 år hadde styrke 7. Utbrudd med styrke 8 fra supervulkaner vil kunne gi et livsutslettende askelag over store deler av jorda og mye kaldere klima.**

**Sigbjørn Grønås,**  
**RegClim**

Tsunamien 2. juledag har minnet oss om at uforutsigbare hendelser i naturen kan forandre historien. I ettertid har en pekt på behovet for varsling av tsunamier. Mye kan gjøres like i etterkant av et undersjøisk jordskjelv, men selve skjelvet kan neppe noen gang varsles. I klimasammenheng er det store vulkanutbrudd som står for det uforutsigbare. Som kjent kan disse kjøle ned atmosfæren i noen år. Når et stort vulkanutbrudd er skjedd, og vi har gode anslag for utslippene til atmosfæren, kan en med rimelig sikkerhet anslå klimaendringene som vil følge.

## Året uten sommer

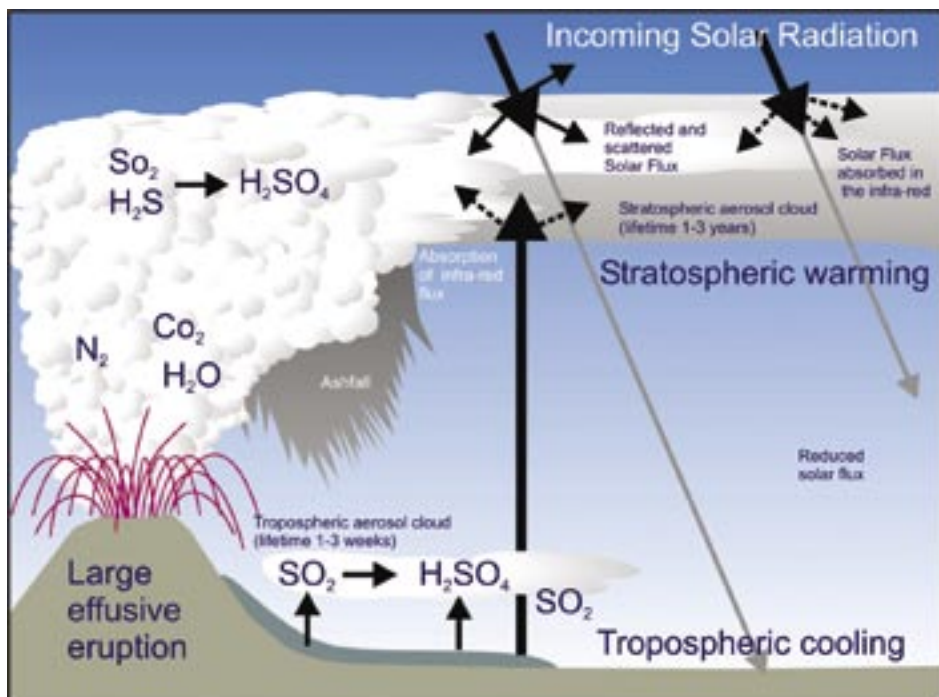
Vulkanutbruddet fra Tambora på øya Sumbawa i Indonesia i april 1815 er det største i moderne tid. Den britiske guvernøren på Java skrev at et område med en omkrets på over 1600 km ble dekket med aske. Lyden var uutholdelig, og virvelvinder tok med seg folk og fe opp i lufta. Etter tre måneder med utbrudd var Tambora blitt hele 1300 m lavere. Toppen hadde forsvunnet i en sky av lava og fin aske som steg høyt opp i atmosfæren.

Sommeren 1816 gikk inn i historien som "året uten sommer". Spesielt ble Europa og østkysten av Nord-Amerika rammet av uvanlig vær. I England var gjennomsnittlig sommertemperatur mellom 2,3 og 4,6 °C kaldere enn normalt. Det ble svikt i avlingene de fleste steder, innhøstingen var den laveste på svært lang tid. Prisen på brød og korn ble rekordhøy. I Frankrike var avlingene bare halvparten av et normalår. Nordvest i Frankrike ble ikke druene modne. Sørlige Tyskland opplevde katastrofe i landbruket, neste vinter ble det hungersnød for mange. I Sveits ble året etter kalt "tiggerens år". I Irland antar en at 65 000 døde som følge av matmangel. Høye matpriser og arbeidsløshet førte til mye oppstand mange steder rundt om i Europa, og militære styrker måtte settes inn for å holde orden.

Over østkysten av USA (Ny-England) kom våren sent med frost til ut i midten av mai. Det ble plantet korn, poteter og grønsaker, men mye ble ødelagt da det igjen kom kaldt vær fra begynnelsen av juni. Mellom 5. og 10. juni falt det fra 8 til 15 cm med snø over de nordligste områdene. De fleste måtte plante på nytt. En måned senere kom det en ny

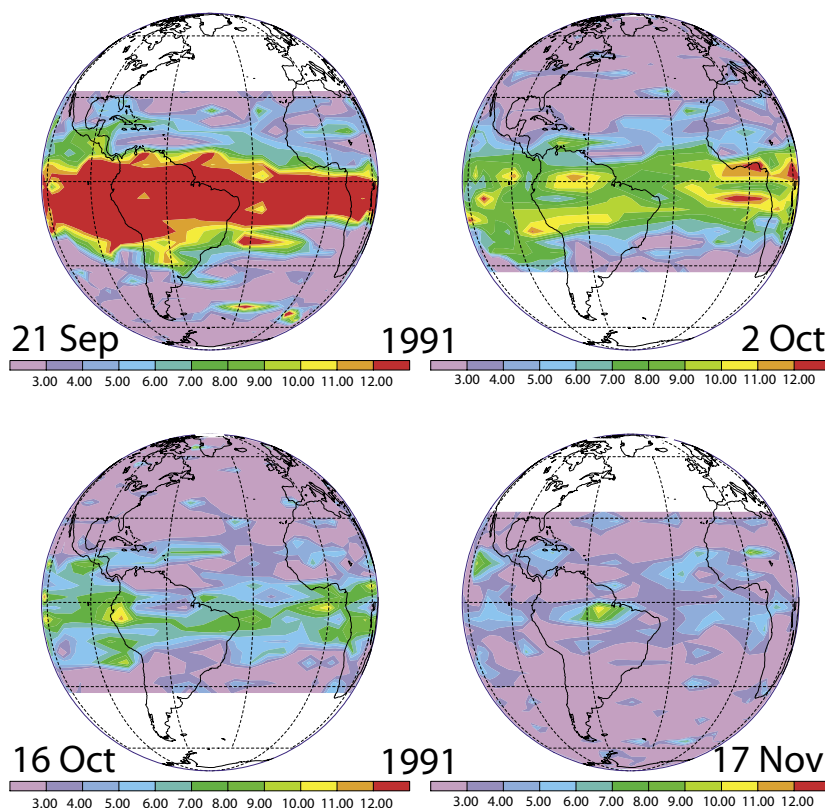


Vulkanutbrudd fra St. Helens. Foto fra USGS tatt 18. mai 1980 av Austin Post.



Figur 1. Klimapåvirkning av et stort vulkanutbrudd (prinsippskisse).

## UARS MLS Measurements of SO<sub>2</sub> from the Pinatubo Volcano



Figur 2. Forskningssatellitter for øvre atmosfære (UARS) overvåket spredningen av SO<sub>2</sub> fra Pinatubo. Figuren viser SO<sub>2</sub> i 22 km høyde for ulike datoer (skala ppb: deler per en milliard deler luft). Figuren er laget av Joe Waters og Bill Read, Jet Propulsion Laboratory, USA.

periode med kaldt vær, og det ble observert frost i Maine. Igjen ble avlingene ødelagt mange steder og noen plantet for tredje gang. Bedre vær i august førte likevel til brukbare potetavlinger. I New Haven regner en at vekstsesongen normalt varer 155 dager. Dette året var den hele 55 dager kortere.

### Styrke på utbrudd

Vulkanforskere har datert mer enn 5500 vulkanutbrudd siden istiden. Siden utbruddet på Tambora har det funnet sted mange store utbrudd, men ingen så store som det. Styrken på utbruddene anslås med Volcanic Explosivity Index (VEI, en slags logaritmisk skala slik som Richters skala for jordskjelv). I en liste over de største utbruddene siste 250 år er utbruddet fra Tambora det sterkeste med VEI=7. De mest kjente av de andre utbruddene er det fra Krakatau i Indonesia i 1883 (VEI=6), St. Helens, USA 1980 (VEI=5), El Chichon 1982 (VEI=5) og Pinatubo, Filippinene 1991 (VEI=6). I klimasammenheng er det først og fremst mengden av svovelforbindelser til atmosfæren som teller. Vulkanologene anslår svovelmengden som tilføres atmosfæren i megatonn (1 Mt: en million tonn). Det er anslått at Tamborautbruddet ga 130 Mt svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) til atmosfæren, Krakatu 32, St. Helens 1, El Chichon 7 og Pinatubo 17 Mt. En har beregnet at i gjennomsnitt over mange år står vulkanene for cirka 14 prosent av alle svovelutslipp, mens menneskenes utslipp utgjør hele 2/3.

### Store utbrudd i historien

Utbruddet fra Santorini i Egeerhavet 1450 år før Kristus har interessert mange og knyttes til legenden om Atlantis. En tror utbruddet kan sammenlignes med Tamborautbruddet i styrke. Det aller største utbruddet siste to millioner år kom fra vulkanen Toba på Indonesia for omtrent 75 000 år siden. Utbruddet førte kanskje så mye som 6000 Mt svovelholdige gasser opp i atmosfæren. Men usikkerheten i anslagene er store. En regner med at alt

liv på Sumatra ble utryddet og at askelaget var betydelig over Kina og India. En har anslått at utbruddet førte til en reduksjon i global temperatur på 4-5 °C over noen år (innen en istid). Askelaget og klimaeffekten førte til utryddelse av mye biologisk mangfold på jorden.

Hans Amundsen holdt i april et interessant foredrag på P2-akademiet, NRK, kalt "Yellowstone på vent". Her beskriver han utbrudd med VEI=8 fra såkalte supervulkaner, spesielt et enormt utbrudd fra Yellowstone for 10 millioner år siden som var over 100 ganger kraftigere enn andre utbrudd man vet om. Store deler av Nord-Amerika ble dekket av et 2 m tykt lag med aske, og mye liv på jorden ble utryddet.

**"Aerosolene påvirker klimasystemets strålingsbalanse både ved å reflektere solstråling og ved å absorbere langbølget stråling fra jorda."**

Utbruddene fra Yellowstone har kommet med cirka 600 000 års mellomrom. Supervulkanen har igjen begynt å røre på seg, omtrent 600 000 år siden det siste utbruddet.

På Island kom det et uvanlig stort utbrudd fra vulkanen Laki i 1783. Det var ikke så eksplosivt (VEI=4), men varte i et halvt år og førte hele 100 Mt svovelforbindelser opp i atmosfæren. Utbruddet dekket store deler av Island med aske og førte til svært vanskelige levekår på øya. Antall innbyggere sank til et minimum, og det ble alvorlig diskutert å flytte resten av befolkningen til Jylland.

Vinteren 1783/84 observerte Benjamin Franklin, som da var ambassadør i Paris, en vedvarende tørr tåkedis (dis uten skydråper) som han antok skrev seg fra Laki. Han formulerte en hypotese i en vitenskapelig artikkel om at det kalde været over den nordlige halvkule dette året hadde sammenheng med den tørre disen. Franklin mente at partiklene reduserte solstrålingen til jordoverflaten, og at det kalde været var en følge av dette.

### Sulfatpartikler

De svovelholdige utslippene utgjør fra to til 35% av volumet i vulkanske utslipp. Den dominerende svovelkomponentene er SO<sub>2</sub>. En annen svovelkomponent er hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S), som vanligvis blir omdannet til SO<sub>2</sub> i atmosfæren innen et par dager.

I store vulkanutbrudd føres svovelforbindelsene opp i stratosfæren (laget over troposfæren, som er blandingsslaget nærmest jordoverflaten), hvor de kan spres over det meste av jordoverflaten. SO<sub>2</sub> omdannes til sulfatpartikler (aerosoler) ved kjemiske reaksjoner. Observasjoner og modell-eksperiment har vist at det tar cirka tre måneder å bygge opp et maksimum med sulfataerosoler i stratosfæren etter et stort

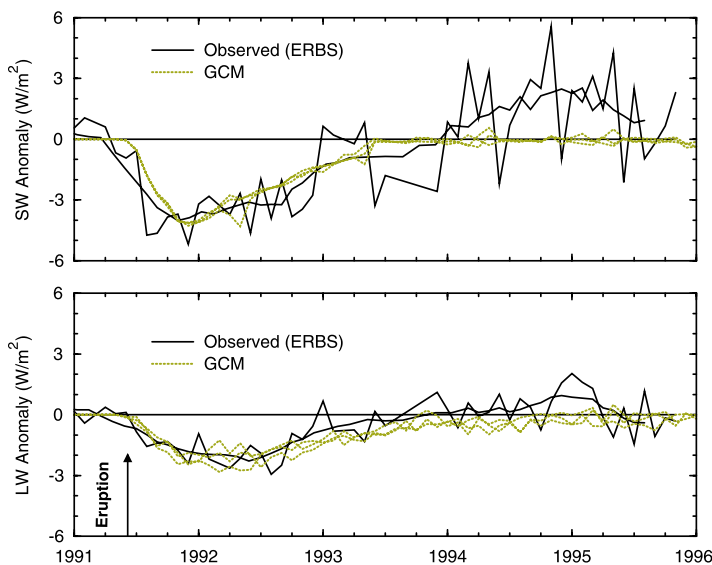


Figur 3. Figuren viser to fotografier av atmosfæren tatt av astronauter i romskip fra NASA. Det øverste er fra før utbruddet fra Pinatubo og viser en klar stratosfære over byggeskyer i troposfæren. Det andre er tre uker etter utbruddet. Her ser en et grått og rødgrått lag med aske og svovelpartikler over tordenskyer (over Sør-Amerika). Det blå laget øverst på bildene er et resultat av molekylær spredning av solstråling. Siste bilde er tatt fra romskipet Atlantis (STS-43), NASA.

### Pådriv fra aerosoler

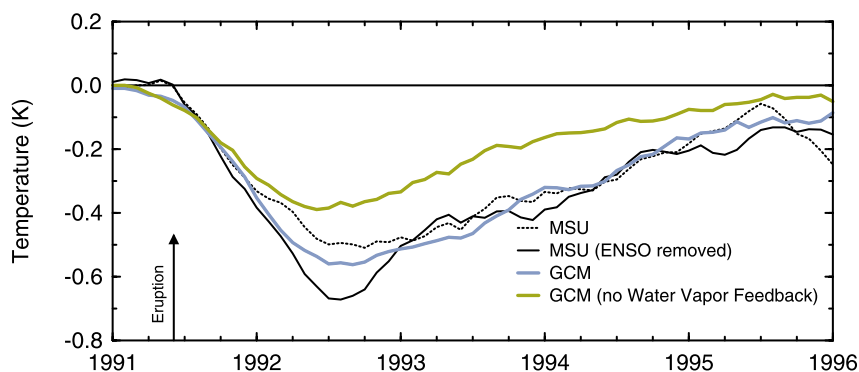
Aerosolene påvirker klimasystemets strålingsbalanse både ved å reflektere solstråling og ved å absorbere langbølget stråling fra jorda (se figur 1). Klimasystemets albedo er forholdet mellom reflektert kortbølget solstråling og total innstråling. Satellittmålinger fra 1970-årene gir en global årlig albedo på 0,29. Dette betyr at 29% av innstrålingen blir spredt tilbake til verdensrommet. Midlere innstråling er 341 Watt per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>). Et stort vulkanutbrudd øker albedo. Denne endringen gir et negativt strålingspådriv (målt i W/m<sup>2</sup>) som bidrar til å redusere temperaturen ved jordoverflata så lenge partiklene holder stand. Men stratosfæren varmes opp på grunn av at partiklene absorberer langbølget stråling fra jordoverflaten.

Et mål for aerosolenes effekt på solstrålinga er optisk tyk-



Figur 4. Strålingspådriv etter utbruddet fra Pinatubo. Avvik i absorbert kortbølget (øverst) og utstrålt langbølget (nederst) stråling ved toppen av atmosfæren fra observasjoner og modellert i klimamodell. De observerte avvikene er i forhold til gjennomsnitt 1984-1990. Modellavvik er differansen mellom kjøring med og uten utslipp fra Pinatubo. Etter B.J. Soden med flere 2002.





Figur 5. Respons i global temperatur i lavere troposfære fra utbruddet fra Pinatubo. Svart: observasjoner fra satellitt; prikket svart: observasjoner, men effekten av ENSO eliminert; blått: standardkjøring klimamodell; grønt: klimamodell uten tilbakekopling fra vann damp. Etter B.J. Soden med flere 2002.

kelse. Denne tykkelsen kan normaliseres til et tall mellom null og en og øker etter hvor ugjennomsiktig atmosfæren er. Etter som den optiske tykkelsen øker, spres mer av solstrålinga ut i verdensrommet. Dette er det direkte klimapådrivet fra aerosoler. Sett fra verdensrommet gir mer aerosoler en lysere jord, mens sett fra jordoverflaten blir himmelen mindre klar (dimming). Aerosoler tjener som kjerner for kondensasjon til vanndråper, dvs. kondensasjonskjerner. Slik kan aerosoler også påvirke skyenes strålingsbalanse. Dette utgjør det indirekte pådrivet fra aerosoler. Siden skyene stort sett er i troposfæren, har vulkanutbrudd vanligvis ikke stor betydning for dette pådrivet.

I klimasimuleringer for å gjenskape fortidens klima er det viktig å ta med effekten av vulkanutbrudd. I kjøring over siste 1000 år er vulkanutbrudd like viktige som pådriv fra variasjoner i solflekker (Ulrich Cubasch, personlig meddelelse). Nye kjøring av Hansen m. fl. (2005) for siste hundre år gir mye bedre resultater enn tidligere for global temperatur. Bedre anslag for pådriv fra vulkaner er nok en viktig årsak.

### Pinatubo

Utbruddet fra Pinatubo ble overvåket nøye med målinger av aerosoler (figur 2, se også foto av stratosfæren tatt fra romskip i figur 3) og stråling på toppen av atmosfæren (se figur 4) og ved overflaten. Klimasystemets respons på ble også nøye studert fra meteorologiske observasjoner og ved modellstudier. Maksimal økning i albedo var 0,007 i august 1991, som svarer til et

strålingspådriv på  $-2,7 \text{ W/m}^2$ . Oppvarmingen av stratosfæren var opp til  $2-3 \text{ }^\circ\text{C}$  4-5 måneder etter utbruddet. Mønsteret for oppvarmingen samsvarer med den optiske tykkelsen på aerosolsky. Global temperatur ved jordoverflaten avtok med mellom  $0,5$  og  $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  på nordlige halvkule med størst utslag i september 1991 (figur 5).

Simuleringer i klimamodeller, der aerosolene foreskrives, samsvarer med observerte variasjoner i temperatur - både for lagene nær overflaten og i stratosfæren. Dette gir muligheter for interessante eksperiment med modellene for å studere tilbakekopling fra endringer i fuktigheten og for å anslå klimasystemets sensitivitet for et pådriv (figur 5). Som kjent er fuktigheten den viktigste drivhuseffekten. Det ble observert at fuktigheten avtok i samsvar med temperaturen. En har funnet at tilbakekoplingen fra reduksjon i fuktighet utgjorde cirka 60% av avkjølingen ved overflaten. Dette samsvarer svært godt med teoretiske betraktninger. Den korte klimaimpuls ga naturlig nok ikke data for å anslå tilbakekopling på grunn av endring i is- og snødekke.

Vi snakker ofte om klimasensitivitet for doblet  $\text{CO}_2$  (se artikkel av Sorteberg og Grønås i *Cicerone* 4/2004). Den uttrykkes i den økning dette vil gi i global temperatur. Flere studier viser at sensitiviteten er cirka  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sensitiviteten fra klimavariasjonene fra utbruddet på Pinatubo gir også  $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dette er et viktig resultat som indikerer at klimasystemet svarer noenlunde likt på et globalt strålingspådriv. Om det skriver seg fra økt drivhuseffekt eller en reduksjon i solstrålingen synes å være

underordnet.

Den regionale effekten av utbruddet på nordlige halvkule er også blitt studert. Interessant nok finner en størst respons mot kaldere vær om sommeren. Slik fikk både Europa og mye av Nord-Amerika en kald sommer i 1992. Mønsteret synes å stemme overens med temperaturendringene i 1816, året uten sommer etter utbruddet på Tambora. Men etter det vi vet om styrken på de to utbruddene, var nok utslagene i 1816 betraktelig større enn i 1992.

### Litteratur

- Fagan, B. 2000. *Little Ice Age*. Basic Books. 02-465-02272-3.
- Hansen, J. med flere 2005. Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications. / [www.sciencexpress.org](http://www.sciencexpress.org) / 28 April 2005 /.
- McCormick, M.P. 1995. Atmospheric effects of the Mt. Pinatubo eruption. *Nature*, **373**, 399-404.
- Kerr, R.A. 2004. Three Degrees Consensus. *Science*, **305**, 932-934.
- Kircher, I. med flere 1999. Climate modell simulation of winter warming and summer cooling following the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption. *J. Geophys. Res.* **104**, 19,039-19,055.
- Robock, A. 2003. Mount Pinatubo as a Test of Climate Feedback Mechanisms. In *Volcanism and the Earth's Atmosphere*, Geophysical Monograph 139, AGU.
- Soden B.J. med flere 2002. Global Cooling After the Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor. *Science*, **296**, 727-730.
- Stenchikov, G.L. med flere 1998. Radiative Forcing from the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption. *J. Geophys. Res.* **103**(D12), 13837-13857.
- Textor, C., H-F. Graf, C. Timmreck, A. Robock. Emission from vulcanos. In *Emission of chemical compound and in the atmosphere*. Kluwer, Dordrecht, [http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/emissions\\_0207.pdf](http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/emissions_0207.pdf)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Volcano>

### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB, og med i styringsgruppen for RegClim.