

# Kosmisk stråling, skyer og klima

Mulige mekanismer for hvordan kosmisk stråling kan virke inn på dannelsen av skyer ble nylig diskutert i det vitenskapelige tidsskriftet *Science*. Til tross for framskritt i forskningen er det fortsatt stor usikkerhet rundt hypotesen om at kosmisk stråling kan virke inn på jordens klima.

Sigbjørn Grønås,  
*RegClim*

Ideen om at kosmisk stråling indirekte forårsaker klimaendringer ble relativt godt kjent i Norge gjennom et TV-program på NRK for en tid tilbake. Her ble den globale oppvarmingen gjennom de siste hundre år forklart ved en hypotese, satt fram av den danske klimaforskeren Henrik Svensmark, om at kosmisk stråling kontrollerer klimavariasjoner ved å påvirke utbredelsen av lave skyer. En reduksjon av slike skyer vil minke refleksjonen av solstråling, og dermed øke oppvarmingen.

Hypotesen har fått mye oppmerksomhet, men klimaforskere har stort sett vært skeptiske. Ankepunktet har vært at den mangler en fysisk forklaring på hvordan skyene påvirkes. Arbeidene til Svensmark står referert i den tredje hovedrapporten fra FNs klimapanel (IPCC), men blir ikke tillagt særlig vekt. De to prestisjetunge tidsskriftene *Science* og *Nature* har heller ikke diskutert hypotesen inngående før *Science* i november 2002 publiserte en oversiktsartikkel kalt "Cosmic Rays, Clouds, and Climate" skrevet av Carlsaw med flere. På en utmerket måte oppsummerer denne artikkelen hva vi vet om emnet, spesielt ny tenkning om hvordan kosmisk stråling kan påvirke skyene. Jeg vil her prøve å gjengi hovedtankene i artikkelen.

## Skyprosesser

Vi har mange ganger i *Cicerone* pekt på hvor viktige skyene er for klimaendringer og hvor vanskelig det er å

Kan endringer i kosmisk stråling påvirke utbredelsen av skyer, og dermed klimaet på jorda?



Foto: NASA

modellere dem. Skyene kan predikeres ganske bra ut fra meteorologiske variable som fuktighet, vertikalhastighet og temperatur. Men strålingsegenskapene og levetiden til skyene er på mange måter påvirket gjennom kompliserte, såkalte *mikrofysiske prosesser*, som virker mellom partikler (aerosoler), og vann i ulike faser. Disse tjener som kondensasjonskjerner (Cloud Condensation Nuclei, CCN), som vanndråper danner seg omkring. Svært mye av den moderne skyforskningen ser på effekten av forurensing på skyenes strålingsegenskaper gjennom de mikrofysiske prosessene. På denne måten prøver man å kvantifisere

hvordan skyene og deres strålingsegenskaper endrer seg globalt og regionalt som følge av tilgang på aerosoler, spesielt slike som dannes fra utslipp av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>). Siden kosmisk stråling er en dominerende kilde til ioniserende partikler i atmosfæren, er det i skyforskningen mulig å studere effekten av kosmisk stråling ved å undersøke hvordan elektriske ioner påvirker de mikrofysiske skyprosessene.

En nøkkelstørrelse i skyfysikk er konsentrasjonen av vanndråper i skyene. Denne bestemmes av fordelingen av kondensasjonskjerner, de aerosolene som typisk er større enn 0,1 mikrom-

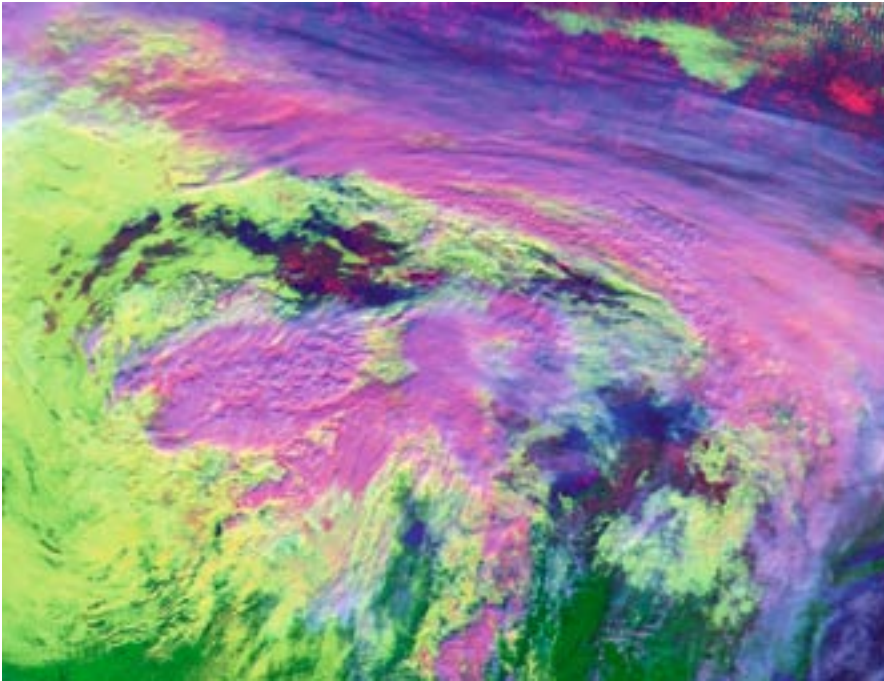


Foto: NASA

Ved hjelp av ulike instrumenter på satellitter kan forskere måle størrelsen på skypartikler og skille mellom vann, snø og iskyer. De rosa skyene øverst på bildet er kalde snø- eller iskyer som ligger høyt, mens de grønne er lavere vannskyer.

eter. Dråpekonsentrasjonen kontrollerer skyenes strålingsegenskaper, slik som refleksjon av solstråling, og effektiviteten i nedbørdannelse. Nedbørdannelse er en kontrollerende faktor for skyenes levetid, dvs. mengden av skyer. En annen viktig prosess er dannelse av ispartikler i skyer. Ispartikler vokser raskt og gir nedbør fordi skydråper kan være svært underkjølte.

Carslaw med flere nevner to mulige mekanismer hvor kosmisk stråling kan ha betydning for konsentrasjonen av skydråper eller ispartikler. De blir kalt mekanismen for *ion-aerosol i klar luft* og mekanismen for *ion-aerosol nær skyer*.

#### Ion-aerosol i klar luft

Denne mekanismen bygger på en antakelse om at nærvær av ioner, fra

for eksempel kosmisk stråling, kan øke dannelse og tidlig vekst av ørsmå aerosoler, slike som er mye mindre enn de som normalt tjener som kondensasjonsskjerner. Forskning antyder at dannelse av nye aerosolpartikler i skyfrie områder av atmosfæren, slik som i marine grenselag, ofte avgjøres av produksjonsraten av ioner fra kosmisk stråling.

Spørsmålet er da hvordan dannelse av nye, små partikler påvirker produksjonen av kondensasjonsskjerner, og hva slags effekt en liten endring i ioniseringsraten eventuelt kan ha på denne produksjonen? Modellberegninger antyder at en variasjon i ioniseringsraten på 20 prosent i den lavere atmosfære (typisk variasjon over en solsyklus) kan lede til en endring i konsentrasjonen av små aerosoler (3 - 10 nanometer; en nanometer er lik en tusendel mikrometer) med 5 til 10 prosent. Noen av disse kan siden vokse til kondensasjonsskjerner. Interessant nok antyder disse studiene at modulerende av konsentrasjonene av aerosoler vil være størst i den laveste del av atmosfæren, noe som samsvarer med Svensmarks korrelasjoner.

Dersom det er slik at en økning av kosmisk stråling fører til flere kondensasjonsskjerner, vil effekten på skyene og klimasystemet ligne på effekten av det indirekte pådrivet av aerosoler, et pådriv vi har skrevet flere ganger om i *Cicerone* tidligere, siste gang av Kristjánsson med flere i *Cicerone* 6/2002. Men det er viktige forskjeller. For det første drives det indirekte menneskeskapte pådrivet av aerosoler av tilgangen på forurensninger som  $SO_2$ , mens pådrivet av kosmisk stråling bare er drevet av visse endringer i mikrofysiske prosesser forårsaket av ionene. For det andre har trolig pådrivet på klimasystemet av kosmisk stråling en jevn global fordeling, mens det indirekte pådrivet av aerosoler finner vi hovedsakelig over tett befolkede industrialiserte områder.

Når det gjelder dagens nivå for vitenskapelig forståelse av den indirekte aerosoleffekten, sier FNs klimapanel i sin tredje hovedrapport, at den er svært lav, men at de fleste prosessene trolig er identifisert. Når det gjelder effekten av kosmisk stråling som svarer til den indirekte effekten, er forståelsen langt mindre. Noen prosesser er foreslått, men ingen er blitt testet.

#### Ion-aerosol nær skyer

Denne mekanismen er enda dårligere forstått. Den bygger på at den elektriske ladningen i aerosoler er svært forskjellig nært inntil skyer enn i klar luft. Således har en målt mye høyere positive lad-

## Kosmisk stråling i atmosfæren

Kosmisk stråling består for det meste av protoner med høy energi. Disse er skapt av supernovaer og andre kilder i vår galakse. Når strålene kommer inn i den øvre delen av atmosfæren, bøyes ladet stråling av et magnetisk felt satt opp av solvinden og jordens magnetfelt. Over en solsyklus på omlag 11 år varierer intensiteten av den kosmiske strålingen i det øvre laget av atmosfæren fra omtrent 5 prosent ved ekvator til

omlag 50 prosent ved polene. Bygger av sekundærpartikler blir produsert i øvre troposfære og såkalte muoner dominerer intensiteten i de laveste 6 km av troposfæren. Energien i strålingen er svært liten og kan sammenlignes med strålingsenergien fra stjernene. Imidlertid utgjør de en dominerende kilde av ioniserende partikler, med stor effekt på flere atmosfæriske fenomener.

ninger i overkant av visse lave skyer (stratusskyer) enn i klar luft. Inne i skyene fjernes ioner effektivt av skydråpene, og på den måten blir det stor forskjell i ladningen mellom skylufta og lufta like over.

Det er blitt foreslått at slik økt elektrisk ladning øker aerosolenes effektivitet som kjerner for isdannelse. Det fins noe teoretisk og eksperimentell forskning som støtter dette. Vandråpenes utvasking av aerosoler økes når aerosolene er ladet. Isdannelse kan derfor økes dersom partiklene også er effektive kjerner i denne prosessen. En økning i utvasking av aerosoler avhenger altså av nærvær av høyt ladede partikler og deres transport inn i skyene. Til nå fins det ingen målinger av slike aerosoler med høy ladning, men en tror at høyt ladede partikler på oversiden av stratuskyer kan være en kilde.

Så spør det hva slags effekt endringer i intensiteten av kosmisk stråling kan ha på ladede aerosoler over slike skyer. For det første er den lokale ioniseringsraten lik intensiteten i den kosmiske strålingen. For det andre bestemmes det elektriske feltet omkring, og således også drift av ioner mot skyoverflaten, av kosmisk stråling. En venter at endringer i intensiteten av kosmisk stråling vil kunne avgjøre størrelsen på ladningen i aerosoler rundt skyer, og at dette kan ha mulige konsekvenser for de mikrofysiske skyprosessene. Selv om dette kan være plausibelt, fins det ingen målinger som kvantifiserer denne påvirkningen.

Det neste spørsmålet er hvordan skyene svarer på slike mikrofysiske prosesser. Dersom de er reelle i naturlige skyer, vil en nedgang i intensiteten i kosmisk stråling lede til en nedgang i dannelsen av ispartikler og en nedgang i nedbør (noe som ville gi endring i skyenes utbredelse motsatt av den som er observert). Effekten av endring i frigjøring av latent varme ved kondensasjon av vanndamp må også tas i betraktning - den påvirker luftsirkulasjonen og kan virke i motsatt retning på skyene.

Faktorer som kontrollerer iskjerner i skyer ligger i forskningsfronten, og det er ennå mye som er usikkert omkring

hvordan ladede aerosoler nær skyer påvirker de mikrofysiske skyprosessene.

#### Konklusjoner

Det synes å være enighet om at en eventuell påvirkning på klimaet av variasjoner i kosmisk stråling må være en påvirkning gjennom ioners påvirkning på de mikrofysiske skyprosessene. Vi vet at produksjon av ioner i atmosfæren avgjøres av kosmisk stråling, og det er kort gjort greie for to mulige mekanismer der ionene kan påvirke de mikrofysiske skyprosessene. Det gjenstår å vise om endringer i kosmisk stråling kan lede til målbare endringer i skyene og deres strålingsegenskaper. Å demonstrere årsak og virkning, hvor en begynner med endringer i ioniseringsraten og ender med observasjoner av endrede skyer, vil være en stor utfordring. En vil neppe kunne påvise dette for lokale forhold. Et signal på innflytelse av kosmisk stråling vil trolig bare kunne opptre i gjennomsnittlige skyforhold over lang tid og over store geografiske områder.

De foreslåtte mekanismene for hvordan kosmisk stråling kan påvirke skyene representerer trolig en stor framgang i forskningen på kort tid. Antakelig vil det ganske snart komme enda flere resultater. Men det er vanskelig å si hvor lang tid det vil ta for å avgjøre om det fins plausible årsaksforhold mellom variasjoner i kosmisk stråling, skyer og klima. Det er vanskelig å skjelle mellom eventuelle klimaeffekter av endringer i kosmisk stråling og tilsvarende endringer i solinnstråling. Svensmarks korrelasjoner kan like godt uttrykke en mulig sammenheng mellom variasjoner i solinnstråling og skyer (se artikkel i *Cicerone* 4/2002 av Kristjánsson).

#### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gf.uib.no) er professor ved Geofysisk institutt, UiB, tilknyttet Bjerknessenteret for klimaforskning og med i ledergruppen for RegClim

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene AerOzClim, NOCLim, NORPAST og RegClim.

### RegClim

RegClim (Regionale klimaendringer under global oppvarming) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt for beregning av klimautvikling i Norges region. Seks forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Trond Iversen, trond.iversen@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: [www.nilu.no/regclim](http://www.nilu.no/regclim)

### NORPAST

NORPAST (Past Climates of the Norwegian region) er eit prosjekt som skal koordinere forskinga om fortidas klima i Norge. Ti forskingsinstitusjonar deltar.

Kontakt: Morten Hald, mortenh@ibg.uit.no

Hjemmeside: [www.ngu.no/prosjekter/Norpast/norsk/norpast.htm](http://www.ngu.no/prosjekter/Norpast/norsk/norpast.htm)

### NOCLim

NOCLim (Norwegian Ocean Climate Project) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt om nordlige havområder og klima. Åtte forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Peter M. Haugan, peter.haugan@gf.uib.no

Hjemmeside: [www.noclim.org](http://www.noclim.org)

### AerOzClim

AerOzClim (Aerosols, Ozone and Climate) er et nasjonalt koordinert samarbeidsprosjekt mellom UiO og NILU som fokuserer på betydningen av aerosoler og ozon for klimaendringer.

Kontakt: Ivar S.A. Isaksen, ivaris@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: [www.geofysikk.uio.no/AEROZCLIM/](http://www.geofysikk.uio.no/AEROZCLIM/)



Redaksjon:

- Sigbjørn Grønås (red.), RegClim (sigbjorn@gf.uib.no)
- Michael Gauss, AerOzClim (michael.gauss@geofysikk.uio.no)
- Peter M. Haugan, NOCLim (peter.haugan@gf.uib.no)
- Øyvind Nordli, NORPAST (oyvind.nordli@met.no)

Hjemmeside: [program.forskningsradet.no/klimaprog/](http://program.forskningsradet.no/klimaprog/)

Kontakt: Programkoordinator Fridtjof Mehlum

Postboks 2700 St. Hanshaugen, 0131 OSLO

Telefon: 22 03 74 15 Faks: 22 03 72 78

E-post: [Fridtjof.Mehlum@forskningsradet.no](mailto:Fridtjof.Mehlum@forskningsradet.no)