

Policy Note 1994:2

**Oppdatering av verdier for  
"Global Warming Potentials (GWP)"  
i forbindelse med IPCC prosessen.**

av

**Ivar S. A. Isaksen**

Februar 1994

Oslo 8/2-1994

## **OPPDATERING AV VERDIER FOR 'GLOBAL WARMING POTENTIALS (GWP)' I FORBINDELSE MED IPCC PROSESSEN**

Rapport fra 'IPCC Working Group I Lead Authors First Drafting Session' for 1994 interim rapport om 'Radiative Forcing of Climate', holdt i Irvine California, 11-13 januar 1994.

Fra Ivar S.A. Isaksen,  
Institutt for Geofysikk,  
Universitetet i Oslo/CICERO

### **Sammendrag**

Som et ledd i IPCC prosessen foretas det en oppdatering av forskningsgrunnlaget for beregningene av GWP (Global Warming Potentials). Oppdateringen bygger i stor utstrekning på de to tidligere IPCC utredningene (IPCC, 1990; IPCC, 1992). I utredningen har en konsentrert seg om 5 områder: Karbonsyklusen, atmosfærekjemi i tilknytning til andre drivhusgasser, aerosoler og deres betydning for stralingsbalansen i atmosfæren, strålingsbalanse og klima, og beregninger av GWP (Global Warming Potentials).

Det har vært utført flere modellstudier av karbonsyklusen, som gir et bedre grunnlag for å beregne CO<sub>2</sub>'s opphold i atmosfæren. Disse beregningene avviker noe fra tidligere beregninger, men verdiene for oppholdstiden antas å ligge innen  $\pm 20\%$  av tidligere beregninger (IPCC, 1990). En antar også at en har bedre balanse mellom kilder å sluk i karbonbudsjettet. Det er ikke lengre tale om en 'missing sink'. Slutninger en tidligere har trukket om at stabilisering av CO<sub>2</sub> utslippene på dagens nivå vil føre til en markert økning i CO<sub>2</sub> konsentrasjonene over neste århundrer er gyldig.

For de fleste andre drivhusgassene har det vært små endringer i grunnlaget for å beregne deres oppholdstid i atmosfæren, og derved i grunnlaget for beregning av GWP

(lang levetid gir stor GWP). Det er slått fast at perfluorokarboner og SF<sub>6</sub> har ekstremt lange oppholdstider i atmosfæren (mer enn 1000 år) som gjør at de er effektive drivhusgasser. Levetiden for N<sub>2</sub>O er noe redusert sammenliknet med hva en antok tidligere. Indirekte drivhuseffekt for metan er beregnet og funnet å være betydelig. Tar en hensyn til de samlede indirekte bidrag til GWP for CH<sub>4</sub> kommer en fram til totale GWP verdier som er omtrent dobbelt så store som de direkte verdiene som anbefaltes i IPCC (1992), med en usikkerhet på rundt  $\pm 50 \%$ .

De indirekte effektene fra forskjellige klimagasser gjennom påvirkningen på ozon er vanskelig å anslå, da en både har positive (økning av ozon i troposfæren fra forskjellige forurensningsutslipp) og negative (reduksjon av ozon i stratosfæren som følge av KFK og halon utslipp) effekter. Totalt sett fra førindustriell tid og fram til i dag er effekten antatt å være positiv, og den er sannsynligvis betydelig på regional skala på den nordlige halvkule.

Fordi det er store regionale variasjoner i fordelingen av partikler, vil den regionale langtidsendringen i utslippene av SO<sub>2</sub> være viktig for strålingsendringen. Over Europa og USA har utslippene gått ned i de siste årene, mens det har vært en markert økning i utslippene over Sør-Øst Asia. Dette vil ha stor betydning for regional klimapåvirkning ifølge beregninger som er utført med klimamodeller.

Selv om effekten av sulfatpartikler er regional i karakter, vil reduksjonen i innstrålingen som vi har hatt siden førindustriell globalt midlet (0.25 - 1.0 W/m<sup>2</sup>) være betydelig sammenliknet med den motsatte effekten fra drivhusgassene. På regional skala er den relative betydningen betydelig større. Det er derfor mulig at vi har hatt en merkbar avkjølede effekt regionalt over industrielle områder.

Beregninger av den menneskelige påvirkningen på strålingsbalansen bekrefter tidligere beregninger. Den samlede globalt midlede 'radiative forcing' fra førindustriell tid og fram til i dag, inkludert den negative effekten fra sulfatpartikler, er positiv og større enn 1 W/m<sup>2</sup>. Dette er klart større enn endringen i solfluksen over samme periode.

En foreslår fremdeles å bruke CO<sub>2</sub> som referansegass ved GWP beregninger. Med bakgrunn i at levetiden for CO<sub>2</sub> er endret i forhold til tidligere, og grunnlaget for beregning av GWP foreslås endret (økende bakgrunns scenarier i stedet for konstante) vil referanseverdiene for GWP (absolutte GWP for CO<sub>2</sub>) endres, og derfor gi grunnlag for endring i GWP for de andre gassene. Selv om en enda ikke har bestemt nye referanseverdier for GWP er det sannsynlig at disse blir noe lavere enn verdiene som er brukt tidligere. Dette vil spesielt gjelde for tidshorisonter rundt 100 år. Hvor mye lavere verdiene blir vil delvis avhenge av veksten i CO<sub>2</sub> som følge av utslippsscenarioet som velges.

## 1. Innledning

I denne rapporten vil det bli gått gjennom kunnskapsnivået pr. dags dato innen områdene som har direkte relevans for beregning av Global Warming Potentials (GWP) i forbindelse med IPCC prosessen. Innholdet vil i stor utstrekning baseres på materiale som ble presentert på møtet i Irvine, California. Dette materialet vil danne grunnlag for anbefalingene fra IPCC når det gjelder bruk av GWP i forbindelse med klimaforhandlingene.

Hensikten med møtet var å få i stand første utkast til IPCCs 1994 interim rapport om 'Radiative Forcing'. Til stede på møtet var de fleste 'Lead Authors' for de fem kapitlene som inngår i rapporten. I tillegg var en del eksperter invitert. Tilsammen deltok ca 45 personer på møtet. Fra Norge deltok undertegnede i egenskap av 'Lead Author' for kapittlet '**Trace Gas Radiative Forcing Indices**' (Beregninger av GWP) i IPCC rapporten. Videre deltok forsker Frode Stordal, NILU i egenskap av 'Lead Author' for et av kapitlene i WMO/UNEPs 1994 Ozone Assessment som overlapper med et av kapitlene i IPCC rapporten.

Rapporten vil i nær framtid sendes ut på en høringsrunde til sentrale forskere innen de forskjellige områdene for kommentarer. For å ha et best mulig faglig grunnlag for innholdet i rapporten vil hvert av de 5 kapitlene sendes ut til minst 20 internasjonale forskere i tillegg til de som har vært med på å utforme rapporten. Etter at kommentarene er kommet inn vil en ny faglig gjennomgang av rapporten finne sted i slutten av april. Den endelige utformingen av rapporten vil finne sted i slutten av juli i Sveits. Når den endelige versjonen foreligger vil derfor synspunktene som kommer fram ha en solid basis i dagens kunnskapsnivå.

1994 interim rapporten vil bestå av fem kapitler:

- 1) **The Carbon Cycle**
- 2) **Other Trace Gases and Atmospheric Chemistry**
- 3) **Aerosols**
- 4) **Radiative Forcing and Climate**
- 5) **Trace Gas Radiative Forcing Indices**

I forbindelse med den fullstendige IPCC utredningen som skal gjennomføres i 1995, som vil være på linje med 1990 utredningen, skal disse 5 kapitlene inngå som de 5 første kapitlene i utredningen (Etter innledningskapittelet). Planen er å oppdatere og utvide innholdet i disse kapitlene for å få med ny forskning fra perioden mellom 1994 og 1995 når den nye rapporten vil bli skrevet. Det en særlig håper er å få med bedre anslag av karbonsyklusen, og en videreføring av GWP. Totalt vil den fullstendige 1995 IPCC rapporten ha 15 kapitler.

## 2. Forskningsstatus etter IPCC møtet i Irvine, California.

### 2.a CO<sub>2</sub> sykkelen

Utslipp av CO<sub>2</sub> fra antropogene kilder (5-6 Gt/år) er lite i forhold til den totale årlige omsetningen i atmosfære/biosfære/hav systemet. Det er likevel hevet over enhver tvil at antropogene utslipp påvirker mengden av CO<sub>2</sub> i atmosfæren, og at det er dette som kommer til uttrykk i økningen som har vært observert i atmosfæren over flere årtier (etter 1958). Likedan viser målingene av økningen i atmosfæren at hav og biosfære sett under et representerer et sluk for atmosfærisk CO<sub>2</sub>. Det vil si at ca halvparten av antropogent CO<sub>2</sub> som er sluppet ut er blitt akumulert i atmosfæren.

CO<sub>2</sub> som slippes ut fjernes fra atmosfæren ved at det vekselvirker med hav og biosfære. Dette representerer tap som har vidt forskjellige tidsskalaer, og det er derfor ikke mulig å bestemme en enkel 'levetid' som for andre drivhusgasser som f. eks. CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og KFK gasser hvor det vil være en eksponensiell avtagning i konsentrasjonen for en gitt perturbasjon fra likevekten. Konsekvensen av dette er at levetiden for CO<sub>2</sub> blir sammensatt og at perturbasjoner i konsentrasjonen vil ha betydelige sterkere langtidsvirkninger enn hva som er tilfellet for gasser med en eksponensiell avtagning. Dette har en også tatt hensyn til tidligere (IPCC, 1990). Utrykket for levetiden som har vært brukt (en treparameter tilpasning) er likevel foreslått endret, fordi en nå har flere nye modelberegninger av karboncyklen, som bedre oppfyller kravet til karbonbalanse. Endringene i levetider for CO<sub>2</sub> ventes å bli moderate, innenfor ± 20 % av tidligere verdier.

CO<sub>2</sub> konsentrasjonene i atmosfæren har vært svært stabile over en periode på 1000 år før den industrielle utviklingen startet, med en midlere verdi på rundt 280 ppm og fluktasjoner på 10-15 ppm. Dette er lite sammenliknet med økningen på 75 ppm fra førindustriell tid og fram til i dag.

Observasjonene viser betydelige variasjoner i vekstraten for CO<sub>2</sub> i atmosfæren. F. eks. i perioden 1988-1989 var vekstraten noe høyere enn langtidsmidlet som er på ca 0.4 - 0.5 %. I perioden 1991 - 1993 har en observert en langsommere vekst. En kan vanskelig se for seg noen biologisk eller annen mekanisme som vil opprettholde den lave vekstraten en har observert de siste 3 årene over en lengre tidsperiode. P.g.a. at fluksene i atmosfære/hav/biosfære systemet er store kan det over kortere tidsperioder på få år skje endringer i veksten av atmosfærisk CO<sub>2</sub>, uten at det vil få for stor innvirkning på langtids-tendensen. Det må derfor være rimelig å anta at denne lave veksten er midlertidig, og at vi innen kort tid vil oppleve en økning tilsvarende den vi har sett tidligere.

Det blir for tiden lagt betydelig vekt på den betydningen biosfæren kan ha for framtidige endringer av CO<sub>2</sub> innholdet i atmosfæren. Biosfæren opptrer både som kilde og sluk for atmosfærisk CO<sub>2</sub>. F.eks tyder budsjettberegninger på at det finnes et terrestriske sluk, uten at en har klart å spesifisere dette, som kan få stor betydning for framtidige endringer i CO<sub>2</sub>. Generelt kan en si at det er knyttet til stor usikkerhet hvordan økte CO<sub>2</sub> konsentrasjoner påvirker biosfæriske prosesser.

En oppdatering av karbonbudsjett for perioden 1980-1989 som foretas i forbindelse med IPCC utredningen viser liten netto fluks til biosfæren (Tallene i tabellen nedenfor er i GtC/år):

Industri utslipp	5.5 ± 0.5
Økning i atmosfæren	3.4 ± 0.2
Opptak i havet	2.0 ± 0.6
Netto terrestrisk sluk	0.1 ± 0.8

Som det framgår av tabellen er tallet en er kommet fram til for netto terrestrisk sluk lite, med en betydelig usikkerhet. Det er imidlertid en betydelig utveksling mellom biosfære og atmosfæren som følge av avskoging og endret arealbruk. Anslagene for 1980 tallet ligger på 1 - 2 Gt C/år. I løpet av de siste årene har det også vært en revurdering av fluksene som ligger til grunn for nettotallet som kommer fram i tabellen. F.eks. er verdiene for avskoging i Amazonasområdet sterkt redusert (opp mot 50 %) som følge av fjernanalyse utført fra satellitt.

Det er verdt å merke seg at en ikke lengre opererer med et ukjent sluk ('the missing sink') som har vært så vanlig å snakke om de siste årene, men at en antar at det, innen de usikkerhetsmarginer en opererer med er, tilnærmet balanse.

En vurdering av tilbakekoplingseffekter fra klimaendringer på atmosfærens CO<sub>2</sub> indikerer at disse er positive. De kan imidlertid være beskjedne totalt sett (kompenserende effekter i marine og terrestriske systemer). Usikkerhetene er fremdeles for store til at en kan kvantifisere disse tilbakekoplingseffektene.

En økning i industrielle utslipp av CO<sub>2</sub> over de neste årtier vil føre til økning i konsentrasjoner i flere hundre år framover. Modellstudier viser videre at en stabilisering i CO<sub>2</sub> utslippene også vil føre til en markert økning i CO<sub>2</sub> nivåene. Innen utgangen av neste århundre vil CO<sub>2</sub> ha økt til mer enn 450 ppm, og til mer enn det doble av førindustrielt nivå (280 ppm) i framtidige århundre. Det trengs derfor en betydelig reduksjon i utslippene for å stabilisere CO<sub>2</sub> konsentrasjonene på dagens nivå. Selv en stabilisering på nivåer under 750 ppm vil kreve reduksjoner i utslippene i forhold til dagens utslipp.

Ut fra modellberegninger som er utført er en kommet til at utslippene må reduseres til ca. 1-2 Gt/år for å stabilisere CO<sub>2</sub> på 450 ppm, og til 2-4 GT/år for å stabilisere konsentrasjonene på 650 ppm. En stabilisering av konsentrasjonene på 650 ppm vil medføre betydelige reduksjoner i utslippene over de neste 50 år.

Karbonsykelmodellene som har vært brukt til å studere framtidige CO<sub>2</sub> endringer gir verdier som viser store variasjoner. Modellene er følsomme for opptak i havet og for terrestriske opptak.

**Det har vært utført flere modellstudier av karbonsykel, som gir et bedre grunnlag for**

å beregne CO<sub>2</sub>s opphold i atmosfæren. Disse beregningene avviker noe fra tidligere beregninger, men verdiene for oppholdstiden antas å ligge innen  $\pm 20\%$  av tidligere beregninger (IPCC, 1990). En antar også at en har bedre balanse mellom kilder og sluk i karbonbudsjettet. Det er ikke lengre tale om en 'missing sink'. Slutninger en tidligere har trukket om at stabilisering av CO<sub>2</sub> utslippene på dagens nivå vil føre til en markert økning i CO<sub>2</sub> konsentrasjonene over neste århundrer, er gyldige.

## 2.b Kunnskapen om andre drivhusgasser

Målinger viser at CH<sub>4</sub> har økt mindre i løpet av de siste 5 årene enn tidligere. Dette gjelder spesielt for metan på høye nordlige bredder hvor økningen tidligere var sterkere enn på andre bredder. Dette kan tyde på at det er en reduksjon i kildestyrken på disse bredder, uten at en kan si hva det skyldes. Økningen i CH<sub>4</sub> er også redusert på andre breddegrader. En grunn til dette kan være at tapet av CH<sub>4</sub> har økt som følge av redusert ozonlag de siste årene (mer UV lys trenger ned i troposfæren).

Når det gjelder framtidige endringer i CH<sub>4</sub> tyder nyere studier på at permafrostområdene i nord vil være en mindre viktig kilde for CH<sub>4</sub> under et varmere klima enn tidligere antatt.

Det er også observert en mindre økning i atmosfærens N<sub>2</sub>O i løpet av de siste årene sammenliknet med tidligere økninger, uten at en kan forklare hvorfor. Nye anslag av tapsprosessen for N<sub>2</sub>O har ført til at en har kommet fram til en redusert 'levetid' sammenliknet med hva en fikk tidligere. En anbefaler nå å bruke en levetid på 121 år (mot tidligere 132 år) for N<sub>2</sub>O i atmosfæren. Dette vil ha betydning for GWP for N<sub>2</sub>O som vil bli noe redusert.

For KFKene og CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> har en observert en redusert vekst over en periode på noen år. For KFK-11 har veksten helt stoppet opp de siste par årene. Studier som er gjort for å bestemme hvilke utslippsreduksjoner som må til for å gi observerte endringer i konsentrasjonene stemmer godt overens med de utslippsreduksjoner som har funnet sted fra slutten av 80 tallet som følge av Montreal avtalen. Imidlertid er det en viss bekymring for at nedgangen i KFK veksten kan bli mindre i fortsettelsen. De aller siste observasjonene for noen av gassene kan tyde på at dette er tilfelle.

Ozon har en spesiell stilling som drivhusgass. Den er en sekundær komponent som dannes ved kjemiske prosesser i atmosfæren. Dessuten viser den store variasjoner i tid og rom. Ved forrige IPCC utredning (IPCC, 1992) og ved den samtidige ozonutredningen (WMO, 1992) ble ozon viet stor oppmerksomhet, og det ble vist at den kunne gi et betydelig bidrag til klimaendringene. Det er spesielt endringer som skjer i øvre troposfære og nedre stratosfære som er viktig klimaet. Ozon vil gi en indirekte effekt, ved at den påvirkes av gasser som slippes ut fra forskjellige kilder. Stikkord i denne sammenheng er: Utslipp av KFK (negativ effekt gjennom redusert ozon i stratosfæren, utslipp av metan (positiv effekt gjennom økning av ozon i øvre troposfære), utslipp av NO<sub>x</sub> fra fly (positiv effekt gjennom økning av ozon i øvre troposfære). Et hovedproblem i forbindelse med å vurdere ozonets rolle som drivhusgass er at det er vanskelig å vurdere global påvirkning p.g.a. ozonets store variasjoner.

Når det gjelder ozon i den øvre troposfære tyder tidsserieanalyser, som har vært utført nylig, på at det har vært forskjellig utvikling i konsentrasjonene over Europa og Canada. Dette er de områdene hvor en har lange nok måleserier til å gjøre tidsserieanalyser. Mens ozonkonsentrasjonene i den øvre troposfære ser ut til å ha økt over Europa tyder målingene over Canada på at det ikke har vært noen økning og kanskje en nedgang i løpet av de siste årene. Imidlertid er usikkerheten som er knyttet til disse analysene stor, blant annet har en skiftet instrument rundt det tidspunktet en så en endring på de kanadiske stasjonene. Det er også en stor ulempe når det gjelder å bestemme ozonendringer i øvre troposfære og for vurderingen av ozonets betydning som klimagass at en har så dårlig global dekning av ozon. Tatt i betraktning ozonets betydning som klimagass, er dette et viktig område for framtidig forskning.

Betydningen av forskjellige forurensningsgasser som har en indirekte effekt på klima (først og fremst gjennom påvirkningen av ozon) er gjenstand for grundig diskusjon i den pågående IPCC utredningen. Et hovedtrekk er at en kjenner fordelingen av disse gassene i atmosfæren bedre enn tidligere. Dette gjelder spesielt for nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ). For de fleste gassene kom en fram til samme konklusjon som tidligere at usikkerheten enda er for stor til at en kan kvantifisere disse gassenes GWP. Dette gjelder for CO, NMHC, og  $\text{NO}_x$ . For  $\text{NO}_x$  blir det imidlertid påpekt at utslipp fra fly ut fra foreløpige beregninger ser ut til å ha et stort GWP (blant annet basert på de beregningene vi har gjort ved Institutt for Geofysikk/CICERO), men at en ikke vil kvantifisere disse før en har fått gjort flere omfattende usikkerhetsoverslag. En kan som tidligere angi hvilken retning (positiv) de indirekte effektene går for CO og NMHC.

For  $\text{CH}_4$  vil en angi indirekte effekter. De tre effektene en har vurdert gir et positivt bidrag til  $\text{CH}_4$ s GWP:

- a) Metans invirkning på sin egen levetid ved at den reduserer nedbrytnings-hastigheten. Flere studier har vært gjort av denne effekten, og er beregnet å øke GWP med mellom 20 og 50 %.
- b) Metan øker ozon i den frie troposfæren. Dette er beregnet å utgjøre 15 til 35 % av den totale GWP for  $\text{CH}_4$ .
- c) Metan-nedbryting i stratosfæren gir økt vanndamp. Siden vanndamp er en viktig klimagass vil dette føre til økt drivhuseffekt. Beregningene viser stor spredning på bidraget til GWP, fra en ubetydelig effekt til opp mot 30 % av den direkte effekten.

**Ut fra de studier som er gjort av metans indirekte effekt på klimaet er det klart at disse er betydelige. Tar en hensyn til de samlede indirekte bidrag til GWP for  $\text{CH}_4$  kommer en fram til totale GWP verdier som er omtrent dobbelt så store som de direkte verdiene som anbefaltes i IPCC (1992), med en usikkerhet på rundt  $\pm 50$  %.**

## 2.c Aerosoler

Antropogene effekter i forbindelse med aerosoler kan først og fremst tilskrives svovelutslipp



og forbrenning av biomasse. I første tilfellet vil en få dannet sulfatpartikler, i andre tilfellet dannes organiske partikler. Aerosolene har en direkte effekt ved at de påvirker strålingen fra sola. Økt partikkeldannelse reduserer innstrålingen og virker derved avkjølede. I tillegg har aerosoler en indirekte effekt ved at de påvirker skydannelse og og fysiske og kjemiske egenskaper. På samme måte som for ozon er det store regionale variasjoner i fordeling og endring av aerosoler. Det er derfor forbundet med betydelige vansker å beregne global effekt av sulfat og organiske partikler. I tillegg er det betydelig usikkerhet knyttet til beregningene av strålingspåvirkningen.

En har imidlertid et bedre grunnlag enn tidligere til å vurdere betydningen av den direkte effekten av aerosolpartikler på klimaet. Dette skyldes at en nå har 3 uavhengige studier av strålingseffekten fra økt sulfatmengde i atmosfæren mot en ved 1992 utredningen. En har også en studie av effekten av organiske partikler. Dessuten finnes det flere studier av partikkelfordelingen enn tidligere.

Ser en på den direkte effekten fra aerosoler vil den redusere solstrålingen som kommer ned til jordoverflata. Beregningene er gjort av endring fra før-industriell tid frem til dagens nivå. For  $\text{SO}_2$  beregner en at den midlere globalstrålingen er redusert med  $0.25 - 1.0 \text{ W/m}^2$  ( $0.5 \text{ W/m}^2$  som middelerdi). For den nordlig halvkule hvor en har de største utslippene er tilsvarende tall henholdsvis  $0.4 - 1.6 \text{ W/m}^2$  ( $0.8 \text{ W/m}^2$  som middelerdi). Tar en med biomassebrenning er tallene for midlere global reduksjon i strålingen  $0.3 - 1.2 \text{ W/m}^2$ . Mens bidraget fra biomassebrenning antatt å være betydelig mindre enn bidraget fra sulfatpartikler. Dessuten antar en at en større del av økningen i utslippene fant sted i den første del av perioden (etter 1850) enn hva tilfellet er for sulfatpartikler.

Når det gjelder indirekte effekter av aerosoler, er situasjonen den samme som tidligere: Usikkerheten er for stor til at disse kan kvantifiseres.

**Selv om effekten av sulfatpartikler er regional i karakter, vil reduksjonen i innstrålingen som vi har hatt siden førindustriell globalt midlet ( $0.25 - 1.0 \text{ W/m}^2$ ) være betydelig sammenliknet med den motsatte effekten fra drivhusgassene. På regional skala er den relative betydningen betydelig større. Det er derfor mulig at vi har hatt en merkbar avkjølede effekt regionalt over industrielle områder.**

Fordi det er store regionale variasjoner i fordelingen av partikler, vil den regionale langtidsendringen i utslippene av  $\text{SO}_2$  være viktig for strålingsendringen. Over Europa og USA har utslippene gått ned i de siste årene, mens det har vært en markert økning i utslippene over Sør-Øst Asia. Dette vil ha stor betydning for regional klimapåvirkning ifølge beregninger som er utført med klimamodeller.

## 2.d 'Radiative forcing' og klima

I løpet av de siste årene har det både vært utført studier som ser på 'radiative forcing' for de enkelte drivhusgassene, og som ser på sammenhengen mellom 'radiativ forcing' og temperaturendringer i atmosfæren (eksperiment utført med globale sirkulasjonsmodeller (GCM)).

Beregningene viser en økning av direkte 'radiative forcing' på  $2.3 \text{ W/m}^2$  siden pre-industriell tid (1850). En anser dette som nøyaktig innen  $\pm 20 \%$ . Til sammenlikning kan nevnes at økningen i solintensiteten fra den 'lille istid' på 1600 tallet og fram til i dag er beregnet å ha vært mellom  $0.5$  og  $1.0 \text{ W/m}^2$ . Tilsvarende endringen i solintensiteten over de siste hundre år har sannsynlig vært mindre enn  $0.3 \text{ W/m}^2$ .

Av spesiell interesse er 'radiativ forcing' som skyldes endringer i troposfærens ozon og i aerosoler, først og fremst fordi bidraget fra begge komponentene sannsynlig har vært signifikant, dernest fordi bidraget har vært ujevnt fordelt geografisk. De største endringene vil finnes i atmosfæren på midlere nordlig bredde i tilknytning til de mest industrialiserte områdene. Dette skyldes de store regionale variasjonene i begge komponentene.

GCM eksperimenter som har vært utført viser at sammenhengen mellom endringer i globalt midlet bakketemperatur og globalt midlet 'radiative forcing' ikke er så entydig som en tidligere har antatt for de forskjellige komponentene. Spesielt gjelder dette for ozon og sulfatpartikler som har store romlige variasjoner. Modellkjøringer har vist at regionale endringer av den størrelsesorden som har vært observert, av disse to komponentene, kan ha en betydelig innvirkning på klimaet.

Bidraget fra aerosoler fra før-industriell tid og fram til i dag har vært negativ (se avsnittet om aerosoler) og derved vært med på å dempe effekten av drivhusgassene. De siste to tiårene har det sannsynlig vært store geografiske variasjoner i bidraget til 'radiative forcing' p.g.a. forskjellig utvikling i utslippene. Over Europa og Nord-Amerika har det vært en nedgang i mengden av sulfatpartikler, mens det i andre områder, spesielt over Kina har vært en betydelig økning, som følge av økt kullbruk. En forventer også en betydelig økning av svovelutslippene og mengden av sulfatpartikler i framtiden i dette området.

Effekten av ozon er vanskelig å beregne fordi en kjenner global fordeling og endring dårlig. Langtidsendringen av ozon antas å ha gitt et positiv bidrag som følge av økning av ozon i troposfæren. Imidlertid har det vært en markert nedgang i ozon i stratosfæren over de siste 10 år som har gitt et negativt bidrag til 'radiative forcing'. Bidraget til globalt midlet 'radiative forcing' fra endring i ozon fra før-industriell tid og fram til i dag antas å ligge innen  $20 \%$  av den direkte 'radiative forcing' fra drivhusgassene.

'Radiative forcing' har med få unntak ikke endret seg vesentlig fra tidligere beregninger. Unntakene er  $\text{CH}_4$  og HFKene. I følge nyere studier er det mulig at 'radiativ forcing' fra

disse komponentene kan være rundt 20 % høyere enn tidligere antatt.

Vulkanutbruddet fra Mt. Pinatubo, Filipinene i juni 1991 har etter all sannsynlighet hatt en innflytelse på det globale klimaet. Dannelsen av sulfatpartikler i stratosfæren som følge av svovelutslipp, er beregnet å ha gitt en reduksjon i innstrålingen fra sola på 2 - 4 W/m<sup>2</sup> i løpet av det første året etter utbruddet. Denne effekten er ikke langvarig og antas å ha vært størst de to første årene etter utbruddet, og vil gradvis bli borte over en periode på 4 til 5 år.

Det har vært observert en nedgang i global middeltemperatur i 1992 i forhold til tidligere år på noen tidels grader C. Fra og med 1993 ser det ut til at temperaturen har vært på vei opp igjen. De observerte temperaturendringene stemmer godt overens med beregninger som er gjort i klimamodeller av effekten av utslipp fra Mt. Pinatubo. Det synes derfor å være stor sannsynlighet for at de observerte temperaturendringer over de siste to år skyldes effekten av svovelpartikler fra Mt. Pinatubo.

**Se en på den samlede globalt midlede 'radiative forcing' fra førindustriell tid og fram til i dag, inkludert den negative effekten fra sulfatpartikler, har den vært positiv og større enn 1 W/m<sup>2</sup>. Dette er klart større enn endringen i solfluksen over samme periode.**

## **2.e Beregning av globale oppvarmings potensialer (GWP)**

Det har i lengre tid vært diskutert om en skulle bruke CO<sub>2</sub> eller et CO<sub>2</sub> likt molekyl som referanse for beregninger av GWP. Dette spørsmålet ble allerede tatt opp i forbindelse med forrige IPCC utredning (IPCC, 1992). Fordelen med den siste siste beregningsmåten vil være at en har en fast referanseverdi som ikke endrer seg. Dette ville gjøre at GWP verdiene heller ikke ville endre seg for de gassene hvor det ikke hadde skjedd endringer i levetiden eller i absorpsjonsstyrken. Ved bruk av CO<sub>2</sub> som referanse-gass, vil alle gassers GWP endres når levetid eller strålingspåvirkning for CO<sub>2</sub> endres. Forslaget har også vært sterkt diskutert i forbindelse med den pågående IPCC utredningen. Konklusjonen er at en fortsatt skal holde seg til CO<sub>2</sub> som referanse-gass. Dette betyr at hver gang absolutte GWP for CO<sub>2</sub> endres vil dette gi en endring i GWP for de andre gassene. Problemet med dette er først og fremst at beregningen av levetiden for CO<sub>2</sub> er vanskelig å bestemme og at det vil bli justeringer av den framover. Dette skjer også i forbindelse med den pågående utredningen.

I forbindelse med de to tidligere IPCC utredningene ble GWP beregnet ut fra en konstant referanseatmosfære. Det vil også bli gjort denne gangen som utgangspunkt, men i tillegg beregner en GWP ved å ta hensyn til at konsentrasjonen av de forskjellige drivhusgassene vil endre seg i framtiden. De sistnevnte beregningene vil spesielt få betydning for beregning av bidraget fra CO<sub>2</sub> siden absorpsjonen i dagens atmosfære er nær metning. Ved høyere referansenivå vil derfor absolutte GWP for CO<sub>2</sub> bli mindre enn hva en får for et lavere referansenivå. Det betyr at for GWP beregninger over lange tidshorisonter hvor en har utslippsscenarioer som fører til en markert økning i CO<sub>2</sub> konsentrasjonene, vil effektiviteten av CO<sub>2</sub> som drivhusgass bli redusert (effekten på klimaet av 1 kg CO<sub>2</sub> som slippes ut i atmosfæren, eller absolutt GWP). Forskjellen med tidligere beregninger vil særlig være

merkbar for tidshorisonter på 100 år og oppover. Hvor stor forskjellen er er scenarieavhengig. Den er størst for scenariene som har størst vekst. For S650 (utslipp som skal til for å stabilisere atmosfærekonsentrasjonen på 650 ppm) scenariet f. eks. er det snakk om reduksjoner i GWP som følge av endret bakgrunnsnivå i beregningene på rundt 20 til 30 % for tidshorisonter fra 100 til 500 år.

Tar vi hensyn både til de endringer i levetiden som kommer fra de siste studier med karbonsykele modeller, og endringer i strålingspåvirkning, som følge av økte konsentrasjoner vil absolutt GWP for CO<sub>2</sub> reduseres med opp mot 30 % for en tidshorizont på 100 år og noe mindre for en tidshorizont på 500 år. Dette gjelder for scenario S650. For et scenario med mindre vekst vil (S450) vil reduksjonen i GWP bli noe mindre.

**Selv om en enda ikke har bestemt nye referanseverdier for GWP (absolutte GWP for CO<sub>2</sub>) er det sannsynlig at disse blir noe lavere enn verdiene som er brukt tidligere. Hvor mye lavere verdiene blir vil delvis avhenge av veksten i CO<sub>2</sub> som følge av utslippsscenarioet som velges.**

Det foreligger nye strålingsberegninger som antyder en økning i 'radiative forcing' sammenlignet med tidligere beregninger på opp mot 20 % for gasser som CH<sub>4</sub> og HFK-134a og HFK-152a. Dette vil kunne gi tilnærmet samme økning i GWP for disse gassene.

Nye GWP for perflourkarboner er beregnet siden forrige assessment. Det samme er gjort for SF<sub>6</sub>. Alle gassene er funnet å ha ekstremt lange levetider (mer enn 1000 år) og de absorberer langbølget stråling effektivt. Karakteristisk for disse komponentene er derfor at de har store GWP verdier. Effekten blir spesielt stor dersom vi anvender lange tidshorisonter, fordi disse komponentene praktisk talt ikke brytes ned i atmosfæren. Det betyr også at en må stoppe utslippene om en skal stabilisere konsentrasjonene i atmosfæren.

Relativt lite har skjedd siden forrige IPCC utredning (IPCC, 1992) når det gjelder å kvantifisere indirekte klimaeffekter (indirekte GWP) fra forurensningsgasser. Det betyr at bortsett fra CH<sub>4</sub> hvor en nå har foreslått verdier for samlet GWP (direkte + indirekte) med usikkerheter, har en ikke kunnet gi indirekte GWP for andre gasser. De indirekte GWP for CH<sub>4</sub> er imidlertid betydelige (samme størrelse som den direkte).

Indirekte effekter er identifisert som potensielt viktige for en rekke andre gasser uten at en har kunnet kvantifisere GWP for disse i denne omgang.

Dette gjelder spesielt for utslipp av NO<sub>x</sub> som har en sterk innvirkning på ozon og på metan i atmosfæren. For NO<sub>x</sub> er usikkerheten størst når det gjelder bakkeutslipp. Det er nylig vist at NO<sub>x</sub> utslipp fra fly produserer ozon effektivt, og har stor **positiv indirekte GWP**. En venter imidlertid med å kvantifisere denne til en har gjort mer omfattende studier. Det er sannsynlig at en del av dette arbeidet vil utføres innen 1995 IPCC utredningen skrives.

Usikkerheten knyttet til beregninger av indirekte GWP gjelder også for KFK, HKFK og halon gassene. Denne gruppe gasser reduserer ozon i stratosfæren, og har derved en **indirekte effekt som er negativ**, uten at en helt kan kvantifisere hva det betyr for deres samlede GWP. Alle beregninger som er utført hittil tyder imidlertid på at den indirekte effekten er betydelig.

Dette gjør at det for tiden er vanskelig å ta med KFK gassene i klimabudsjetter ut fra deres direkte GWPer.

For HFK gassene (HFK-134a og HFK-152a) som er mulige erstatningsstoffer for KFK stiller det seg annerledes siden de ikke har indirekte effekter (de påvirker ikke ozon). De vil ha GWP verdier som er bestemt av den direkte effekten.

### 3 Avsluttning

I forbindelse med 1994 rapporten har arbeidet innen IPCC WGI vesentlig konsentrert seg om de fem områdene som er diskutert ovenfor. Hensikten har vært å få fram det beste grunnlaget for beregning av GWP som et innspill i IPCC prosessen. En har i stor utstrekning tatt utgangspunkt i de to tidligere IPCC rapportene (IPCC, 1990; IPCC, 1992), og prøvd å få fram ny kunnskap, eller forskning som bekrefter tidligere studier.

Det har ikke skjedd noen store endringer i grunnlaget for beregning av GWP for de enkelte klimagassene. Både når det gjelder CO<sub>2</sub>, som viktigste drivhusgass og som referansegass for de andre drivhusgassene, og flere av de andre viktigste drivhusgassene har vi fått et bedre grunnlag for å beregne deres klimapåvirkning. Derimot har en ikke kommet så mye lengre når det gjelder å kvantifisere indirekte effekter av forurensningsgasser enn hva som var tilfellet ved forrige IPCC utredning (IPCC, 1992). Flere grupper i USA og Europa har utført slike studier, og vist at de indirekte effektene er betydelig. Det som imidlertid mangler er en internasjonal koordinering av arbeidet som kan gjøre en grundig vurdering av det arbeidet som utføres, og komme med anbefalinger. Tidsrammene som en opererer med i forbindelse med de enkelte IPCC utredningene er alt for begrenset til å få en grundig gjennomgang problemet. Det er derfor sannsynlig at det vil være begrenset hva som kan gjøres før neste fullstendige IPCC utredning skal gjøres om mindre enn ett år.

Det er spesielt innenfor to av områdene at det er et klart behov for å videreføre arbeidet fra 1994 rapporten til 1995 rapporten: Studere karbonsyklusen (kapittel 1) for å få best mulig grunnlag for å beregne absolutte GWP for CO<sub>2</sub>, beregninger av GWP med fokus på de indirekte effektene. På begge områdene foregår det et betydelig forskningsarbeide. Tiden er imidlertid knapp, det er bare 10 mnd., mellom de to rapportene, og dette begrenser hva som kan gjøres.

Når det gjelder områder som ikke er tatt med i den pågående IPCC utredningen som analyser av tidligere **temperaturrendringer, klimamodellstudier, endringer i havnivå og effekter av klimaendringer** foregår det et betydelig forskningsarbeide, ikke minst når det gjelder bruk og sammenlikning av klimamodeller. Disse områdene vil tas opp til bred vurdering i forbindelse med den mer omfattende 1995 IPCC utredningen.

**Referanser**

IPCC, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (ed. Houghton, J.T., G.J.Jenkins and J.J.Ephraums), Cambridge.

IPCC, 1992: Radiative Forcing of Climate, in Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press.

WMO, 1992: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 25, 1992.