

Klimatpolitik efter **KYOTOMÖTET**

TOR RAGNAR GERHOLM (RED.)

*Med kommentarer
av Bert Bolin*

SNS FÖRLAG

Klimatpolitik efter
KYOTOMÖTET

Klimatpolitik efter
KYOTOMÖTET

TOR RAGNAR GERHOLM (RED.)

*Jarl Ahlbeck, Frits Böttcher,
Karl-Axel Edin, Tor Ragnar Gerholm,
Wibjörn Karlén, Richard S. Lindzen,
Erik Moberg, Marian Radetzki
och Gösta Walin*

Med kommentarer av Bert Bolin

SNS FÖRLAG

SNS Förlag
Box 5629
114 86 Stockholm
Telefon: 08-453 99 50
Telefax: 08-20 62 06
E-post: bok.info.order@sns.se
Hemsida: www.sns.se

SNS – Studieförbundet Näringsliv och Samhälle

- grundades 1948 som en ideell sammanslutning
- är fristående i förhållande till politiska partier och intressegrupper
- sprider kunskap om ekonomiska och sociala förhållanden samt är ett obundet forum för öppet utbyte av idéer i sådana frågor
- verkar genom forskning och utredningar, bokutgivning, seminarier och konferenser.

Klimatpolitik efter Kyotomötet
Tor Ragnar Gerholm (red.)

Första upplagan
Första tryckningen

© 1998 Författarna och SNS Förlag
Översättning kap. 1: Per Nyqvist,
kap. 3 och 8: Sune Karlsson/Tor Ragnar Gerholm
Grafisk form och omslag: Nyeboelle Grafisk Form AB
Omslagsbild: Georgette Douwna/NPS
Tryckt hos Kristianstads Boktryckeri AB 1998

ISBN 91-7150-710-8

INNEHÅLL

Inledning

TOR RAGNAR GERHOLM: *Inför nästa debattrunda* • 7

IPCC:s grunddokument

1. IPCC Second Assessment Synthesis – Climate Change 1995 • 12

Vetenskap och politik

2. ERIK MOBERG: *Vetenskap och politik i växthusfrågan* • 32

3. FRITS BÖTTCHER: *Bruk och missbruk av vetenskapen inom politiken* • 41

Naturliga klimatförändringar

4. WIBJÖRN KARLÉN: *Är 1900-talets temperaturvariationer onormala?* • 52

5. JARL AHLBECK: *Har växthuseffekten förändrat jordens klimat?* • 67

Modellförutsägelser om framtida klimatförändringar

6. TOR RAGNAR GERHOLM: *Energianvändning och klimatmodeller* • 80

7. JARL AHLBECK: *Atmosfärens halt av koldioxid* • 93

8. RICHARD S. LINDZEN: *Den problematiska växthuseffekten* • 102

9. GÖSTA WALIN: *Havets roll i klimatsystemet – ett olöst problem* • 116

Energi och miljöpolitik

10. MARIAN RADETZKI: *Ekonomisk analys av klimatpolitiken* • 128

11. KARL-AXEL EDIN: *Den svenska klimatpolitiken* • 145

Kommentarer till kapitlen

BERT BOLIN: *Kunskap och kontroverser i klimatfrågan* • 158

Författarpresentationer • 173

Inledning – Inför nästa debattrunda

Tor Ragnar Gerholm

En internationell konferens i Toronto, Kanada, konstaterade att hela planeten hotas av en gigantisk miljöförstöring: "Mänskligheten genomför ett oavsiktligt, okontrollerat, hela jorden omfattande experiment vars yttersta konsekvenser bara skulle kunna överträffas av ett globalt kärnvapenkrigs. Det är nödvändigt att ingripa nu."

Men det var för tio år sedan. Sedan dess har "hotbilden" mattats avsevärt. Fortfarande framstår dock den internationella klimatpanelens (IPCC) förutsägelser om en framtida klimatförändring och dess konsekvenser för människornas välfärd och fysiska miljö som tillräckligt avskräckande för att motivera långtgående politiska åtgärder i syfte att begränsa utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser. Det senaste, men säkert inte det sista, uttrycket för denna oro var den stora klimatkonferensen i Kyoto, Japan, hösten 1997.

Debatten om de globala klimatförändringarna avslutades inte i Kyoto. Den kommer tvärtom att fortsätta och intensifieras när de verbala utfästelserna skall omsättas i praktisk politik genom ratificering och lagstiftning i varje enskilt fördragsslutande land, däribland Sverige.

Mycket tyder på att tyngdpunkten kommer att förskjutas från klimatologi, meteorologi och naturvetenskap i största allmänhet till de politiska, ekonomiska och sociala konsekvenserna av en förändrad energipolitik syftande till att begränsa och på sikt reducera användningen av fossila bränslen.

I den här boken har vi velat lyfta fram några av dessa frågor och bereda plats för experter från berörda områden utanför meteorologins. Några av dessa har tidigare inte kommit till tals.

Vi har begränsat oss till koldioxidemissionerna av flera skäl. Koldioxiden svarar för mer än hälften av de antropogena (av människor orsakade) utsläppen av s.k. växthusgaser. Om inga begränsande åtgärder vidtas kommer enligt IPCC koldioxidens relativa andel att växa kraftigt under nästa århundrade. Det är alltså först och främst koldioxid det handlar om även om vi naturligtvis är medvetna om att övriga växthusgaser lämnar bidrag som sammantaget kan jämföras med koldioxidens.

Koldioxiden intar en särställning också genom den direkta, och av allt att döma nödvändiga, kopplingen mellan atmosfäriska emissioner och fossilbränsleanvändningen. Eftersom mänsklighetens energiförsörjning idag till ungefär 80 procent baseras på fossila bränslen är sambandet mellan energi och miljö speciellt problematiskt för koldioxidens del.

Ytterligare ett skäl att här begränsa diskussionen till koldioxid är att vi främst riktar oss till svenska läsare. För Sveriges del är det till omkring 80 procent koldioxid det handlar om.

Vi som medverkar i denna bok lägger inte här fram några egna teorier, hypoteser eller "modeller". Vi har valt att utgå från IPCC:s egna rapporter och från det vetenskapliga primärmaterial klimatpanelen själv förlitar sig till. Vi vill på detta sätt visa att slutsatserna inte är så entydiga som de ibland påståtts vara. På olika vägar och utifrån skilda utgångspunkter har några av oss nått fram till en gemensam skeptisk hållning. Vi menar att beslutsunderlaget sådant det idag föreligger inte kan läggas till grund för några kostnadskrävande klimatpolitiska åtgärder.

Men det innebär inte att vi nonchalerar problemen. Vi är alla medvetna om att det finns risk för att jordens klimat kommer att påverkas om växthuseffekten förstärks genom att halterna av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären ökar väsentligt. Vi rekommenderar därför sådana begränsande och reducerande åtgärder som inte medför samhällsekonomiska kostnader. Några av oss, däribland jag, är beredda att gå längre och därutöver acceptera (måttliga) utgifter förutsatt att de med någon rimlig grad av trovärdighet kan visas leda till begränsningar av utsläppen globalt sett – men inte nödvändigtvis i Sverige.

För att ge läsaren en bakgrund till den diskussion som förs i boken presenterar vi först några av de i sammanhanget mest relevanta avsnitten ur *IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework on Climate Change* som därmed för första gången blir tillgänglig på svenska.

För det inledande bidraget svarar *Erik Moberg* som i ett balanserat inlägg blottlägger de särintressen som döljer sig – eller åtminstone kan tänkas dölja sig – bakom klimatpolitikens massmediala fasader. Till dessa särintressen hör inte minst vetenskapens och politikens olika grupperingar. Den som tagit till sig Mobergs klagörande analys är förvisso bättre rustad än vad som annars vore fallet att kritiskt skärskåda de argument som brukar förekomma i debatten inklusive de som bokens övriga bidragsgivare anför.

Frits Böttcher ger bakgrunden till den klimatpolitiska debatten och diskuterar i vad mån vetenskapsmän (det verkar nästan uteslutande vara män) har äran av och ansvaret för att klimatfrågorna fått bokstavligt talat globala proportioner.

Wibjörn Karlén visar att, tvärt emot vad man i allmänhet tror, 1900-talets

klimat ter sig tämligen normalt. Minst lika stora och snabba förändringar av jordytans temperatur har inträffat under den förindustriella tiden och av allt att döma under hela perioden efter den senaste istiden. I anslutning här till konstaterar *Jarl Ahlbeck* att man med konventionella statistiska metoder inte kan påvisa någon signifikant inverkan av en förstärkt växthuseffekt.

Själv gör jag, *Tor Ragnar Gerholm*, det i och för sig självklara konstatandet att alla förutsägelser om framtida klimatförändringar bygger på antaganden om hur den globala energianvändningen kommer att utvecklas i framtiden. Sådana antaganden avseende förhållanden om 50 eller 100 år måste betecknas som högst spekulativa. I ett kompletterande inlägg presenterar *Jarl Ahlbeck* ett intressant resultat från en av honom nyligen genomförd statistisk analys. Det visar sig att den andel tillförd koldioxid som faktiskt stannar kvar i atmosfären under någon längre tid – den s.k. *air-borne fraction* – avtar med stigande atmosfärisk koldioxidhalt. Detta leder för IPCC:s emissionsscenarier till väsentligt lägre koldioxidhalter än de av klimatpanelen beräknade. Klimatpåverkan blir därmed i motsvarande grad mindre.

Richard Lindzen diskuterar de nuvarande klimatmodellernas tillkortakommanden och brist på empirisk förankring. *Gösta Walin* uppehåller sig vid den avgörande roll som haven spelar för klimatet och menar, liksom Lindzen, att de klimatmodeller IPCC förlitar sig till inte kan användas för att göra förutsägelser om de klimatologiska effekterna av en förhöjd halt av växthusgaser.

Marian Radetzki utgår från de ekonomiska analyser av klimatpolitikens konsekvenser som IPCC:s experter presenterat. Radetzki ifrågasätter om inte de (betydande) utgifter som de klimatpolitiska åtgärderna kommer att föra med sig skulle kunna användas för att finansiera mera angelägna välfärdsreformer, inte minst i de fattiga länderna.

Att detta åtminstone gäller för svensk klimatpolitik framgår med all önskvärd tydlighet av *Karl-Axel Edins* avsnitt. Vi avser att ge ut denna bok i en engelsk översättning. Läsare i andra länder kommer förvisso att finna Sveriges märkliga energi- och klimatpolitik både lärorik, avskräckande och – komisk.

På några ställen i texten förekommer matematiska uttryck. Jag hoppas att dessa inte skall verka avskräckande. Avsikten är uteslutande att sådana läsare som kan följa det matematiska resonemanget själva skall kunna bedöma dess logiska bärkraft. Det hindrar inte övriga från att tillgodogöra sig argumenten sådana som de presenteras i den anslutande texten.

För att ge läsaren en möjlighet att bilda sig en alldeles egen uppfattning om hållbarheten i de argument som anförts har vi bett Bert Bolin, IPCC:s förste ordförande, att kommentera våra inlägg. Bolin får, som sig bör, sista ordet – men inte nödvändigtvis rätt.

IPCC:s grunddokument

1.

IPCC Second Assessment Synthesis Climate Change 1995

Avsnitten 2, 3 och 4 ur

IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change, översättning av Per Nyqvist.

2. Antropogen påverkan på klimatsystemet

Påverkan fram till idag

2.1 För att man skall kunna förstå vilka halter av växthusgaser som är förenliga med att klimatsystemet inte utsätts för farliga störningar måste man först veta något om de nuvarande halterna i atmosfären samt trenderna för dessa, likaså deras konsekvenser (både nuvarande och framskrivna) för klimatsystemet.

2.2 Sedan förindustriell tid (ca 1750 e.Kr.) har halten av växthusgaser i atmosfären, bland dem koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och dikväveoxid (N_2O) ökat avsevärt: CO_2 från omkring 280 till nästan 360 ppmv,¹ CH_4 från 700 till 1 720 ppbv och N_2O från ca 275 till ca 310 ppbv. Dessa trender kan till stor del tillskrivas mänskliga aktiviteter, framför allt användning av fossila bränslen, ändrad markanvändning och jordbruk. Även halterna av andra antropogena växthusgaser har ökat. Ökade halter av växthusgaser leder i genomsnitt till ytterligare uppvärmning av atmosfären och jordytan. Många växthusgaser stannar kvar i atmosfären – och påverkar klimatet – mycket länge.

¹ ppmv står för miljondelar av volym; ppbv står för miljarddelar av volym. De citerade värdena är från 1992.

2.3 Aerosoler i troposfären, härrörande från förbränning av fossila bränslen, brinnande biomassa och andra källor, har lett till förändringar i strålningsbalansen med direkt dämpande verkan på växthuseffekten, möjligen också till förändringar med indirekt dämpande verkan i samma storleksordning. Den dämpande effekten är koncentrerad till särskilda regioner och subkontinentala områden, men den kan eventuellt påverka klimatmönstren på kontinental till hemisfärisk nivå. Lokalt kan aerosolerna ha tillräckligt stark verkan för att mer än upphäva växthusgasernas uppvärmande effekt. Till skillnad från växthusgaserna, som har lång livslängd, finns de antropogena aerosolerna bara kvar i atmosfären under en mycket kort tid. Deras effekt på strålningsbalansen påverkas därför snabbt av ökningar eller minskningar av utsläppen.

2.4 Sedan slutet av 1800-talet har den genomsnittliga globala ytemperaturen stigit med mellan ca 0,3 och 0,6°C, en förändring som förmodligen inte har enbart naturliga orsaker. Det samlade materialet avseende förändringar av den genomsnittliga globala temperaturen i luften vid jordytan och förändringar i geografiska, årstidsbetingade och vertikala mönster för atmosfärens temperatur antyder att människan märkbart har påverkat det globala klimatet. Det råder osäkerhet beträffande vissa nyckelfaktorer, inklusive de långsiktiga naturliga växlingarnas magnitud och mönster. Globalt har havsytan stigit med mellan 10 och 25 cm under de senaste 100 åren, en stigning som till stor del kan sättas i samband med ökningen av den globala medeltemperaturen.

2.5 Man har inte tillräckligt med fakta för att kunna avgöra om det har förekommit konsistenta globala förändringar av klimatväxlingarna eller av vädrets extremvärden under 1900-talet. Det finns klara tecken på att det på regional nivå har förekommit förändringar av vissa extremvärden och klimatväxlingsindikatorer. En del av dessa förändringar har skett i riktning mot ökade klimatväxlingar, andra i riktning mot minskade. Hittills har det emellertid inte varit möjligt att säkert konstatera ett klart samband mellan dessa regionala förändringar och mänskliga aktiviteter.

Tänkbara konsekvenser av framtida påverkan

2.6 Så länge det inte finns någon policy för att begränsa utsläppen av växthusgaser och aerosoler och det inte skett några betydande tekniska framsteg som minskar utsläppen och/eller ökar sänkorna, förväntas koncentrationen av dem öka under nästa sekel. IPCC har utvecklat en rad scenarier, IS92a–f, för framtida utsläpp av växthusgaser och aerosoler samt deras för-

stadier, baserade på antaganden rörande befolkningsökning, ekonomisk tillväxt, markanvändning, tekniska förändringar, energitillgång och bränslemix under perioden 1990 till 2100.² I dessa scenarier beräknas koldioxidutsläppen år 2100 ligga mellan ca 6 GtC³ per år – ungefärligen i nivå med aktuella utsläpp – och så mycket som 36 GtC per år, varvid värdena i den nedre delen av intervallet bygger på antaganden om låg befolkningsökning och långsam ekonomisk tillväxt fram till år 2100. Metanutsläppen beräknas ligga någonstans mellan 540 och 1 170 Tg⁴ CH₄ per år (år 1990 låg de på ungefär 500 Tg CH₄) och kväveoxidutsläppen mellan 14 och 19 Tg N per år (år 1990 låg de på ca 13 Tg N). I samtliga fall fortsätter halterna av växthusgaser i atmosfären och den totala strålningspåverkan att öka under simuleringsperioden 1990 till 2100.

2.7 Om man utgår från det mellersta scenariot, IS92a, och därvid antar det ”mest sannolika” värdet beträffande klimatkänslighet⁵ samt inkluderar effekterna av framtida stigande aerosolhalter, ger modellerna en ökning av den globala genomsnittliga ytemperaturen under perioden 1990–2100 på 2°C. Denna uppskattning är ungefär en tredjedel lägre än det ”mest sannolika” värdet år 1990. Detta beror i första hand på att man räknat med lägre utsläpp (särskilt vad gäller koldioxid och CFC-föreningar), att man inkluderat den avkylande effekten från sulfatpartiklar och att man räknat med förbättringar i hanteringen av kolets kretslopp. Om man kombinerar det lägsta utsläppsscenario (IS92c) med ett ”låg” värde beträffande klimatkänslighet och inkluderar effekterna av framtida förändringar av aerosolhalterna ger modellerna en temperaturhöjning på ca 1°C fram till år 2100. Motsvarande framskrivning i det högsta IPCC-scenariot (IS92e), i kombination med ett ”hög” värde för klimatkänsligheten, ger en uppvärmning på ca 3,5°C. I samtliga fall skulle den genomsnittliga uppvärmningstakten troligen vara större än någon som har förekommit under de senaste 10 000 åren. De faktiska förändringarna över enstaka år eller decennier skulle dock innefatta avsevärda naturliga variationer. Regionala temperaturförändringar skulle kunna skilja sig avsevärt från det globala medelvärdet. På grund av havens termiska tröghet skulle bara 50–90 % av den

² Se Tabell 1 i ”Summary for Policymakers” av Arbetsgrupp II i IPCC (återgiven i bilaga 2 i SOU 1995:96).

³ Vid omvandling av GtC (gigaton kol eller tusen miljoner ton kol) till koldioxidmassa ska man multiplicera GtC-värdet med 3,67.

⁴ Tg: 1 teragram är 10¹² gram.

⁵ I IPCC:s rapporter avses med klimatkänslighet (climate sensitivity) vanligen jordytans genomsnittliga temperaturhöjning orsakad av en fördubbling av halten koldioxidekvivalenter i atmosfären. Mer allmänt används termen om den genomsnittliga jämviktsförändring i lufttemperaturen vid jordytan som följer på en förändring med en enhet av strålningspåverkan (°C per Wm⁻²).

eventuella jämviktsförändringen av temperaturen ha inträffat före år 2100, och temperaturen skulle fortsätta att stiga efter år 2100, även om halterna av växthusgaser hade stabiliserats vid den tiden.

2.8 Havsyntans genomsnittliga nivå väntas stiga på grund av havens termiska utvidgning och avsmältningen från glaciärer och istäcken. Om man utgår från de "mest sannolika" värdena beträffande klimatkänslighet och beträffande isens benägenhet att smälta på grund av uppvärmning samt inkluderar effekterna av framtida stigande aerosolhalter, visar modellerna i scenario IS92a att havsytan kommer att stiga med ca 50 cm mellan nutid och år 2100. Denna uppskattning är ca 25 % lägre än det "mest sannolika" värdet 1990, vilket beror på att de framskrivna temperaturerna är lägre. Den speglar emellertid också förbättringar i klimat- och issmältningssmodellerna. Om man kombinerar lägsta-utsläpps-scenariot (IS92c) med de "låga" värdena beträffande klimatkänslighet och isens benägenhet att smälta samt inkluderar aerosoleffekterna, kommer man fram till en stigning av havsytan med ca 15 cm mellan nutid och år 2100. Motsvarande framskrivning i högsta-utsläpps-scenariot (IS92e) i kombination med "höga" värdena beträffande klimatkänslighet och benägenhet till issmältning resulterar i en stigning av havsytan med ca 95 cm mellan nutid och år 2100. Havsytan skulle fortsätta att stiga i ungefär samma takt under seklerna efter 2100, även om halterna av växthusgaser hade stabiliserats vid den tiden, och den skulle fortsätta att göra det även efter den tid då den globala medeltemperaturen hade stabiliserats. Regionalt skulle förändringarna av havsyntans nivå kunna skilja sig från det globala medelvärdet beroende på landrörelser och ändrade havsströmmar.

2.9 Det anses att framskrivningarna på hemisfärisk till kontinental nivå, som utgår från klimatmodeller vilka kombinerar förändringar i atmosfären och haven, är mer tillförlitliga än framskrivningarna på regional nivå, som ännu inte anses tillförlitliga. Framskrivningar av temperatur anses vara mer tillförlitliga än framskrivningar av hydrologiska förändringar.

2.10 Alla modellsimuleringar, oavsett om de utgick från ökade halter av både växthusgaser och aerosoler eller av enbart växthusgaser, gav följande utfall: vintertid större ökning av yttemperaturen till lands än till havs; störst ökning av yttemperaturen på höga nordliga breddgrader om vintern, liten ökning av yttemperaturen över Arktis om sommaren; globalt och genomsnittligt en större och snabbare omsättning av vatten i atmosfären, med ökad nederbörd och markfuktighet på höga breddgrader om vintern. Alla dessa förändringar står i samband med identifierbara fysikaliska mekanismer.

2.11 Högre temperaturer kommer att leda till större och snabbare omsättning av vatten i atmosfären. Detta innebär att det i framtiden kan bli svårare torkperioder och/eller översvämningar på vissa ställen och lindrigare torkperioder och/eller översvämningar på andra. Flera modeller pekar på en ökad nederbördsintensitet, vilket tyder på att regnen kan bli häftigare. För närvarande räcker inte kunskaperna för att man skulle kunna säga om frekvensen eller den geografiska fördelningen av svåra stormar, t.ex. tropiska cykloner, kommer att förändras.

2.12 Det finns många osäkra omständigheter och många faktorer som för närvarande begränsar vår förmåga att skriva fram och upptäcka framtida klimatförändringar. Övåntade, omfattande och snabba förändringar i klimatsystemen (som har förekommit tidigare) är genom sin natur svåra att förutsåga. Detta betyder att framtida klimatförändringar också kan innebära "översaskningar", vilket framför allt beror på klimatsystemets icke-linjära natur. Icke-linjära system är särskilt benägna att bete sig på ett övåntat sätt när de utsätts för snabba förändringar. Man kan göra framsteg genom att undersöka icke-linjära processer och subkomponenter i klimatsystemet. Bland exempel på sådant icke-linjärt beteende märks snabba cirkulationsförändringar i Nordatlanten och återkopplingar i samband med förändringar i jordytans ekosystem.

3. Om olika systems känslighet för klimatförändringar och deras förmåga att anpassa sig till dem

3.1 Detta avsnitt ger vetenskaplig och teknisk information som bland annat kan användas för att bedöma huruvida det framskrivna intervallet av troliga effekter utgör "farlig antropogen påverkan på klimatsystemet", som nämndes i Artikel 2, och för att utvärdera anpassningsalternativ. Ännu går det emellertid inte att säga att vissa givna halter av växthusgas i atmosfären kommer att ha vissa bestämda effekter.

3.2 Människors hälsa, ekologiska system på land och i vatten samt socio-ekonomiska system (t.ex. jordbruk, skogsbruk, fiske och vattenresurser) är alla av vital betydelse för den mänskliga utvecklingen och det mänskliga välbefinnandet. Alla är de också känsliga både för klimatförändringarnas omfattning och för den takt i vilken de sker. Det är visserligen troligt att många områden kommer att drabbas av klimatförändringarnas negativa effekter – varav vissa kan vara oåterkalleliga – men en del effekter av klimatförändringarna kommer troligen att vara positiva. Det kan alltså för-

väntas att olika segment i samhället får möta förändringar av olika slag som de behöver anpassa sig till.

3.3 Människoframkallade klimatförändringar utgör en betydelsefull tillkommande påfrestning, särskilt för de många ekologiska och socio-ekonomiska system som redan har påverkats av miljöföroreningar, stigande efterfrågan på resurser och icke-hållbara driftsmetoder. Den mänskliga hälsans och de socio-ekonomiska systemens – samt, i lägre grad, de ekologiska systemens – sårbarhet påverkas av ekonomiska förhållanden och av institutionell infrastruktur. Detta innebär att system normalt är mer sårbara i utvecklingsländer, där ekonomiska och institutionella förhållanden är mindre gynnsamma.

3.4 Våra kunskaper har visserligen ökat påtagligt under det senaste decenniet, och det går att göra kvalitativa uppskattningar, men det är svårt att göra kvantitativa framskrivningar av klimatförändringarnas effekter på ett visst system och en viss plats. Detta beror på flera saker: att projiceringar av klimatförändringar på regional nivå är osäkra; att vi för närvarande bara har begränsad insikt i många processer av kritisk betydelse; att system utsätts för många olika sorters klimatiska och icke-klimatiska påfrestningar, vilkas ömsesidiga påverkan inte alltid är av linjär eller additiv art; och slutligen att man – bortsett från några enstaka studier – inte har övervägt dynamiska reaktioner på stadigt stigande halter av växthusgaser, inte heller konsekvenserna av ökningar större än en fördubbling av halten koldioxid-ekvivalenter i atmosfären.

3.5 Under de kommande decennierna kommer det att vara ytterst svårt att otvetydigt påvisa klimatframkallade förändringar i de flesta ekologiska och sociala system. Detta beror på komplexiteten i dessa system, deras många icke-linjära återkopplingar och deras känslighet för ett stort antal klimatiska och icke-klimatiska faktorer, vilka alla kan förväntas fortsätta att förändras samtidigt. Ju mer det framtida klimatet sträcker sig bortom den empiriska kunskapens gränser (dvs. de dokumenterade effekterna av klimatväxlingar i det förflutna), desto troligare är det att man kommer att råka ut för överraskningar och oväntade, snabba förändringar.

Systems känslighet

EKOSYSTEM PÅ JORDEN OCH I VATTNET

3.6 Ekosystemen innehåller jordens samlade förråd av genetisk och artmässig mångfald och tillhandahåller många varor och tjänster, däribland:

(1) mat, fibrer, mediciner och energi; (2) omvandling och lagring av kol och andra näringsämnen; (3) assimilation av avfall, rening av vatten, reglering av vattenavrinning och kontroll av översvämningar, jordförsämring och stranderosion; och (4) möjligheter till rekreation och turism. Sammansättningen och den geografiska fördelningen av många ekosystem (t.ex. skogar, betesmarker, öknar, bergssystem, sjöar, våtmarker och hav) kommer att skifta, efterhand som enskilda arter reagerar på klimatförändringarna; det kommer troligen att förekomma en minskning av den biologiska mångfalden och av mängden av de varor och tjänster som ekosystem tillhandahåller åt samhället. En del ekologiska system kommer kanske inte att få en ny jämvikt förrän flera århundraden efter att klimatet uppnått en ny balans. Detta avsnitt belyser effekterna av klimatförändring på ett antal utvalda ekologiska system.

3.7 Skogar: Enligt modellerna kommer en betydande del (globalt i genomsnitt en tredjedel, med regionala variationer från en sjundedel till två tredjedelar) av världens befintliga skogsareal, som en följd av möjliga förändringar vad gäller temperatur och vattentillgänglighet under jämviktsförhållanden kännetecknade av fördubblad halt koldioxidekvivalenter,⁶ att förändras avsevärt i fråga om övergripande växtlighetstyper – varvid störst förändringar kommer att ske på höga breddgrader och minst i tropikerna. Klimatförändringarna väntas ske snabbt jämfört med den takt med vilken skogsarter växer, reproduceras och återetablerar sig. Det är därför troligt att skogarnas artsammansättning kommer att förändras; hela skogstyper kan försvinna, medan nya artsamlingar och därmed nya ekosystem kan komma att uppstå. Stora mängder kol kan komma att släppas ut i atmosfären under övergångar från en skogstyp till en annan, eftersom kolet kan frigöras snabbare under perioder av hög skogsödlighet än det kan återupptas genom tillväxt till mognad.

3.8 Öknar och ökenspridning: Det är troligt att öknarna kommer att bli mer extrema, eftersom de – med få undantag – beräknas bli varmare men inte påtagligt fuktigare. Temperaturökningar kan bli ett hot för organismer som lever nära gränsen för sin värmetolerans. Risken för oåterkallelig ökenspridning – markförsämring i arida, halvarida och torra, subhumida områden beroende på bland annat klimatväxlingar och mänskliga aktiviteter – ökar om miljön blir torrare och jordmånen ytterligare utarmas genom erosion och sammanpackning.

⁶ Se avsnitt 4.17 för en förklaring av "koldioxidekvivalenter".

3.9 Ekosystem i bergsområden: Växtlighetens höjdmässiga fördelning beräknas skifta uppåt; vissa arter, vilkas klimatiska utbredningsområden är begränsade till bergstoppar, kan komma att dö ut på grund av att deras livsrum försvinner eller att deras migrationsmöjligheter minskar.

3.10 Ekosystem i vatten och vid kuster: Vad gäller sjöar och strömmar kommer en uppvärmning att ha de största biologiska effekterna på höga breddgrader, där den biologiska produktiviteten ökar, och vid gränserna för utbredningsområden för arter i kallt och svalare vatten på låga breddgrader, där utslagningen förväntas bli störst. Våtmarkernas geografiska fördelning kommer troligen att skifta i samband med förändringar av temperatur och nederbörd. De ekonomiskt och ekologiskt betydelsefulla kustsystemen väntas reagera mycket olika på förändringar av klimat och havsnivåer. Vissa ekosystem vid kusterna löper särskilt stora risker, däribland saltvattensträsk, mangroveekosystem, kustvåtmarker, sandstränder, korallrev, korallatoller och floddeltan. Förändringar i dessa ekosystem skulle ha betydande negativa effekter på turism, färskvattentillgång, fiske och biologisk mångfald.

HYDROLOGI OCH FÖRVALTNING AV VATTENRESURSER

3.11 Enligt modellerna kommer mellan en tredjedel och hälften av nu existerande glaciärmassor i bergen att försvinna under det närmaste seklet. Glaciärernas minskade utbredning och det minskade snödjupet skulle också påverka den årstidsmässiga fördelningen av flodernas vattenflöde samt tillgången på vatten för elkraftsproduktion och jordbruk. Förutsedda hydrologiska förändringar och minskningar av permafrostens utbredning och djup skulle kunna leda till omfattande skador på infrastruktur, ytterligare utflöde av koldioxid i atmosfären och förändringar i processer som bidrar till utflödet av metan i atmosfären.

3.12 Klimatförändringarna kommer globalt att leda till en större och snabbare omsättning av vatten i atmosfären, och det kan hända att de får betydande effekter på de regionala vattenresurserna. Förändringar i den totala nederbörds mängden samt i nederbördens frekvens och intensitet påverkar direkt både avrinningsvolym och tid för avrinning, liksom översvämningars och torkperioders intensitet; för närvarande kan man emellertid inte säga någonting säkert om specifika regionala effekter. Relativt små temperatur- och nederbördsförändringar kan tillsammans med icke-linjära effekter på evapotranspiration och jordfuktighet resultera i relativt stora förändringar i avrinningen, särskilt i arida och halvarida områden.

Redan idag utgör vattentillgångarnas kvantitet och kvalitet allvarliga problem i många områden, däribland vissa lågt liggande kustområden, deltan och småöar, vilket gör länder i sådana områden särskilt sårbara för ytterligare minskningar av de inhemska vattentillgångarna.

JORD- OCH SKOGSBRUK

3.13 Förändringar i fråga om skörderesultat och produktivitet, orsakade av klimatförändringar, kommer att variera avsevärt mellan regioner och platser, vilket kommer att påverka produktionsmönstren. Produktiviteten beräknas öka i vissa områden och minska i andra, särskilt i tropiska och subtropiska områden. Det finns studier som visar att den globala jordbruksproduktionen på det hela taget skulle kunna hållas oförändrad vid en klimatförändring till ett jämviktstillstånd kännetecknat av en fördubblad halt koldioxidkvivalenter. Vid denna slutsats har man tagit hänsyn till de positiva effekterna av koldioxidgödning, men inte till förändringar vad gäller skadedjur, inte heller till de tänkbara effekterna av förändringar i klimatets naturliga variationer. När man fokuserar den globala jordbruksproduktionen bortser man emellertid från de potentiellt allvarliga följderna av stora skillnader på lokal och regional nivå, som kan förekomma även vid de mellersta breddgraderna. I vissa trakter kan risken för hunger och hungersnöd öka; många av världens fattigaste människor – särskilt de som lever i subtropiska och tropiska områden och är beroende av isolerade jordbrukssystem i halvarida och arida regioner – löper störst risk att drabbas av ökad hunger. Beroende på både klimatiska och icke-klimatiska faktorer kan det hända att de globala trätillgångarna under nästa århundrade blir alltmer otillräckliga i förhållande till konsumtionen.

MÄNSKLIG INFRASTRUKTUR

3.14 Klimatförändringar kommer uppenbarligen att göra vissa kustpopulationer mer sårbara för översvämningar och för markförluster genom erosion. Det uppskattas att 46 miljoner människor om året för närvarande riskerar att drabbas av översvämning på grund av stigande vattenstånd under storm. Om det inte vidtas några motåtgärder beräknas en höjning av havsytan med 50 cm öka detta antal till ca 92 miljoner och en höjning med 1 meter till 118 miljoner; härvid har inte tagits hänsyn till förväntad befolkningsökning. Studier som utgår från en höjning på 1 meter visar på en särskild risk för små öar och deltan. Denna höjning hör till de högsta bland de framskrivningar som IPCC:s arbetsgrupp gjort till år 2100; det bör emel-

lertid noteras att havsytan för närvarande beräknas fortsätta att stiga under seklerna efter 2100. De uppskattade landförlusterna varierar: 0,05 % för Uruguay, 1,0 % för Egypten, 6 % för Nederländerna, 17,5 % för Bangladesh och hela 80 % för Majuro-atollen i Marshall-arkipelagen, varvid uppskattningarna utgår från det skick som skyddssystemen för närvarande befinner sig i. Vissa små önationer och andra länder kommer att vara mer sårbara än andra på grund av att deras befintliga system för att skydda kusterna är föga utvecklade. Länder med hög befolkningstäthet skulle vara mer sårbara. Stormvågor och översvämningar skulle kunna hota hela kulturer. För sådana länder skulle en stigande havsyta tvinga fram migration inom eller utom landet.

MÄNSKLIG HÄLSA

3.15 Klimatförändringar kommer förmodligen att ha omfattande och i allmänhet negativa effekter på människors hälsa, med åtföljande betydande förluster av människoliv. Bland de direkta hälsoeffekterna kan nämnas ökande antal hjärt- och lungrelaterade dödsfall och sjukdomar på grund av intensivare och längre värmeböljor. Temperaturökningar i kallare områden borde resultera i färre köldrelaterade dödsfall. Klimatförändringarnas indirekta effekter, vilka väntas dominera, innefattar ökad potentiell överföring av vektorburna infektionssjukdomar (t.ex. malaria, denguefeber, gula febern och vissa virusorsakade hjärninflammationer), beroende på vidgade utbredningsområden och förlängda säsonger för vektororganismer. Enligt modeller (som oundvikligen medför förenklande antaganden) skulle temperaturökningar på 3–5°C (att jämföra med IPCC:s framskrivning med 1–3,5°C fram till år 2100) kunna leda till potentiella ökningar av malariafrekvensen (i storleksordningen 50–80 miljoner fler fall om året, att ställas i relation till en antagen global bakgrund på totalt 500 miljoner fall), framför allt i tropiska och subtropiska zoner samt bland mindre väl skyddade populationer i tempererade zoner. Viss ökning av icke-vektorburna infektionssjukdomar – såsom salmonella, kolera och giardiasis – skulle också kunna förekomma som ett resultat av höjda temperaturer och ökade översvämningar. Begränsad tillgång på färskvatten och närande föda kommer tillsammans med de ökade luftföroreningarna också att få konsekvenser för människornas hälsotillstånd.

3.16 Det är svårt att kvantifiera de projicerade effekterna, eftersom omfattningen av de klimatframkallade hälsostörningarna påverkas av flera samtidigt existerande faktorer, som står i växelverkan med varandra och som påverkar den enskilda populationens sårbarhet. Bland dem kan nämnas mil-

jömässiga och socioekonomiska förhållanden, närings- och immunitetsläge, befolkningstäthet och tillgång till kvalificerad sjukvård. Populationer med olika tillgång till naturliga, tekniska och sociala resurser skulle följaktligen vara olika sårbara för klimatframkallade effekter på hälsotillståndet.

Tekniska och politiska anpassningsalternativ

3.17 Tekniska framsteg har i allmänhet gett politiskt styrda system ökade möjligheter att välja anpassningsåtgärder. Bland tänkbara anpassningsåtgärder för sötvattensresurser kan nämnas effektivare förvaltning av befintliga tillgångar och infrastruktur; institutionella åtgärder för att begränsa framtida efterfrågan på vatten och befordra vattenvården; förbättrade övervaknings- och prognosystem vad gäller översvämningar/torkperioder; återuppbyggnad av vattenbarriärer, särskilt i tropikerna; samt utbyggnad av vattenreservoarer. Olika typer av anpassningsåtgärder i jordbruket – såsom övergång till grödor av andra sorter och arter, förbättringar i vattenanvändningen och bevattningssystemen samt förändringar vad gäller sånings- tider och brukningsmetoder – kommer att spela stor roll när det gäller att begränsa negativa effekter och utnyttja positiva klimatförändringar. Effektiv förvaltning av kustzoner och planering av markanvändning kan bidra till att styra befolkningsflyttningar bort från sådana riskabla områden som flodslätter, branta sluttningar och lågt liggande kustlinjer. Bland anpassningsåtgärder för att minska negativa hälsoeffekter märks skyddande teknik (t.ex. bostadsbyggande, luftkonditionering, vattenrening och vaccinering), katastrofberedskap och lämplig hälso- och sjukvård.

3.18 Många områden i världen har emellertid för närvarande begränsad tillgång till dessa tekniska metoder och till lämplig information. För vissa önationer skulle adekvata skyddsåtgärder kosta så mycket att de i realiteten vore omöjliga att förverkliga, speciellt mot bakgrund av den begränsade tillgången på investeringskapital. Anpassningsstrategiernas effektivitet och lönsamhet kommer att vara beroende av tillgången på finansiella resurser och tekniköverföring samt av kulturella, utbildningsmässiga, administrativa, institutionella, legala och regleringsmässiga bruk eller metoder, som kan vara av både inrikespolitisk och internationell omfattning. Anpassningen kommer att underlättas om man tar hänsyn till klimatförändringsproblemen vid beslut avseende resursanvändning och utveckling samt vid planering av regelbundet återkommande infrastrukturinvesteringar.

4. Att stabilisera halterna av växthusgaser i atmosfären – ett analytiskt perspektiv

4.1 I Artikel 2 i Klimatkonventionen nämns uttryckligen ”stabilisering av växthushalter”. Detta avsnitt ger information om de olika växthusgasernas relativa betydelse för klimatförändringarna och diskuterar hur utsläpp av växthusgaser skulle kunna förändras så att man uppnår stabilisering vid vissa atmosfäriska koncentrationsnivåer.

4.2 Koldioxid, metan och dikväveoxid härrör från såväl naturliga som antropogena källor. De antropogena utsläppen av dessa gaser står för ca 80 % av den förstärkta växthuseffekt som växthusgaser har förorsakat sedan förindustriell tid (dvs. sedan ca 1750 e.Kr.). Ca 60 % av denna förstärkning härrör från koldioxid, ca fyra gånger så mycket som från metan.

4.3 Bland växthusgaserna märks också troposfäriskt ozon (vars kemiska förstadier innefattar kväveoxider, kolmonoxid och kolväten bortsett från metan), halokarboner⁷ (inklusive HCFC-föreningar och HFC-föreningar) samt SF₆. Troposfäriska aerosoler och troposfäriskt ozon är ojämnt fördelade i tiden och rummet, och de har kort livslängd i atmosfären (dagar till veckor). Man kan vidta åtgärder för att minska utsläppen av sulfatpartiklar, och sådana åtgärder förutsätts i IPCC:s scenarier.

4.4 De flesta utsläppsscenarierna visar att utsläppen av växthusgaser kommer att öka under nästa århundrade såvida de inte begränsas genom politiska åtgärder. Det beräknas att de i så fall kommer att förändra klimatet mer fram till år 2100 än vad en fördubbling av de förindustriella halterna av koldioxid beräknas ge upphov till.

Stabilisering av växthusgaser

4.5 Man behöver ta hänsyn till samtliga växthusgaser när det gäller frågan hur man skall stabilisera halterna av dem. Vi skall först behandla koldioxiden, vilken på grund av sin betydelse och sitt komplicerade beteende kräver en mer detaljerad behandling än de andra växthusgaserna.

⁷ De flesta halokarboner, men varken HFC- eller PFC-föreningar, regleras av Montrealprotokollet och dess tilläggsprotokoll.

Koldioxid

4.6 Koldioxiden försvinner från atmosfären genom ett antal processer som verkar på olika tidsskalor. Den finns kvar i klimatsystemet relativt länge – omkring ett århundrade eller mer. Om de globala antropogena nettoutsläppen⁸ (dvs. antropogena källor minus antropogena sänkor) fortsatte på nuvarande nivå (ca 7 GtC/yr inklusive utsläpp från förbränning av fossila bränslen, från cementproduktion och från ändrad markanvändning), skulle de leda till en nästan konstant ökning av de atmosfäriska halterna i minst två århundraden och nå 500 ppmv (alltså närma sig en fördubbling av den förindustriella koncentrationen på 280 ppmv) vid slutet av det 21:a århundradet. Modeller för kolets kretslopp visar att en omedelbar stabilisering av koldioxidhalten på nuvarande nivå skulle kräva att man omedelbart minskade utsläppen med 50–70 % och därefter fortsatte att minska dem.

4.7 Man har använt modeller av kolets kretslopp för att räkna fram profiler av koldioxidutsläpp som skulle kunna leda till stabilisering av koldioxidhalten på olika nivåer. Sådana profiler har framställts för några illustrativa nivåer: 450, 550, 650, 750 och 1 000 ppmv. Bland de många tänkbara vägarna till stabilisering visas i figur 1:1 två stycken för var och en av stabiliseringsnivåerna 450, 550, 650 och 750 ppmv samt en för 1 000 ppmv. Ju brantare ökningen av utsläppen (och därmed koncentrationen) är i dessa scenarier, desto snabbare beräknas klimatet förändras.

4.8 De ackumulerade antropogena koldioxidutsläppen från nutid och fram till tiden för stabiliseringen spelar större roll än de sätt på vilka dessa utsläpp varierar under perioden när det gäller frågan på vilken nivå halten kommer att stabiliseras. Detta betyder att om det har varit höga utsläpp under de tidiga decennierna så krävs det låga utsläpp senare, om man skall uppnå en viss stabiliseringsnivå. I tabell 1:1 visas ackumulerade utsläpp från 1991 till 2100 motsvarande dessa stabiliseringsnivåer tillsammans med de ackumulerade utsläppen av koldioxid för alla IPCC:s utsläppsscenarier (IS92) (se figur 1:2 nedan samt tabell 1 i "Summary for Policymakers of IPCC Working Group II" för detaljer i dessa scenarier).

4.9 För att belysa några av de restriktioner som skulle krävas beträffande framtida koldioxidutsläpp, om man vill åstadkomma stabilisering på de illustrerade koncentrationsnivåerna, återges figur 1:1 och tabell 1:1. Dessa exempel utgör inte någon sorts rekommendation beträffandesättet att upp-

⁸ I fortsättningen av avsnitt 4 kommer "globala antropogena nettoutsläpp" (dvs. antropogena källor minus antropogena sänkor) att förkortas till "utsläpp".

nå sådana stabiliseringsnivåer, inte heller beträffande vilken stabiliseringsnivå som bör väljas.

4.10 Om man utgår från ackumulerade utsläpp och från IPCC:s scenarier IS92a avseende befolkningsutveckling och ekonomisk tillväxt under perioden 1990–2100, kan man härleda globala, årliga, genomsnittliga koldioxidutsläpp per capita eller per enhet ekonomisk aktivitet för de olika stabiliseringsscenarierna. Om halten i atmosfären skall stanna under 550 ppmv, får de globala, årliga, genomsnittliga utsläppen under nästa århundrade inte överskrida det nuvarande globala genomsnittet, och de behöver vara mycket lägre före och efter slutet av nästa århundrade. Om man accepterar stabiliseringsnivåer på 750 till 1 000 ppmv skulle de globala, årliga, genomsnittliga utsläppen kunna vara högre. Men till och med för att uppnå dessa senare stabiliseringsnivåer skulle de globala, årliga, genomsnittliga utsläppen behöva vara mindre än 50 % över nuvarande nivåer räknade per capita eller mindre än hälften av nuvarande nivåer räknade per enhet ekonomisk aktivitet.⁹

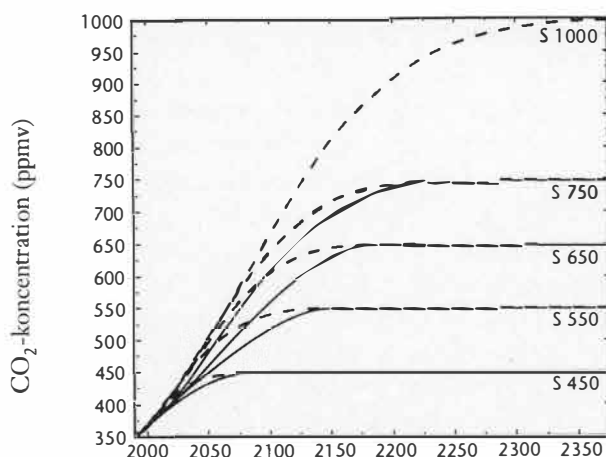
4.11¹⁰ De globala, genomsnittliga, årliga per capita-utsläppen av koldioxid som följd av förbränning av fossila bränslen uppgår för närvarande till ca 1,1 ton (som kol). Dessutom släpps det netto ut ytterligare ca 0,2 ton per capita genom avskogning och ändrad markanvändning. Det genomsnittliga, årliga utsläppet per capita till följd av förbränning av fossila bränslen uppgår i utvecklade länder och länder med övergångsekonomi till ca 2,8 ton och varierar mellan 1,5 och 5,5 ton. Siffran för utvecklingsländer är 0,5 ton, och den varierar från 0,1 ton till – i några enstaka fall – över 2,0 ton (alla siffrorna är från 1990).

4.12¹¹ Om man utgår från Världsbankens uppskattningar av BNP (bruttonationalprodukten) till marknadsmässig växelkurs uppgår det globala, årliga, genomsnittliga utsläppet av energirelaterad koldioxid till ca 0,3 ton per produktion till ett värde av tusen amerikanska dollar (1990 års kurs). Därtill kommer globala nettoutsläpp beroende på ändrad markanvändning på ca 0,05 ton per produktion till ett värde av tusen amerikanska dollar. För närvarande uppgår de genomsnittliga, årliga, energirelaterade utsläppen per produktion till ett värde av tusen amerikanska dollar (1990 års kurs),

⁹ Kina uttryckte en avvikande åsikt beträffande metoden att uttrycka koldioxidutsläpp per enhet ekonomisk aktivitet.

¹⁰ Panelen kom överens om att detta stycke inte skall utgöra ett förhandsomdöme om de aktuella förhandlingarna inom ramen för Klimatkonventionen.

¹¹ Panelen kom överens om att detta stycke inte skall utgöra ett förhandsomdöme om de aktuella förhandlingarna inom ramen för Klimatkonventionen.

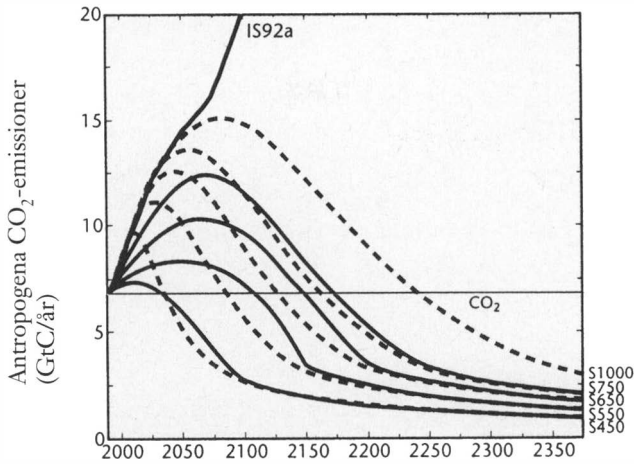


Figur 1.1(a). Profiler för koldioxidhalter som skulle leda till stabilisering vid 450, 550, 650 respektive 750 ppmv enligt de utvecklingsalternativ som beräknats av IPCC (1994) (heldragna kurvor) samt enligt de utvecklingsalternativ som låter utsläppen följa IS92a fram till åtminstone år 2000 (streckade kurvor). Det har också framställts en särskild profil för stabilisering vid en koldioxidhalt på 1000 ppmv och som följer IS92a-utsläppen till åtminstone år 2000. Stabilisering vid halter på 450, 650 respektive 1000 ppmv skulle innebära temperaturökningar för ett jämviktsläge i relation till 1990¹³ enbart beroende på koldioxid (dvs. exklusive effekterna av andra växthusgaser och aerosoler) på ca 1°C (intervall: 0,5 till 1,5°C), 2°C (intervall: 1,5 till 4°C) respektive 3,5°C (intervall: 2 till 7°C). En fördubbling av den förindustriella koldioxidhalten på 280 ppmv skulle leda till en halt på 560 ppmv, medan en fördubbling av den nuvarande halten på 358 ppmv skulle leda till en halt på ca 720 ppmv.

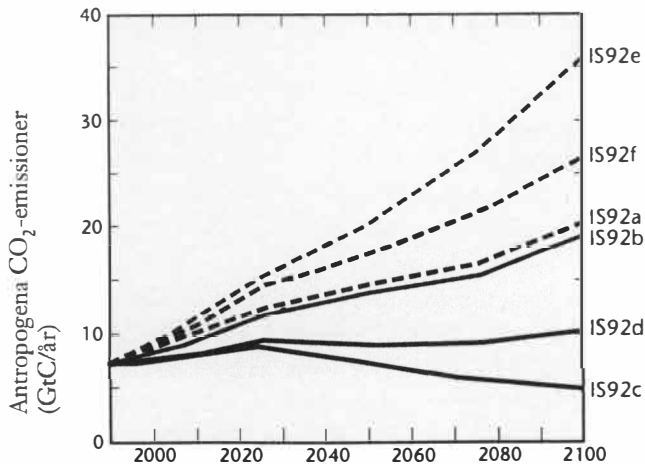
värderad efter marknadsmässiga växelkurser, till ca 0,27 ton i utvecklade länder och länder med övergångsekonomi och till ca 0,41 ton i utvecklingsländer. Om man utgår från Världsbankens uppskattningar av BNP till köpkraftbaserade växelkurser, uppgår de genomsnittliga, årliga, energirelaterade utsläppen per produktion till ett värde av tusen amerikanska dollar (1990 års kurs) till ca 0,26 ton i utvecklade länder och länder med utvecklingsekonomi och till ca 0,16 ton i utvecklingsländer.¹²

¹² Dessa beräkningar av utsläpp per enhet ekonomisk aktivitet innefattar inte utsläpp beroende på ändrad markanvändning, inte heller justeringar med hänsyn till den informella ekonomin.

¹³ Dessa siffror tar inte hänsyn till den ökning av temperaturen (0,1 till 0,7°C) som skulle inträffa efter 1990 på grund av koldioxidutsläpp före 1990.



Figur 1.1(b). Koldioxidutsläpp som skulle leda till stabilisering vid halter på 450, 550, 650 respektive 1000 ppmv och i enlighet med de profiler som visas i (a) från en modell för kolets kretslopp av genomsnittstyp. Andra modeller skulle kunna ge resultat som avviker från de här presenterade med upp till approximativt ± 15 procent. För jämförelsens skull visas också koldioxidutsläppen enligt IS92a samt nuvarande utsläpp (tunn heldragen linje).



Figur 1.2. Årliga antropogena koldioxidutsläpp enligt utsläppsscenarierna IS92 (se tabell I i "Summary for Policymakers of IPCC Working Group II" för ytterligare detaljer).

Metan

4.13 Metanhalterna i atmosfären anpassar sig till förändringar i de antropogena utsläppen inom 9 till 15 år. Om de årliga metanutsläppen omedelbart minskade med ca 30 Tg metan (ca 8 % av nuvarande antropogena utsläpp), skulle metanhalterna ligga kvar på dagens nivåer. Om metanutsläppen förblev konstanta på nuvarande nivå skulle metanhalterna (1 720 ppbv år 1994) stiga till ca 1 820 ppbv under de kommande 40 åren.

Dikväveoxid

4.14 Dikväveoxid har en lång livstid (ca 120 år). För att halten skulle stabiliseras nära nuvarande nivåer (312 ppbv år 1994) skulle utsläppen från antropogena källor behöva minskas omedelbart med över 50 %. Om utsläppen av dikväveoxid hölls konstanta på nuvarande nivåer skulle halten stiga i flera hundra år tills den uppgick till ca 400 ppbv, vilket gradvis skulle öka dess förstärkning av växthuseffekten med en faktor som är fyra gånger högre än den nuvarande.

Ytterligare anmärkningar beträffande stabilisering

4.15 För en effektiv stabilisering av halterna av mycket långlivade gaser, såsom SF₆ eller perfluorokarboner, krävs att utsläppen upphör.

4.16 I samtliga utsläppsscenarier (IS92a–f) ökar med tiden koldioxidens betydelse för klimatförändringarna jämfört med de andra växthusgaserna. I scenario IS92a ökar t.ex. koldioxidens bidrag från 60 % nu till 75 % år 2100. Under samma period ökar metanets och kväveoxidens klimatpåverkan i absoluta termer med en faktor som varierar mellan två och tre.

4.17 Samtliga växthusgasers kombinerade effekt på strålningsbalansen uttrycks ofta i termer av den halt koldioxid som skulle åstadkomma motsvarande påverkan. På grund av de andra växthusgasernas effekter innebär stabilisering vid ekvivalenten till en viss koldioxidhalt att koldioxidhalten måste hållas på en lägre nivå.

4.18 Om halten av växthusgaser stabiliseras innebär inte detta slutet på klimatförändringarna. Sedan stabiliseringen hade uppnåtts skulle den globala medeltemperaturen vid jordytan fortsätta att stiga i några århundraden och havsytan fortsätta att stiga i flera århundraden.

Tabell I.1. Totala antropogena koldioxidutsläpp i GtC ackumulerade från 1991 till 2100 enligt scenarierna IS92 (se tabell I.1 i "Summary for Policymakers of IPCC Working Group II") och vid stabilisering på olika nivåer av koldioxidhalt enligt de utvecklingsalternativ som illustreras i figur I.1 (a). De ackumulerade utsläpp som leder till stabilisering av koldioxidhalten beräknades enligt en kolcykelmodell av genomsnittstyp. Andra modeller skulle kunna ge resultat som är upp till approximativt 15 procent högre eller lägre än de som presenteras här.

	Ackumulerade koldioxidutsläpp 1991 till 2100 (GtC) ¹	
IS92-scenarier		
c	770	
d	980	
b	1430	
a	1500	
f	1830	
e	2190	
Stabiliseringsfall	För profiler A ²	För profiler B ³
450 ppmv	630	650
550 ppmv	870	990
650 ppmv	1030	1190
750 ppmv	1200 ⁴	1300 ⁴
1000 ppmv	—	1410 ⁴

1 Som jämförelse kan nämnas att utsläppen under perioden 1860–1994 uppgick till ca 360 GtC, av vilka ca 240 GtC berodde på användning av fossila bränslen och 120 GtC på avskogning och ändrad markanvändning.

2 Som i IPCC(1994) – se figur I.1(a) (heldragna kurvor).

3 Profiler som låter utsläppen följa IS92a åtminstone fram till år 2000 – se figur I.1(a) (streckade kurvor).

4 Halterna kommer inte att stabiliseras till år 2100.

Vetenskap och politik

2.

Vetenskap och politik i växthusfrågan

Erik Moberg

Den vanligaste, eller åtminstone just nu dominerande, uppfattningen om växthuseffektens innebörd låter sig sammanfattas i ett preciserat hot, och preciserade föreslagna åtgärder:

Hotet: De av människor orsakade ökade utsläppen av s.k. växthusgaser, främst koldioxid, får jordatmosfären att fungera som glaset i ett växthus. Jordytan, och luftlagren närmast den, värms upp, vilket är liktydigt med klimatförändringar. En viktig sekundäreffekt är en allmän höjning av jordens havsytor. Sammantaget innebär dessa effekter ett allvarligt hot mot betydande delar av mänskligheten.

De föreslagna åtgärderna: För att avvärja hotet är det nödvändigt att snabbt och påtagligt minska utsläppen av koldioxid. Det effektivaste sättet att göra detta är att, likaledes snabbt och påtagligt, minska användningen av fossila bränslen.

Låt oss börja diskussionen med att konstatera att de föreslagna åtgärderna varken är enkla eller billiga – åtminstone föreligger det ingen enighet om något sådant. Tvärtom torde de flesta som funderat på saken ha kommit fram till att åtgärderna är utomordentligt kostnadskrävande. Därmed blir också frågan om hotets realitet brännande. Är verkligen det hot som påkallar de kostnadskrävande åtgärderna reellt? Om inte så innebär ju åtgärdernas genomförande ett stort resursslöseri. Denna resonemangslinje pekar alltså på risken av att kostnadskrävande åtgärder vidtas i onödan därför att hotet överdrivits. Samtidigt bör emellertid sägas att den risk som normalt framhålls när kollektiva åtgärder anses påkallade, som t.ex. i samband med växthuseffekten, närmast är den motsatta, nämligen att åtgärderna blir otillräckliga även om hotet är högst reellt. Även den risken bör alltså diskuteras.

Hotbildens karaktär

Den dominerande bilden av hotet, så som den preciserats ovan, är på intet vis oomstridd. Tvärtom finns avvikande uppfattningar på flera väsentliga punkter, och det är angeläget att förstå orsakerna till dessa skiljaktigheter.

Först kan då konstateras att vi i den grundläggande hotbeskrivningen nästan uteslutande har med sanningsfrågor att göra – med reservation för konstaterandet att hotet är allvarligt är inga värderingsfrågor inblandade. Det *är* faktiskt på det ena eller andra viset. Varje enskild preciserad uppfattning om hotet i dess helhet, eller om delar av det, är antingen sann eller falsk. Samtidigt, och det är viktigt, är det emellertid svårt eller omöjligt att på ett för alla övertygande sätt avgöra dessa sanningsfrågor. Det går inte att på något enkelt sätt avgöra frågorna med hjälp av t.ex. enbart kontrollerade experiment. Varje något så när relevant och realistisk uppfattning måste grundas på resultat från komplexa modeller som i betydande utsträckning också måste vara baserade på bedömningar, och så kommer det sannolikt att förbli under lång tid framöver. Modellernas komplexitet innebär också att de med nödvändighet är baserade på resultat och föreställningar från ett flertal skilda naturvetenskapliga discipliner.

Detta osäkra kunskapsläge är naturligtvis ingenting unikt – det finns många problemkomplex av stor praktisk betydelse med ungefär samma egenskaper. Samtidigt är emellertid, som vi alla vet, naturvetenskapen också rik på säkra och bortom varje rimligt tvivel fastställda resultat. Det är t.ex. möjligt att med stor precision prediktera himlakroppars rörelser, och något utrymme för avvikande uppfattningar beträffande sådana prediktioner finns inte. Naturligtvis finns det opponenter, men alla med någon kännedom om sakernas tillstånd är sinsemellan överens om att det då är fråga om "galenpannor". Denna distinktion mellan osäkra och säkra kunskapslägen är viktig. Eftersom uppfattningarna om växthushotet är osäkra kan bl.a. följande slutsatser dras:

- Det finns ett betydande utrymme för skilda uppfattningar även bland seriösa och insiktsfulla forskare.
- Forskare som uttalar sig om någon del av växthushotet, med anknytning till deras egen disciplin, har en speciell trovärdighet.
- Av forskare som uttalar sig om växthushotet i dess helhet krävs, för trovärdighet, en kapacitet och bredd som sannolikt är sällsynt.

- Osäkerheten kan utnyttjas av intressen. En aktör som har intresse av att hotet är reellt kan t.ex. propagera för den uppfattningen så långt den rådande osäkerheten medger. En aktör med motsatt intresse kan i stället lägga sig i andra ändan av osäkerhetsintervallet och hävda att hotet är överdrivet eller kanske till och med obefintligt.

Till sist skall också sägas att osäkerheten faktiskt innebär just osäkerhet. Den innebär alltså inte att man vet att hotet inte finns. Osäkerheten kan därför i sig, i princip, motivera förebyggande åtgärder för säkerhets skull.

Några viktiga intressen

Eftersom intressen kan utnyttja osäkerheten i kunskapsläget är det befogat att precisera tänkbara, förekommande intressen.

- Uppenbarligen har oljeindustrin ett intresse av att tona ner hotet eftersom de föreslagna åtgärderna riktar sig direkt mot deras produkter. Även konsumenter som använder mycket olja, eller är starkt beroende därav, kan ha ett liknande intresse.
- Samma slags intresse finns rimligen knutet till kolindustrin och dess anställda i gruvor, m.m.
- Nästan lika uppenbart är att intressen knutna till kärnkraften vill betona hotets realitet och allvar. Kärnkraften är ju ett huvudalternativ till fossil energi och ger inte upphov till några koldioxidutsläpp.
- På samma sätt som kärnkraftintressenterna har också nuvarande och potentiella producenter av biomassa, dvs. främst bönder, ett intresse av att understryka hotets allvar.
- En mer svåranalyserad eventuell intressentgrupp utgörs av s.k. miljöorganisationer, eller gröna organisationer, av skilda slag. Svårigheten har sin grund i att de uppfattningar som propageras av dessa organisationer mycket väl kan vara äkta, och naturligtvis är så till betydande del. Många människor i dessa kretsar menar säkert att hotet är högst reellt och allvarligt, och att drastiska motåtgärder är påkallade. Detta kan knappast kallas ett intresse. Det kan emellertid också finnas människor för vilka andra ting är det centrala. De kan t.ex. tycka illa om bilar, om storskalighet, om stor konsumtion av materiella nyttigheter, om det moderna industrisamhället och

dess livsstil, osv. För sådana människor är växthushotet någonting som kan betonas och understrykas, och därmed användas, för att främja de egentliga målen. I sådana fall är det befogat att säga att hotet används som ett medel för att driva intressen.

Staternas roller och intressen

Än mer svåranalyserade är staternas skilda roller i sammanhanget. En stat kan till att börja med reagera på olika medborgargrupperns intressen, t.ex. genom att samordna, främja eller undertrycka dem. Men en stat agerar också på egen hand, och man kan nog påstå att den i viss bemärkelse bär på alldeles egna intressen. I själva verket är kanske dessa intressen betydelsefullare än några andra i sammanhanget.

Stater ryggar knappast för att dra på sig uppgifter av skilda slag. Snarare verkar motsatsen gälla, att stater har en benägenhet att ta på sig allt mer. Det är lätt att peka på att den offentliga sektorn, mätt som de offentliga utgifternas andel av bruttonationalprodukten, med undantag för enstaka år i enstaka länder, fortlöpande och långsiktigt ökar i hela den demokratiska världen. Denna aspekt av den offentliga expansionen är välbekant, men också att det statliga verksamhetsområdet, dvs. mängden av angelägenheter som staten snarare än privata aktörer sköter, verkar expandera ständigt, även om det är svårare att belägga med enkla siffror.

Kampen om den politiska makten är antagligen en huvudfaktor bakom denna expansion. Sannolikt är det attraktivt för politiker och partier att i sin strävan efter väljarnas gunst inte bara lägga fram förslag och löften inom traditionella statliga verksamhetsområden, utan att också verka för att det statliga tillförs nya områden och uppgifter. På så sätt öppnas nya jungfruliga fält för den politiska kampen, och låsta positioner på gamla arenor minskar i betydelse. En del nya uppgifter kanske övertas från det privata, vilket mycket väl kan ske även om den privata hanteringen varit invändningsfri. Andra nya statliga uppgifter kanske är helt nytillkomna, t.ex. därför att behoven inte funnits tidigare, eller inte observerats även om de funnits. En del nytillkomna uppgifter kan också ha sin grund i inbillade snarare än i reella behov. Den starka miljö- och energipolitiska expansionen under de senaste årtiondena ger åtskilliga exempel på allt detta. En stats tendens att dra på sig allt fler uppgifter från alla möjliga och omöjliga håll tycks närmast oemotståndlig, och inbyggd i det statliga skeendets dynamik.

Politiken kring växthuseffekten kan belysas i detta perspektiv. I princip är det naturligtvis tänkbart att växthushotet, så som det preciserats ovan, är högst reellt, och i så fall är det inte bara bra att världens stater försöker göra

något, utan rimligen också nödvändigt – skälet, som vi skall se, är att vi har att göra med en s.k. kollektiv nytthet. Det är emellertid också möjligt att hotet är överdrivet men ändå framhålls och betonas därför att det tjänar statliga intressen. Hotet är användbart för politiska maktsträvarare som försöker främja egna syften genom att expandera det statliga verksamhetsområdet.

Eftersom hotet inte bara är miljöpolitiskt relevant, utan också energipolitiskt, är det emellertid intressant också på ett helt annat sätt. Till skillnad från de flesta andra typer av politik är energipolitik normalt statsfinansiellt lönsam. Beskattningen av olika energivaror, som är ett centralt inslag i energipolitiken, brukar ge betydligt större inkomster än utgifterna för politiken. Ett hot som motiverar en sådan politik är därför en tillgång. Enbart koldioxidskatten, som motiveras med växthushotet, tillför redan den svenska statskassan högst aktningvärda belopp. Även andra inrikespolitiska syften kan främjas. I Storbritannien och Tyskland kan regeringarna t.ex. ha varit betjänta av växthushotet i strävandena att avveckla olönsamma kolgruvor.

En stat kan alltså av flera skäl ha betydande intressen av att betona växthushotets verklighet och allvar, och i så fall är eventuella uppgifter om att hotet är överdrivet knappast välkomna.

Författningens betydelse

Även om de beskrivna förhållandena sannolikt präglar demokratiska stater i allmänhet, så finns sannolikt också författningsbetingade skillnader. Av särskild betydelse är att särintressen av skilda slag antagligen lättare gör sig gällande i länder med proportionella val (till skillnad från framför allt majoritetsval) och med parlamentarism (till skillnad från presidentstyre). I länder med majoritetsval slås små partier ut, t.ex. små intressepartier eller enfrågepartier, medan de däremot har goda förutsättningar att bli representerade i ett proportionellt system. Gröna partier och bondepartier förekommer sålunda i flera västeuropeiska länder med proportionella val medan sådana partier saknas i Storbritannien och USA, som båda har majoritetsval. Vidare har parlamentarismen, till skillnad från presidentstyret, en tendens att driva fram konsoliderade, disciplinerade partier, vilket ger intressena goda förutsättningar att direkt utöva inflytande på regeringsnivå. De demokratier som kombinerar olika former av parlamentarism med proportionella val finns framför allt i Västeuropa, och EU domineras av sådana länder. Parlamentarism i kombination med majoritetsval finns i Storbritannien och i några andra länder i det brittiska samväldet. USA har

presidentstyre och majoritetsval. Politiken i ett antal EU-länder bör alltså vara förhållandevis starkt präglad av särintressen. Detta är sannolikt av stor betydelse för hur växthushotet hanteras, och eventuellt utnyttjas, på regeringsnivå.

Forskarnas predikament

Att politiker inte enbart styrs av omsorg om allmännyttan, utan i betydande utsträckning också av väsentligt personligare och krassare motiv, är en idé som allt mer präglar statsvetenskapen. En variant av denna idé, som är mera smickrande för politikerna, säger snarare att enbart de politiker som på ett skickligt sätt värnar om den egna maktpositionen överlever som politiker. Motsvarande tankar om forskning och forskare borde egentligen också vara ganska självklara. Naturligtvis är sanningslidelsen en central drivkraft hos åtskilliga forskare. Detta hindrar emellertid inte att sådant som prestige, status och höga inkomster också eftersträvas i betydande utsträckning. Framgång i dessa senare avseenden kan hänga samman med ett resultatrikt sanningssökande, men behöver inte göra det. Prestige och status kan förlänas av andra än de inomvetenskapliga bedömarena.

Det centrala i dessa sammanhang är naturligtvis att forskarna till så stor del är i händerna på staten, som kan bära på betydande egna intressen. Staten kan inte bara ge forskare status och prestigefyllda positioner utan är, framför allt, i varje modernt samhälle en huvudfinansiär av forskning. Eftersom de flesta sorters forskning kräver betydande ekonomiska resurser, är det därför ingen orimlig hypotes att forskare som producerar resultat, eller verkar inom områden som uppskattas av staten, har bättre överlevnadsbetingelser som forskare än de som inte gör så. Inom samhällsvetenskaperna är det lätt att exemplifiera dessa mekanismer – i Sverige kan man t.ex. peka på s.k. sektorforskning i ”den svenska modellens” tjänst. Förhållandena kan vara likartade inom sådana delar av naturvetenskapen som präglas av komplexitet och osäkerhet, och beroende av betydande bedömningsinslag, som t.ex. när det gäller växthuseffekten. Värdering av forskarutlåtanden om växthuseffekten bör ske med detta i tankarna.

Det kollektiva handlandets problem

Jag har hittills diskuterat olika tänkbara skäl till att växthushotet kan vara överdrivet, och de föreslagna åtgärderna därmed onödigt omfattande. Det

är emellertid också angeläget att diskutera problem relaterade till motåtgärderna, under förutsättning att hotet verkligen är reellt och allvarligt.

Låt oss, som ett tankeexperiment, anta att alla människor på jorden bidrar lika mycket till koldioxidutsläppen, och att skadeverkningarna också drabbar alla människor lika mycket. Låt oss vidare anta att den skadereducering som följer på en viss minskning av de globala koldioxidutsläppen också fördelar sig jämnt över jordens befolkning.

Under dessa betingelser kan vi tänka oss att någon enskild aktör, eller grupp av aktörer, t.ex. en industri, en hel industribransch, ett land, eller en grupp av länder, reducerar sina koldioxidutsläpp. Den agerande gruppen drabbas då av de totala kostnaderna för reduktionen, medan de gynnsamma effekterna sprider sig jämnt över jordens befolkning. Detta är ett exempel på en kollektiv nytta. Exemplet belyser det kollektiva handlandets komplikationer. En aspekt är att den agerande gruppen måste vara tillräckligt stor, kanske en betydande andel av jordens befolkning, för att dess egen nytta av koldioxidreduktionen skall bli större än dess kostnader, och dess handlande därmed rationellt och troligt. En annan aspekt är att incitamenten till snålskjutsökning är starka – enskilda grupper kan försöka ställa sig utanför en gemensam föreslagen koldioxidreduktion för att få del av de gynnsamma effekterna utan att bidra till kostnaderna.

Även om vårt tankeexperiment är schematiskt och förenklat så har det tillräckligt stora likheter med verkligheten för att fånga in en del väsentliga aspekter. Innebörden, om växthuseffekten är reell, är att det är bra att nationer i stället för enskilda individer agerar. Men även nationerna är många, och även på den nivån finns därför svårigheter att nå fram till ett gemensamt agerande. Det är denna mekanism som motiverar den inledningsvis uttalade farhågan att åtgärderna kan bli otillräckliga även om växthushotet är reellt. Det kan ta lång tid att uppnå resultat, och det finns därför skäl att börja i god tid. Det är alltså fullt möjligt att precisera förutsättningar som inte är orimliga och som gör det nuvarande internationella agerandet rationellt.

Det skadegörande och drabbade som skilda parter

Låt oss nu i stället anta att de som släpper ut koldioxiden, och de som drabbas av skadorna, i allt väsentligt är skilda befolkningsgrupper. Det är t.ex. tänkbart att skadeverkningarna begränsar sig till människorna i speciellt utsatta områden, framför allt en del kustområden. Vi har i så fall att göra med en relation mellan två parter, eller åtminstone två grupper av parter, en koldioxidutsläppande skadegörare och en skadelidande. Relationen kan

analyseras i rättsliga och ekonomiska termer, och det är därvid intressant att också föra in möjligheten av olika typer av korrigerande åtgärder. I det föregående exemplet diskuterades ju ingen annan korrigering än reducerade koldioxidutsläpp.

En fullständig behandling av det tänkta partsförhållandet kan naturligtvis inte genomföras här, men en belysande fråga kan ändå ställas. Antag att de skadedrabbade har möjlighet att köpa sig fria från skadan, t.ex. genom att betala alla skadegörare för energiomställningar som minskar eller eliminerar koldioxidutsläppen. Skulle, det är frågan, de drabbade i så fall finna det rationellt att göra så? Eller skulle de kanske finna det billigare, och bl.a. därför också bättre, att t.ex. lämna sina utsatta områden för att i stället bosätta sig på något annat håll? Om det är på detta senare sätt, så är det faktiskt bättre från "världshushållets" synpunkt att skadeverkningarna korrigeras genom att de berörda människorna flyttar än genom att energiomställningar genomförs. Man kan ju t.ex. tänka sig att skadegörarna, i stället för att själva genomföra energiomställningarna, ger alla pengar som de skulle ha kostat till de drabbade. När dessa får pengarna beställer de emellertid inte några energiomställningar hos skadegörarna, vilket de hade kunnat göra, utan flyttar i stället och får på så sätt också en slant över. Konsekvenserna för skadegörarna blir då desamma som om de själva genomfört energiomställningar, och för de drabbade blir utfallet bättre.

Även detta tankeexperiment fångar väsentliga delar av den verkliga situationen, återigen under förutsättning att växthushotet är reellt. Det finns säkert anledning att försöka identifiera och analysera olika partsförhållanden, och det är också angeläget att beakta skilda typer av korrigerande åtgärder.

Skadeverkningarnas betydelse

I den mån växthushotet verkligen är reellt så är det till stor del människors mark- och klimatberoende produktion, dvs. främst jordbruket, som drabbas. Vid bedömningen av skadeverkningarna är det därför av betydelse att denna produktion, mätt som andel av den totala produktionen, successivt minskar i takt med industrialisering och allmän ekonomisk tillväxt. En kostnadshöjning som drabbar jordbruket, t.ex. beroende på växthuseffekten, betyder ju mindre för den totala ekonomin ju mindre jordbruksproduktionen är i förhållande till den totala produktionen.

Sammanfattande slutsatser

Växthushotet är enligt många uppfattning verkligt och allvarligt, och snabba och effektiva motåtgärder anses därför också nödvändiga. Det kan vara så, och det finns eventuellt också en risk för att åtgärderna på grund av det kollektiva handlandets logik fördröjs på ett olyckligt sätt. Det finns också de som menar att åtgärder måste vidtas av försäkringsskäl även om hotet inte är fullt säkerställt. Om hotet är tillräckligt sannolikt, konsekvenserna tillräckligt allvarliga, och kostnaderna för motåtgärder tillräckligt begränsade, är det naturligtvis en logisk ståndpunkt.

Avsikten med denna uppsats har inte varit att i sak pröva sanningshalten i dessa och liknande uppfattningar. Min ambition har i stället varit att peka på mekanismer som kan föra fram andra uppfattningar än de mest verklighetsanknutna i rampljuset. Jag har därvidlag uppfattat det som centralt att växthusfrågan inte bara är global och ödesdiger, utan också ytterligt komplex och ej vetenskapligt slutbehandlad. Det finns därför ett stort utrymme för skilda uppfattningar även bland de mest seriösa och sakkunniga, och frågan är i den bemärkelsen fortfarande öppen. Allt detta i kombination ger, menar jag, ett stort utrymme för intressen, ja frågan kan till och med i vissa sammanhang framstå som ett attraktivt tillhygge för att driva intressen.

Ett vanligt påstående om intressen är att oljeindustrin med framgång verkat för att tona ner hotet. Möjligen är det så. Det finns emellertid också intressen som kan verka i motsatt riktning. Hit hör bondeintressen och intressen inom miljörelserna. Viktigast är emellertid att stater kan bära på alldeles egna intressen av att betona växthushotets allvar, bl.a. som en konsekvens av den politiska maktkampens dynamik, och därför att det ger statsinkomster. Möjligen är dessa tendenser starkast i stater av den typ som dominerar inom EU – parlamentariska stater med proportionellt valsystem. Eftersom staten är en huvudorganisatör och huvudfinansär av forskning, påverkas rimligen också forskningen.

Är dessa bedömningar riktiga måste vi också räkna med möjligheten av att växthushotet är överdrivet, och med att stora resurser i onödan satsas på att avvärja det.

3.

Bruk och missbruk av vetenskapen inom politiken

Frits Böttcher

Den globala uppvärmningen har kommit att uppfattas som den viktigaste miljöfrågan. Detta anmärkningsvärda genombrott har möjliggjorts genom väl orkestrerade ansträngningar i en inre krets av taktiker inom *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). De har dominerat den vetenskapliga diskussionen i syfte att åstadkomma den "vetenskapliga consensus" som är nödvändig för att politikerna skall kunna vidta åtgärder. Resultatet har blivit att miljöministrarna och deras ämbetsmän och regeringsorgan under de senaste tio åren har tagit sig an den globala uppvärmningen som påtryckningsrörelser inom miljögrupperna och – i deras kölvatten – media engagerat sig för. Inom FN:s organisationer, där en frapperande uppmärksamhet ägnats åt ett så komplicerat ämne som en klimatförändring, har resultatet blivit att man kunnat underteckna ett internationellt klimatfördrag efter mindre än fem års förberedelsestid – en unik händelse i de internationella förhandlingarnas annaler.

Tjugo medverkande i detta intensiva samarbete mellan en liten grupp vetenskapsmän, politiker och diplomater, har skrivit en instruktiv bok i ämnet, redigerad av Mintzer och Leonard (1994) vid Stockholms Miljöinstitut. Deras historia har den betecknande titeln *Negotiating Climate Change: The Inside Story of the Rio Convention*. Liknande beskrivningar av de presterade resultaten framförs i flera kapitel av en nyligen utkommen bok, *International Politics of Climate Change*, redigerad av Fermann (1997) vid Trondheims Universitet.

När det gäller global uppvärmning kan det politiska agerandet anföras som ett lärorikt exempel på bruk och missbruk av vetenskapen inom politiken.

Vetenskapligt ansvar och vetenskaplig frihet

Vetenskapligt ansvar är av flera skäl ett känsligt ämne. De som inte själva är forskare betraktar vetenskapssamhället med en blandning av en viss beundran, en viss oro och en mängd missuppfattningar. Forskarna å andra sidan anser sig i allmänhet vara politiskt neutrala. Men det finns som vi skall se undantag från den regeln.

Under början av 1900-talet har det förekommit tre korta perioder i vilka frågan om vetenskapligt ansvar har ägnats stor uppmärksamhet både i vetenskapliga kretsar och utanför vetenskapssamhället.

Två av intressetopparna hade att göra med forskarnas insatser i krigstid. Följaktligen blev ämnet akut kort tid efter första och andra världskrigen. Den tredje vågen kom under reformperioden vid universiteten i slutet av 1960-talet. Bortsett från dessa toppar har det skett en stadig ökning av uppmärksamheten. Det har att göra med det förhållandet att en procentuellt växande del av forskarna är anställda av industriföretag, universitet och forskningsinstitut.

Vad beträffar yrkesetiken finns det en fundamental skillnad mellan forskare och andra grupper av professionella akademiker, exempelvis läkare och jurister, som har tämligen väldefinierade ansvarsförhållanden. Läkarna har ett direkt ansvar gentemot sina patienter och de medicinska yrkesorganisationerna. Jurister är ansvariga antingen gentemot sina klienter eller inför domstolarna. Efter Galilei har inom vetenskapen utvecklats en tradition att tänka och arbeta fritt från fördomar, dogmer och tabun. Inom vetenskapen definieras ansvarsområdet av forskarna gemensamt.¹ Problemet är att nu för tiden har de flesta forskare avlönade befattningar. De har därför också ett direkt ansvar gentemot sina arbetsgivare. I praktiken är det inte så enkelt beroende på vetenskapsmännens individualistiska inställning, uttryckt i principen om vetenskaplig frihet.

Under båda världskrigen, framför allt under det andra, spelade vetenskapsmännen en viktig roll. Under krigen diskuterades vetenskapsmännens ansvar inte öppet – de måste göra vad deras länder krävde. Men efter de båda krigen togs diskussionen rörande deras ansvar och frihet upp av forskarna själva. Efter första världskriget kom debatten i en tid när regeringar och stora industriföretag började ta vetenskapen i anspråk i långt större omfattning än vad som varit vanligt före kriget. Ett snabbt ökande antal vetenskapsmän fick arbete utanför universiteten och andra institutioner för undervisning. Det var inte alltid de lyckades bevara sin vetenskapliga frihet.

¹ Koestler, A. (1977).

Efter andra världskriget blev diskussionerna om det vetenskapliga ansvaret och den vetenskapliga friheten mycket mer intensiv, därför att detta i stor utsträckning var ett vetenskapligt krig. Det mest slående exemplet var kärnforskarnas insatser som ledde fram till atombombarna över Hiroshima och Nagasaki 1945. Efter kriget gällde det för politikerna att avgöra om forskningen rörande atomvapen skulle fortsättas eller ej. Det fördes ivriga diskussioner i vetenskapliga kretsar och viktiga uttalanden gjordes av ledande politiker. Anmärkningsvärt nog var diskussionen i allt väsentligt begränsad till kärnvapnen.

Enligt Harry Hall (1962) hade kongressmännen, liksom de flesta lekmän, liten anledning att bry sig om vetenskapen eller vetenskapsmännen fram till dess att bomben över Hiroshima fälldes. ”Den ställde vetenskapen och vetenskapsmännen i centrum för politikernas uppmärksamhet. För första gången befann sig senatorer och representanthusledamöter i ett omfattande samarbete med forskarna. Vare sig kongressmännen gillade det eller ej tvingades de ändå tillerkänna vetenskapen och vetenskapsmännen en avgörande roll i atomåldern.”

Hall nämner att senatorerna konfronterades med det faktum att de ämnen som forskarna ägnade sig åt var, och alltid skulle förbli, en gåta för dem. Politikerna var uteslutna från att få tillgång till och kunskap om vetenskapliga angelägenheter. Som en följd av detta uppfattade de vetenskapsmännen som ett slags hemligt sällskap som de själva inte tillhörde. En annan konsekvens var att politikerna kom att betrakta vetenskapens framsteg som en viktig samhällskraft med en dynamisk och progressiv karaktär. De insåg att vetenskapens politiska betydelse skulle öka med tiden.

Slutligen framträder på vissa av vetenskapens områden en ny typ av forskare. Deras vetenskapliga entusiasm går hand i hand med ett socialt och politiskt engagemang. I efterhand ter det sig som om detta nästan var förutbestämt att inträffa.

Forskaren som aktivist

Det första exemplet efter kriget på forskare i rollen som aktivister var i opposition mot kärnvapen och senare även mot den civila användningen av kärnenergi. Det har medfört att många länder som grund för den nationella energipolitiken avvikit från en tidigare tillämpad strikt vetenskaplig bedömning. Exempel på detta är Sverige och Nederländerna.

Den vetenskapliga aktivisttypen är förhärskande i alla ämnen som är relaterade till miljön, där den globala klimatförändringen har varit ett omtyckt ämne sedan slutet av 1960-talet. På den tiden var många meteo-

rologer övertygade om att vi nalkades en ny istid. Mellan 1970 och 1975 utkom flera alarmerande böcker med detta hot som tema. I massmedia hävdade kända klimatologer och meteorologer att människorna borde förbereda sig för en period med hårda vintrar och kyliga somrar.

Under 1970-talet lyckades emellertid några amerikanska klimatologer övertyga sina kolleger om att det nu var tid att ägna uppmärksamhet åt ett annat hot: Faran för en global uppvärmning under nästa sekel, beroende på en av människan förorsakad ökning av koldioxid och andra låghaltiga gaser i atmosfären. De utgick från hypotesen att en ökning av den atmosfäriska koncentrationen av de komponenter som är ansvariga för den naturliga växthuseffekten skulle medföra en global uppvärmning via en förstärkt växthuseffekt. Deras förutsägelser rörande omfattningen av en sådan effekt var grundade på de då tillgängliga och ganska primitiva klimatmodellerna. Inte desto mindre lyckades de få stöd av två mäktiga FN-organ: WMO (World Meteorological Organization) och UNEP (United Nations Environment Programme).

Representanter för WMO lyckades också övertala International Council of Scientific Unions (ICSU) att klimatforskning borde bli ett av dess speciella fält för uppmärksamhet, och som en följd av detta samlades representanter för WMO, UNEP och ICSU i Villach, Österrike, i oktober 1985 för att diskutera detta nyupptäckta hot mot människosläktet. Sällan har ett vetenskapligt möte haft ett sådant inflytande på politiken.² Deltagarna drog slutsatsen att "även om kvantitativ osäkerhet i modellernas resultat föreligger är det högst sannolikt att ökande koncentrationer av växthusgaser kommer att åstadkomma en betydande klimatförändring".

I ett uttalande från konferensen nämndes att "förståelsen för växthusproblematiken är tillräckligt utvecklad för att vetenskapsmän och politiker bör påbörja ett aktivt samarbete för att utforska effektiviteten i alternativa politiska åtgärder och anpassningar".

Konferensen rekommenderade att UNEP, WMO och ICSU skulle vidta åtgärder för "att initiera, om så anses nödvändigt, övervägandet av en global konvention".

Slutsatserna från Villachkonferensen fungerade också som den viktigaste källan till information om klimatförändringar för World Commission on Environment and Development (WCED). Denna kommission tillsattes av FN:s generalförsamling år 1983. Dess viktigaste uppgift var "att föreslå långsiktiga miljöstrategier för att nå en hållbar utveckling år 2000 och senare". Dess rapport *Our Common Future* (1987), kallas vanligtvis Brundtland-rapporten efter Norges statsminister och tidigare miljöminister Gro Harlem Brundtland, som var ordförande i WCED.

² Böttcher, C. J. F. (1992).

Brundtlandrapporten bidrog till att sprida idén att den globala uppvärmningen var ett stort problem som människan stod inför. I förordet nämndes: "Vetenskapsmän riktar vår uppmärksamhet på brådskande men komplicerade problem, som gäller själva vår överlevnad: ett allt varmare jordklot, hot mot jordens ozonlager, öknar som tar över jordbruksmark."

I Brundtlandrapporten konstateras att "växthuseffekten, ett sådant hot mot de livsuppehållande systemen, har sitt direkta ursprung i en ökad resursanvändning".

Rapporten drar slutsatsen, grundad på denna korta hänvisning till Villachmötet, att en global uppvärmning "kunde få havsnivån att under de närmaste 45 åren stiga tillräckligt för att översvämma många lågt liggande kuststäder och floddeltan. Den kunde också drastiskt skada nationell och internationell jordbruksproduktion och handelssystem."

I juni 1988 bekostade Kanada en internationell konferens om "The Changing Atmosphere: Implications för Global Security". Konferensen fokuserades på klimatförändringen. Ett av dess grundläggande syften var att överbrygga klyftan mellan vetenskapsmän och politiker. I konferensen deltog 340 personer från 46 länder, inklusive två statsöverhuvuden, mer än 100 regeringstjänstemän, vetenskapsmän, representanter för industrin och förkämpar för miljön.³

Toronto-konferensen utfärdade ett uttalande som inleddes med de pompösa orden:

Mänskligheten genomför ett oavsiktligt, okontrollerat, hela jorden omfattande experiment vars yttersta konsekvenser bara skulle kunna överträffas av ett globalt kärnvapenkrigs. Det är nödvändigt att ingripa nu.

Som i utgångsläget lämpliga åtgärder rekommenderade konferensen:

- en 20-procentig minskning av de globala CO₂-emissionerna från 1988 års nivåer till år 2005
- utveckling av "en omfattande global konvention som en ram för protokoll om skyddet för atmosfären"
- etablerandet av en "World Atmosphere Fund" som skulle finansieras delvis av en uttaxering av skatt på konsumtionen av fossila bränslen i de industrialiserade länderna.

³ Böttcher, C. J. F. (1996).

Torontokonferensen var inte officiellt sanktionerad av regeringarna eftersom de statliga deltagarna var närvarande i sin personliga kapacitet. Därför var inte uttalandet från konferensen bindande för någon. Det skrevs av en kommitté som huvudsakligen var sammansatt av förkämpar för miljön, den diskuterades mindre än en dag, och det var miljöaktivisterna som dominerade scenen. Många av deltagarna uppfattade inte tillfullo de politiska svårigheter det innebar att behandla frågan om klimatförändring. Attityden i regeringskretsar till slutsatserna från mötena i Villach och Toronto varierade från entusiastiskt gillande i en del länder till misstänksamhet i andra. Vissa statstjänstemän ansåg slutsatserna vara resultatet av miljöaktivism snarare än sund vetenskap.

I ett försök att återta den statliga kontrollen över en allt viktigare politisk fråga hade ett antal regeringar redan begärt att WMO och UNEP skulle tillsätta Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) med mandat att tillhandahålla "internationellt samordnade uppskattningar beträffande omfattning av, tidpunkterna för, möjliga miljömässiga och socio-ekonomiska verkningar av en klimatförändring och av realistiska strategier för motåtgärder". Det var därför som, i Torontokonferensens år (1988), IPCC kom till stånd.

Individuella vetenskapsmäns inflytande

En annan viktig händelse år 1988 var en hearing med USA-senatens energikommitté rörande växthuseffekten. Den är ett mycket tydligt exempel på den i sitt slag nya roll som nu kan spelas av enskilda vetenskapsmän i syfte att påverka det politiska beslutsfattandet.

Sommaren 1988 drabbades USA av en värmebölja. Det vittnesmål som avlades av James Hansen, en klimatforskare vid NASA, inför senatens energikommitté om att "växthuseffekten har upptäckts och den förändrar vårt klimat nu", fick stora rubriker på tidningarnas förstasidor eftersom uttalandet gjordes just under en värmebölja. Senator Max Baucus kommenterade detta: "Jag anar att vi upplever en genomgripande förändring. Det är som när de tektoniska plattorna rör sig."

Hansen borde ha förstått bättre eftersom varje meteorolog vet att regionala värmeböljor inte har något med klimatförändringar att göra. De inträffar i en region när fördelningen av högtrycks- och lågtryckscentra ligger stilla under flera veckor, vilket medför att jetströmmen i den övre atmosfären knappast alls förändras. Sådana blockeringar förefaller vara ett icke förutsägbart fenomen.

I Nederländerna har det under 1900-talet förekommit trettio värme-

böljor. Enligt Nederländernas Kungl. Meteorologiska Institut har man inte lyckats hitta någon förklaring till detta fenomenets förbryllande förekomst. Amerikanska meteorologer hade kunnat bekräfta detta. Men som följd av Hansens vittnesmål kom klimatförändringen att påverka den politiska scenen i USA. Till och med George Bush använde sig av den i sina valtal några månader senare. ”De som tror att vi står maktlösa inför växthuseffekten glömmer Vita Hus-effekten. Som president tänker jag göra något åt den.”

Efter valet övertygade stabschefen John Sununu den nye presidenten att anlägga ett annat synsätt.

Dessa påtryckningar på regeringarna och på FN fick två omedelbara resultat. De påverkade starkt diskussionerna i *World Commission on Environment and Development* och initierade bildandet av *Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) år 1988, ett organiserat samarbete mellan WMO och UNEP i syfte att sätta upp ”en mellanstatlig mekanism med målsättningen att tillhandahålla grunden för utvecklingen av en realistisk och effektiv internationellt accepterad strategi för att ta itu med klimatförändringen”. Termen mekanism, som ju för tanken till maskineri, passar perfekt för att beskriva vad som hänt efter 1988. Två IPCC-rapporter (IPCC 1990 och 1992), publicerade 1990 och 1992, utgör hörnstenar i den FN-aktion som gjorde att klimatförändringen kom att uppfattas som nästa sekels stora hot.

IPCC:s aktiviteter

IPCC höll sitt första möte i november 1988, valde professor Bert Bolin (Stockholm) som ordförande och tillsatte tre arbetsgrupper med olika ansvarsområden: Arbetsgrupp I för vetenskapliga frågor under ordförandeskap av Storbritannien, Arbetsgrupp II för klimatförändringens miljöpåverkan under ordförandeskap av Sovjetunionen och Arbetsgrupp III för strategier om anpassning och motåtgärder under ordförandeskap av USA. Den 6 december 1988 beslöt FN:s generalförsamling att inrätta IPCC och uppmanade stater, mellanstatliga och icke statliga organisationer och vetenskapliga institutioner att behandla klimatförändringen som en prioriterad fråga. Detta beslut utlöste en flodvåg av spekulativt vetenskapligt tänkande. Trots många osäkerheter i den underliggande vetenskapliga teorin, och trots brister i de datormodeller som användes för förutsägelser om klimatförändringar, hävdade en liten, men högljudd, grupp av vetenskapsmän att tillräckliga bevis fanns för att förutsäga en katastrofal klimatutveckling under nästa sekel.

IPCC-rapporten *Climate Change* fungerade som grundläggande doku-

ment när den andra världsklimatkonferensen samlades i Genève i slutet av 1990. Nu uppträdde inte bara WMO och UNEP utan också ICSU, UNESCO, FAO och *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) som konferensens värdar. Även om de vetenskapliga diskussionerna under denna konferens blottlade de många osäkerheterna bemödade sig organisatörerna om att få deltagarnas godkännande av ett förslag till uttalande från konferensen i den slutliga plenarsessionen. En kaotisk diskussion blev följden. Icke desto mindre rapporterade en liten styrgrupp till miljöministrarna (som träffades omedelbart efter klimatkonferensen) att deltagarna kommit fram till enhälliga slutsatser. Ministrarna och andra representanter från 137 länder avslutade sitt möte med en ministerdeklaration som gav uttryck för deras allvarliga oro för det nyligen upptäckta hot som mänskligheten ställts inför.

Vad som sedan hände kan sammanfattas som "mer av samma sak". Via otaliga IPCC-konferenser, den stora FN-konferensen om miljö och utveckling i Rio de Janeiro 1992 och tre på varandra följande "Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change" resulterade utvecklingen i en successiv utfasning av forskarna. Under den tredje konferensen (Kyoto i december 1997) spelade de en marginell roll. Politikerna hade nu tagit ledningen.

Politiserande enligt vetenskaplig konsensus

En ny och farlig princip har introducerats i det politiska beslutsfattande som baseras på vetenskapligt kunnande, nämligen beslut legitimerade av ett "vetenskapligt konsensus" som uppnåtts genom majoritetsbeslut inom en sluten grupp vetenskapsmän. Detta ställer oss inför ett antal grannliga frågor. Om politiken skall avgöras genom "vetenskapligt konsensus", hur går det då med demokratin? Vem har egentligen makten? Vem är ansvarig? Hur vet vi att det som proklamerats som "konsensus" verkligen representerar en samstämmig vetenskaplig uppfattning? Och hur skall vi veta att denna uppfattning är något så när i överensstämmelse med faktiska förhållanden och orsakssammanhang?

IPCC:s preferens för vetenskapligt konsensus nyligen kritiserats av Hansson och Johanneson i deras bidrag till boken *International Politics of Climate Change* (Fermann, 1997):

I många, kanske de flesta, fall är sökandet efter vetenskaplig konsensus både rimligt och meningsfullt. Men när det gäller vetenskapen om en klimatförändring kan ett alltför konsensus-orienterat synsätt dölja en av de viktigaste faktorer som beslutsfattarna måste ta i

beaktande, nämligen den vetenskapliga osäkerheten. I syfte att förse beslutsfattarna med så adekvat information som möjligt bör avvikande uppfattningar lika väl som majoritetsopinioner presenteras. Kommittéprocedurer för IPCC och andra liknande vetenskapliga organ måste utvecklas så att de uppmuntrar snarare än undertrycker minoritetsuppfattningar och gör det möjligt för dessa att komma till uttryck inför offentligheten. Detta är speciellt viktigt i fallet med IPCC, då det stora flertalet av världens ledande experter inom de aktuella områdena är inblandade i IPCC-processen.

Denna plädering för att också avvikande uppfattningar skall accepteras och tillåtas komma till uttryck borde man ha tagit fasta på. Men tyvärr blir forskare som inte helhjärtat ansluter sig till IPCC:s slutsatser och rekommendationer vanligen karaktäriserade som okunniga outsiders eller, ännu värre, som lobbyister i kol- och oljeindustriernas intressen. De avfärdas som utgörande en liten klick "contrarians".

Men vetenskapen avancerar inte genom majoritetsbeslut. Noga besett bör det egentligen inte heller spela någon roll i vems intresse vetenskapens män och kvinnor arbetar. Det enda som räknas inom vetenskapen är argumentens styrka. De flesta av dessa "contrarians" är dessutom faktiskt oberoende forskare långt utanför kol- och oljeindustrins intressesfärer.

Peer Review

Ytterligare en farlig princip har introducerats av IPCC: Man hävdar att endast publikationer som utsatts för s.k. "peer review" kan accepteras. Men man använder detta begrepp på ett annat sätt än det inom vetenskapen gängse.

Peer review, dvs. att en forskares vetenskapliga arbete granskas av kvalificerade kolleger, är en omistlig del av vetenskapen. I praktiken tillgår det så att en artikel avsedd för publicering i en vetenskaplig journal granskas och kommenteras av utomstående experter vilka utsetts av tidskriftens opartiska redaktion. Inom ett relativt nytt vetenskapligt fält, som klimatologi, ligger granskningen ofrånkomligen i händerna på en ganska begränsad inre krets. Detta kan leda till att artiklar som inte stöder majoritetens uppfattning refuseras. Vetenskapernas historia ger berömda exempel på detta. Men det ligger i systemet natur och måste accepteras.

IPCC:s peer review-procedur avviker emellertid från den normala. IPCC:s rapporter är inte vetenskapligt primärmaterial utan *sammanställningar* av sådana publikationer som återfinns i den vetenskapliga litteratu-

ren. Dessa sammanställningar har infördrats av IPCC-organisationen. Visserligen har dessa sammanställningar i sin tur utsatts för peer review. Men beställarna (de som infördrat sammanställningarna) kan knappast betecknas som opartiska. De är personligen involverade i processen och utser själva sina granskare.

De är inte heller tvingade att beakta eventuella kritiska anmärkningar. De har också deklarerat att man understundom inte tagit hänsyn kritiska kommentarer. Icke desto mindre finner kritiker sina namn upptagna bland "reviewers". De står därmed som garanter för uppfattningar de kritiserat och tagit avstånd ifrån.

Referenser

- Böttcher, C. J. F. (1992), *Science and Fiction of the Greenhouse Effect and Carbon Dioxide*. The Global Institute for the Study of Natural Resources, Haag.
- Böttcher, C. J. F. (1996), Climate Change: Forcing a Treaty. *Energy & Environment* Vol. 7: 381.
- Fermann, Gunnar (red.) (1997), *International Politics of Climate Change, Key issues and Critical Actors*. Scandinavian University Press, Oslo.
- Hall, H. (1962), *The Sociology of Science*. Red. av Bernard Barber och Walter Hirsch. The Free Press of Glencoe.
- IPCC (1990), *Climate Change – The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (1992), *Climate Change 1992 – The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- Koestler, A. (1977) *The Sleepwalkers*, andra uppl., s. 358. Pelican Books, London.
- Mintzer, I. M., Leonard, J. A.(red.) (1994) *Negotiating Climate Change, The Inside Story of the Rio Convention*. Cambridge University Press.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987), *Our Common Future*. Oxford University Press.

Naturliga klimatförändringar

4.

Är 1900-talets temperaturvariationer onormala?

Wibjörn Karlén

Jordens temperatur har stigit under 1900-talet. Hur mycket den stigit är osäkert och orsaken till den ökade temperaturen är oklar. För att kunna avgöra om den senaste klimatförändringen är unik och ett resultat av människans utsläpp av växthusgaser, som det ofta hävdas i den aktuella debatten, måste klimatets variationer under en lång tid vara kända. Vädret har observerats och det har förts journaler om detta långt tillbaka i tiden, men de första direkta temperaturmätningarna påbörjades år 1659 i England. För att kunna avgöra om 1900-talets uppvärmning är unik måste information om klimatets variationer, under en mycket längre tid än för vilken det finns direkta observationer, vara känd. I detta avsnitt presenteras paleoklimatologisk metodik och resultat från uppmätt temperatur och rekonstruerade klimatserier för de senaste 10 000 åren (ordet "paleoklimatologisk" används för data om klimatet före tiden för instrumentobservationer). Klimatserierna visar att klimatet varierat väl så mycket före 1900-talet som under de senaste åren och att variationerna varit minst lika snabba som under 1900-talet.

Metoder för bestämning av förändring i klimatet

Klimatets variationer för tiden innan direkta observationer inleddes kan bestämmas med hjälp av en rad metoder. Dessa metoder omfattar bl.a. studier av vegetationens utbredning, glaciärframryckningar och avloppslösa sjöars storlek (Karlén 1976, Karlén & Kuylenstierna 1996, Wick & Tinner 1997). Till de metoder som ger den mest detaljerade informationen hör studier av träds årsringar (Briffa et al. 1992, Schweingruber 1996) och varia-

tioner i förekomsten av en del stabila isotoper i inlandsisar och korallrev (Dansgaard 1984, Alley et al. 1997). Under senare år har även avsättning-
ar i grottor kunnat användas för bestämning av klimatförändringar (Talma & Vogel 1992, Holmgren et al. 1995). Precisionen är i hög grad beroende av hur väl variationer kan dateras (Holmgren et al. 1994).

Tolkning och bearbetning och av klimatdata

Paleoklimatologiska data erhålls i enheter av varierande typ: underskott av den tunga syreisotopen i förhållande till den vanliga, lättare isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), träd tillväxt (mm), alpin trädgränsförskjutning (m). Genom jämförelse av paleodata och klimatobservationer för perioder där data överlappar, kan en uppfattning om förändring i temperatur och/eller nederbörd erhållas. Dessa uppskattningar förutsätter att andra förhållanden varit oförändrade, vilket inte är självklart. De kvalitativa bedömningarna av klimatet är vanligen säkra medan kvantitativa uppskattningar emellanåt är osäkra. Dateringar baserade på årlig tillväxt är i regel bra, men dateringar baserade på radioaktivt sönderfall kan ofta vara behäftade med fel om ett eller ett par hundra år. Vid rekonstruktion av klimatets förändringar i ett område bör om möjligt resultaten av flera oberoende datatyper sammanvägas.

Vid arbete med dataserier som omfattar stora datamängder måste någon form av medelvärde för begränsade tidsintervall användas. Den valda längden av period för vilken medelvärden beräknas samt den statistiska bearbetningsmetoden påverkar resultaten något. Även dessa problem måste beaktas vid uppbyggnad av en klimatkronologi för ett område och framför allt då material erhållna från varierande datatyper jämförs.

Lokala eller globala klimatförändringar

Uppvärmningen under 1900-talet är belagd med data från klimatstationer världen över. Uppvärmningens omfattning kan diskuteras men uppvärmningen ifrågasätts inte. Paleoklimatologerna anser att liknande förändringar förekommit vid upprepade tillfällen och att uppvärmningen under 1900-talet därmed inte är unik. Förespråkare för den förstärkta växthuseffekten hävdar emellertid att tidigare klimatförändringar enbart är kända från enstaka platser och att dessa förändringar därför kan vara ett resultat av omfördelning av värme. Om samtidighet i klimatvariationerna kan påvisas för ett antal lokaler, är detta en indikation på att jordens värmebalans

förändrats. Förekomst av globala klimatförändringar, dvs. tider då jordens medeltemperatur var hög eller låg, är därför av central betydelse. Ett antal förändringar i temperaturtrenden under den period då klimatet observerats (förändringar i trenden inträffade ca 1880, 1910, 1940 och 1975) är härmed viktiga för diskussionen, då de är väl belagda (WMO 1996), och dessa brytpunkter i klimatets trend överensstämmer i tid med förändringar i instrålningen från solen (Lean et al. 1995, Soon et al. 1996). Koncentrationen av växthusgaser i atmosfären har accelererat utan brott i trenden fram till de senaste åren (WMO 1995), och modellering av temperaturen baserad på ökad mängd växthusgaser ger en temperaturökning utan de brott i trenden som den globala temperaturen visar (Overpeck et al. 1997).

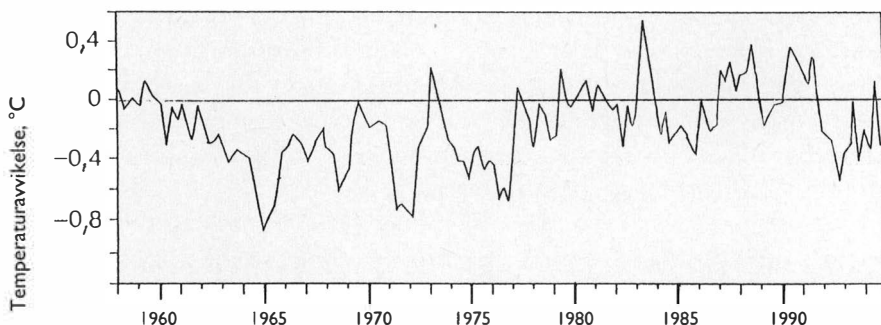
Omfattande klimatstudier baserade på pollenanalys har ofta tolkats så att det holocena klimatet varit stabilt, och därmed har det inte funnits någon anledning att diskutera små variationer i klimatet ("holocen" kallas perioden efter den senaste istiden, dvs. de senaste 10 000 åren). Det är emellertid nu känt att klimatet förändrats markant även under holocen (Denton & Karlén 1973, Röthlisberger 1986, Stuiver et al. 1995, Alley et al. 1997, Bond et al. 1997). Förekomsten av samtidiga holocena klimatförändringar i vitt skilda områden diskuteras (Alley et al. 1997, Kreutz et al. 1997), men ämnet är fortfarande föremål för debatt. Framför allt har samband mellan El Niño-cirkulationen i Stilla havet och förekomsten av extrem temperatur och nederbörd diskuterats (WMO 1987, 1995), och sambanden styrker förekomsten av globala samband i klimatets variationer.

Den globala cirkulation innefattar ett antal system som passadvindarna, monsunerna och västvindbältena, vilka är förhållandevis stabila som system betraktade. De geografiska områden där ett cirkulationssystem dominerar klimatet förändras något och inom varje system förekommer variationer. Dessa är delvis av slumpmässig karaktär, delvis ett resultat av förändrad global strålningsbalans (variation i solstrålning eller koncentrationen av växthusgaser) samt förändrade strömmar i oceanerna (vilka delvis, som exempelvis El Niño, kan vara ett resultat av intern obalans och delvis ett resultat av förändrad strålningsbalans).

Den atmosfäriska cirkulationen i ett av dessa cirkulationssystem, det norra västvindbältet, styrs av de s.k. Rossbyvågorna, vilka har en tendens att välja ett nordligt eller sydligt läge över västra USA. Ett av dessa lägen kan dominera under perioder omfattande ett antal år, vilket påverkar klimatet inom en stor del av västvindbältet. Variabiliteten i cirkulationsmönstret medför att temperaturen i ett område kan sjunka medan den stiger i ett annat område, som en direkt följd av en förändring i cirkulationen. Variabiliteten medför att samband i klimatet inte kan förväntas för enstaka år utan enbart vid jämförelse av perioder omfattande flera tiotal till hundratal år.

Klimatdata för de senaste 40 åren

För de senaste 40 åren finns två oberoende bestämningar av den globala temperaturen (Ahlbeck, denna bok). Den dataserie som det oftast refereras till, och som är utgångspunkt för IPCC:s ståndpunkt (Houghton et al. 1992, 1996), har beräknats av P.D. Jones (WMO 1995). Den är baserad på observationer från ett stort antal väderstationer på kontinenterna samt fartygsobservationer. Den andra dataserien är baserad på radiosond- (ballong) och satellitobservationer (Christy & McNider 1994, WMO 1997). Denna dataserie visar markanta variationer i temperaturen vid samma tidpunkter som den av P.D. Jones beräknade temperaturkurvan, men P.D. Jones globala temperaturkurva visar en trend mot varmare klimat under senare år. I motsats till P.D. Jones temperaturkurva visar ballong- och satellitdataserierna inte någon trend efter 1980 (WMO 1997). En orsak till den mycket markanta stegringen i P.D. Jones beräknade globala temperatur kan vara att temperaturen i Sibirien stigit mycket under höst, vinter och vår. Frånvaron av en stegring av temperaturen i satellitdata antyder att orsaken till den markanta höjningen kan vara ett mindre antal tillfällen med mycket låg temperatur vid markytan i samband med vindstilla väder (lägre frekvensinversioner). En förändring i ett tunt marknära luftlager påverkar inte radiosond- och satellitdata då dessa är baserade på temperaturen i ett flera tusental meter tjockt luftlager (WMO 1995).



Figur 4.1. Den globala temperaturen har under senare år beräknats såväl med hjälp av traditionella markobservationer som radiosonddata. Enligt dessa senare mätningar steg temperaturen mellan 1975 till 1980 men visar ingen trend därefter. Den på markobservationer baserade temperaturkurvan visar däremot att den globala medeltemperaturen har fortsatt att stiga (från Kerr 1995).

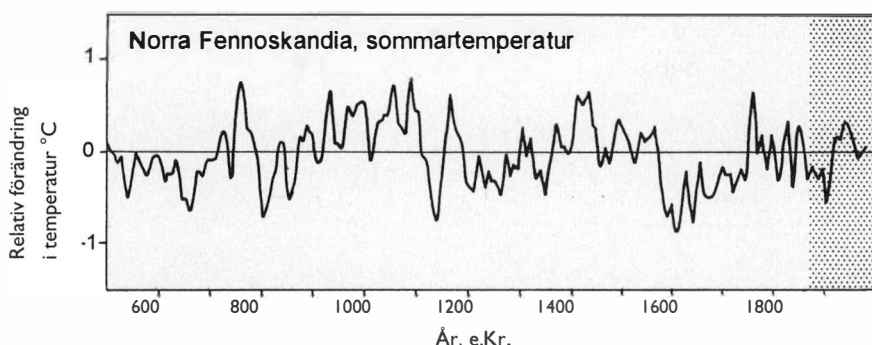
Skillnaden mellan de två klimatkurvorna för de senaste 40 åren exemplifierar problemet med beräkning av global temperatur. En perfekt korrelation mellan ett antal paleodataserier, som är baserade på ibland svårtolkat material och få dateringar, kan inte förväntas. Problemen med jämförelse av sådana dataserier förstärks av att paleodata ofta ger temperaturen för en del av året och att olika dataserier ofta avspeglar temperaturen under något varierande årstider.

Problemet belyses ytterligare av att temperaturen sjönk inom stora områden i samband med den markanta, ”globala”, uppvärmningen mellan 1910 och 1940 (Pittock 1978). Orsaken till att temperaturen stiger i ett område och faller i ett annat torde vara förändringar i den globala cirkulationen. Med dessa cirkulationsförändringar följer en förändrad medelvindriktning, vindhastighet och molnmängd, som påverkar temperaturen (Ramanathan et al. 1989, Svensmark & Friis-Christensen 1997). De givna exemplen belyser svårigheten med att beräkna en global temperatur (avvikelse från en standardperiod) när ett begränsat antal observationer finns tillgängliga. Briffa och Jones (1993) har funnit att det behövs 5 à 7 dataserier för en rimlig uppskattning av medeltemperaturen för ett halvklot.

Temperaturen i Europa sedan 1700-talet

Tekniken att mäta lufttemperatur har utvecklats sedan de första systematiska observationerna genomfördes i England år 1659 (Manley 1974). En faktor, som påverkat temperaturen för ett antal stationer och medför problem vid beräkning av en trend i klimatet, är den s.k. urbaniseringseffekten. Ökande befolkning leder till ökat antal tätorter och därmed större asfalterade ytor, vilket leder till att temperaturen stiger lokalt (Karl & Jones 1989, Moberg & Bergström 1997). Eftersom många meteorologiska stationer är belägna i anslutning till stora städer och flygplatser är det troligt att urbaniseringseffekten påverkat ett antal dataserier. Det hävdas vanligen att presenterade temperaturkurvor har korrigerats för denna effekt och att felen är små (Jones et al. 1989), men en omfattande studie i USA har visat att problemet kan medföra att en trend mot varmare klimat beräknats trots att klimatet blivit kallare i området (Karl & Jones 1989).

Det finns för få platser där temperaturen observerades före mitten av 1800-talet för att en global temperaturkurva skall kunna beräknas med samma noggrannhet som för tiden efter denna tidpunkt. Det finns emellertid ett antal platser där temperaturen började observeras i slutet av 1600-talet eller under 1700-talet och eftersom dessa stationers trend är likartad den globala temperaturtrenden under de senaste 100 åren är det troligt att des-

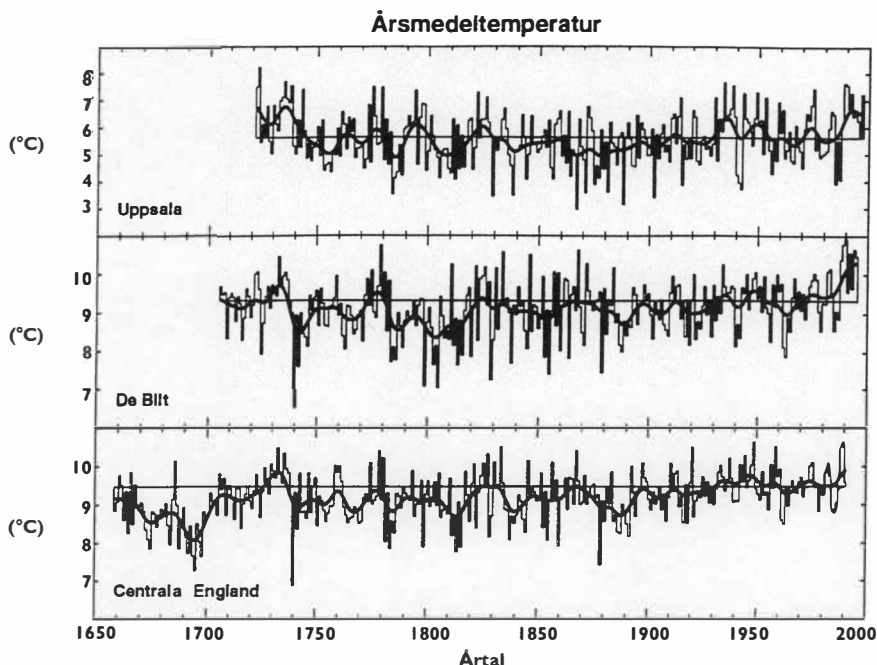


Figur 4.2. Denna trädringsserie från Lappland visar att sommartemperaturen varierat mer än under 1900-talet vid flera tillfällen. (Briffa et al. 1992, WMO 1995). Beräknade extremvärden för (a) enstaka år, (b) 20-årsmedel, (c) 50-årsmedel och (d) trenden under 50 år för Skandinavien visar att 1900-talet i inget avseende varit unikt (Briffa et al. 1992).

sa stationer ger en bild av det globala klimatets förändring. Detta belyses här i figur 4.4 där temperaturen för norra halvklotet jämförs med temperaturdata från Uppsala (Moberg & Bergström 1997).

Såväl Englandsserien som Uppsalaserien visar att klimatet på 1730-talet var ungefär lika varmt som på 1930-talet och under de senaste åren. De Bilt-serien visar att i Holland var temperaturen på 1730-talet högre än på 1930-talet, men den var inte fullt så hög som under de senaste tio åren. Beaktas denna nära 300 år långa period är trenden mot varmare klimat obetydlig. Bradley och Jones (1992) presenterar temperaturopbservationer från ett tiotal lokaler på norra halvklotet där observationer inleddes under 1700-talet eller början av 1800-talet. Den typiska temperaturutvecklingen tycks ha varit relativt varmt klimat under senare delen av 1700-talet, varmt omkring 1830, svalt under slutet av 1800-talet och så en markant varm period omkring 1930–1950. För några stationer som Toronto (ett område som mycket väl kan vara påverkat av en urbaniseringseffekt) finns en klar trend mot varmare klimat, men för andra stationer är trenden svag eller obefintlig.

Dataserier, delvis baserade på dendrokronologi, som täcker in tiden efter år 1600 (Overpeck et al. 1997), visar att temperaturen under tidigt 1600-tal var låg, att en svag uppvärmning inträffade i mitten av 1600-talet och att klimatet återigen var kallt i slutet av 1600-talet. En sammanvägning av 29 dataserier från Arktis (norra delen av norra halvklotet) visar samma tendens, men uppvärmningen i mitten av 1600-talet var i detta område obetydlig (Overpeck et al. 1997). Många dataserier från Arktis visar en sänkning av temperaturen efter 1950 eller 1970.

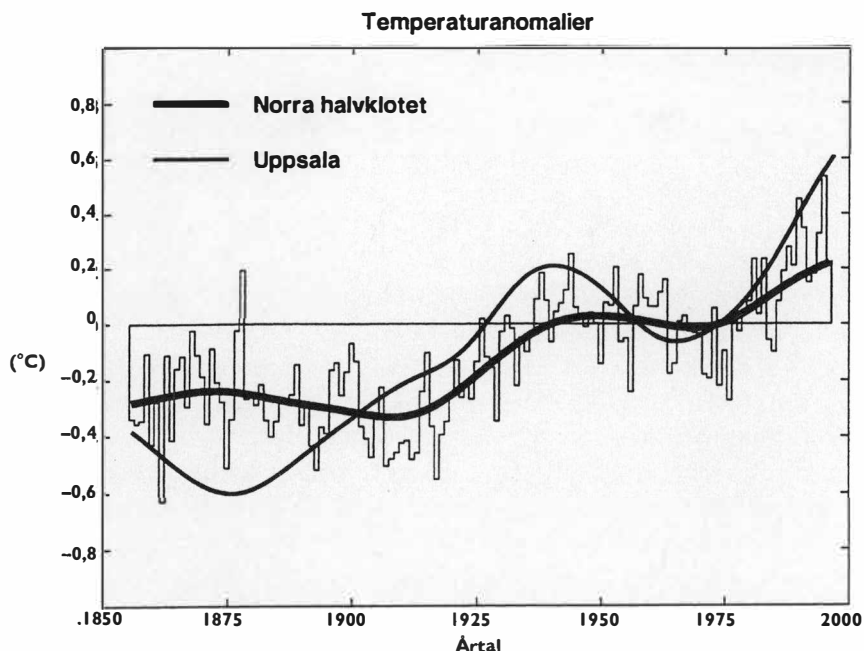


Figur 4.3. Direkta temperaturopbservationer av årsmedeltemperaturen för de tre längsta observationsserierna i världen. Dessa, som alla är belägna i Västeuropa, visar samma trend sinsemellan, och eftersom de också visar samma trend som den globala temperaturen för den överlappande perioden är det sannolikt att de ger en bild av den globala temperaturen. Det föreligger en markant trend i temperaturen efter sekelskiftet 1900, men om temperaturen under hela perioden sedan 1700-talets början beaktas är trenden obetydlig (Moberg & Bergström 1997).

Holocena klimatförändringar

Det holocena klimatet har länge ansetts vara mycket stabilt (Broecker 1994, Johnsen et al. 1995, Bond et al. 1997). Studier från senare år, när metodik med en högre upplösning än tidigare använts, visar emellertid att klimatet varierat även under holocen. Variationsvidden har under perioden varit ca 2°C i stora områden (Karlén & Kuylensstierna 1996, Wick & Tinner 1997, Alley et al. 1997). Detta är en liten variation i jämförelse med variationerna under den senaste istiden, en tid då dessa tycks ha uppgått till 20°C på Grönland (Johnsen et al. 1995).

Förekomst av globala variationer i klimatet har diskuterats. Denton och Karlén (1973) föreslog att det förekommit globala kalla perioder med 2 500 års mellanrum under holocen. Uppfattningen styrktes av en omfattande studie av Rötlisberger (1986), men Jeane Grove (1988) ansåg några år sena-



Figur 4.4. Avvikelsen från normaltemperaturen för norra halvklotet och för Uppsala. Temperaturen för Uppsala, en av de orter för vilken det finns temperaturobservationer sedan början av 1700-talet, visar förändringar i temperaturtrenden vid i stort sett samma tider som temperaturkurvan för norra halvklotet. Temperaturen steg från sekelskiftet och fram till 1940, därefter sjönk den något fram till 1975 och den har därefter åter stigit (från referenserna WMO 1995, Moberg & Bergström 1997).

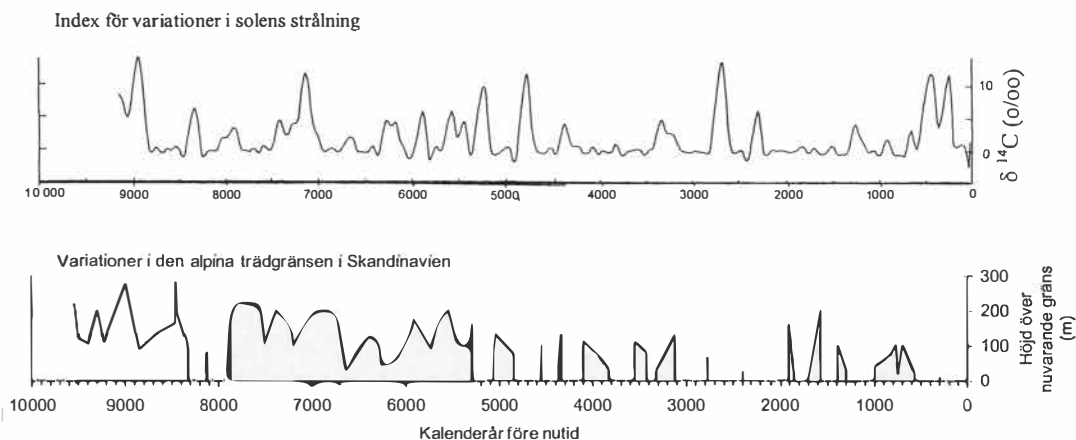
re att det inte fanns belägg för globala förändringar utom under lilla istiden (de senaste 500 åren). Först sedan O'Brien et al. (1995) fann påtagliga variationer i innehållet av lösliga salter i is kärnor från Grönland, som visade att atmosfärens cirkulationen ändrats vid upprepade tillfällen, har förekomsten av holocena klimatvariationer börjat accepteras mera allmänt (Bond et al. 1997). Dessa variationer tycks vara av samma längd som de välkända variationerna under senaste istiden (Johnsen et al. 1995) men av mindre amplitud (Karlén & Kuylenstierna 1996, Bond et al. 1997). Omfattande studier av främst den markanta förändringen i klimatet vid slutet av senaste istiden styrker uppfattningen att stora svängningar i klimatet sker samtidigt över stora områden (Alley et al. 1997, Broecker 1997, Severinghaus et al. 1998).

Ett stort antal studier av holocen visar att klimatet varierat (Lorius et al. 1979, Bonnefille et al. 1990, Lin et al. 1995), men tillräcklig tyngd har inte alltid lagts på dateringen av dessa. Ett relativt tydligt samband föreligger dock mellan ett antal områden, varav ett litet urval presenteras nedan.

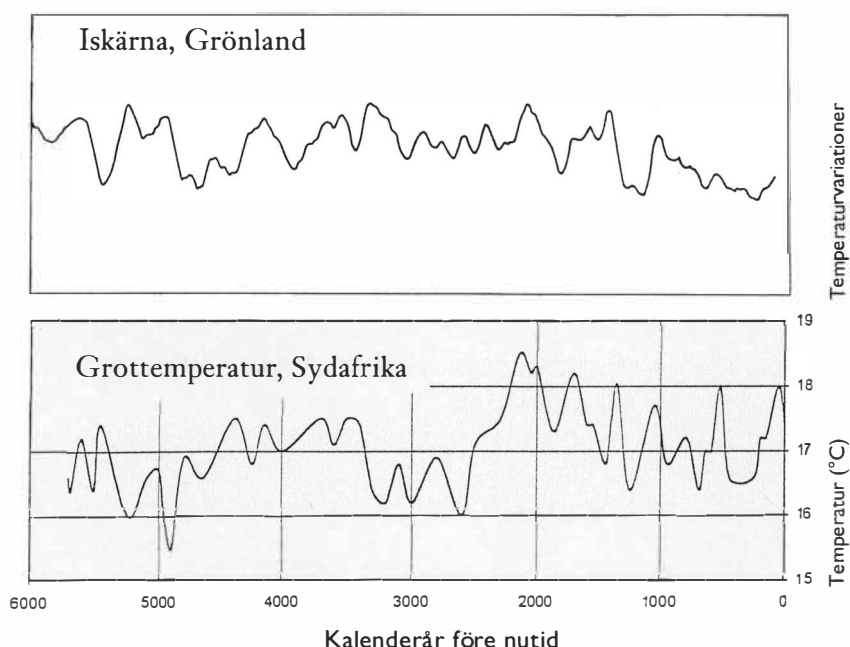
Paleoklimatiska rekonstruktioner

Processerna som förorsakar regionala klimatvariationer kan hänföras till kända processer. En sådan process är förändringar i solens strålning. Belägg för ett samband mellan global temperatur och variationer i solens strålning har påvisats av Friis-Christensen & Lassen (1991) som funnit ett nära samband mellan solfläckscykler och klimatet. Ett samband mellan beräknad solaktivitet och klimat har dessutom påvisats av Lean et al. (1995) och Soon et al. (1996). Variationerna i solens strålning är relativt små men effekten kan förstärkas genom s.k. feedback mechanisms (förstärkningseffekter). En sådan är variationer i molnmängd, som tycks följa variationer i solens strålning (Svensmark & Friis-Christensen 1997). Variationer i solens strålning över långa perioder har beräknats genom studier av isotopsammansättningen i träds årsringar. Ett samband mellan förändringar beräknade med denna metod och observerade klimatvariationer har påpekats (Denton & Karlén 1973), och nya undersökningar har styrkt detta samband (Wigley & Kelly 1990, Karlén & Kuylensstierna 1996).

Det finns ett antal beräkningar av temperaturen för norra halvklotet under de senaste 400 åren. Resultaten av dessa beräkningar visar enbart mindre skillnader, vilket tyder på att beräkningarna är riktiga. Likaså visar



Figur 4.5. Den alpina trädgränsen i Skandinavien visar att sommarklimatet under tider varit varmare än det nu är. Trädgränsens variationer jämförs här med ett index för variationer i solens strålning, som beräknats som skillnaden mellan dendrokronologisk ålder och den ålder som kol-14-datering ger (Wigley and Kelly 1990). Flertalet markanta avvikelser i solaktiviteten sammanfaller med perioder då klimatet varit kallt, vilket visar att solens strålning påverkat klimatet.



Figur 4.6. Beräknad variation i temperatur för Grönland (från Alley et al. 1997) och rekonstruerad variation i temperatur för en grotta i Sydafrika (Talma & Vogel 1992). Variationerna är i stora drag likartade under de senaste 2 000 åren men bortom denna tidpunkt tycks det föreligga ett fel i tidsskalan som för 5 000 år sedan uppgår till mellan 200 och 300 år. Den låga temperaturen för ca 4 900 år sedan och den långa svala perioden mellan 2400 och 3300 före nutid, som är tydlig i Sydafrika liksom i Skandinavien, är mindre markerad på Grönland. En varm period för drygt 500 år sedan i Sydafrika sammanfaller med en varm period i bl.a. Sverige vid denna tid.

studier av klimatets variationer sedan inlandsisens avsmältning baserade på tallens höjmgräns, förekomsten av moräner framför glaciärer och sediment i sjöar nedanför glaciärer likartade resultat. Klimatet har varierat under hela perioden. Det var allmänt lite varmare före ca 5000 år före nutid, men klimatet varierade även under tiden före denna tid.

Ett antal dendrokronologiska studier från norra halvklotet har konstruerats. En jämförelse mellan dessa klimatserier, vilka är väl daterade, visar ofta påtagliga likheter. En studie från norra Sverige och en från Rocky Mountains visar båda på stora variationer vid upprepade tillfällen. Några av de varmaste perioderna inträffade omkring 1100, 1160, 1320, 1430, 1760 och 1940. Uppvärmningen under 1900-talet är påtaglig men inte mer markant än de som inträffade i slutet av 1100-talet, början av 1400-talet och slutet av 1700-talet (Briffa et al. 1992, Luckman et al. 1997).

Slutsatser

- För de senaste drygt 100 åren finns en global temperaturkurva baserad på observationer som visar att klimatet var kallt fram till 1910 och att temperaturen därefter steg påtagligt fram till 1940. Efter detta värmeoptimum sjönk temperaturen något fram till 1975, och den har därefter åter stigit.
- De längsta temperaturserierna, mellersta England, De Bilt (Holland) och Uppsala, visar samma tendens som den globala temperaturkurvan för den tid då de överlappar. Det är därför troligt att dessa långa temperaturserier ger en rimlig bild av förhållandena åtminstone på norra halvklotet. Temperaturen var låg under 1600-talets slut, steg i början av 1700-talet och var under en period ungefär lika hög som den är för närvarande. En ny varm period inträffade i slutet av 1700-talet, efter en kort kall fas inträffade en kort varm period i början av 1800-talet. Det finns en svag trend mot varmare klimat, men under perioden inträffade flera förändringar i temperaturen som är nära nog lika markanta som förändringar efter 1910.
- Klimatets variationer är genom ett antal dendrokronologier och några iskärnor tämligen välkänt för de senaste 1 000 åren. Klimatförändringar omfattande perioder om flera tiotal år förekommer vid samma tid i flera väldaterade kronologier, men korta variationer kan vara ur fas. Statistik som visar extremvärden i Skandinavien under de senaste 1 500 åren för (a) enstaka år, (b) 20-årsmedel, (c) 50-årsmedel och (d) trenden under 50 år, visar att temperaturen under 1900-talet i inget avseende varit unik. Dendrokronologiska studier visar att större och minst lika snabba klimatvariationer som de under 1900-talet har förekommit vid upprepade tillfällen.
- Det finns några få klimatserier som ger information om klimatet under hela holocen. Till dessa hör iskärnor från Grönland och Antarktis, på trädgräns- och glaciärvariationer baserade klimatkronologier och sjösedimentstudier från ett antal områden. Dessutom finns ett stort antal studier som ger information som är relaterad till klimatet under delar av holocen. Många av dessa klimatserier visar att det finns ett samband mellan områden belägna i skilda delar av världen.
- Temperaturvariationernas storlek under holocen kan uppskattas med varierande noggrannhet. Vid paleoklimatologiska rekonstruktioner an-

ges i regel medeltemperaturer för perioder om ett tiotal till hundratal år. Trädringsserier från västra USA och Sverige visar att variationer på ca 2°C förekommit under holocen och en grottestudie genomförd i Sydafrika visar en variation på ca 3°C mellan varma och kalla perioder.

Referenser

- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C., Clark, P.U. (1997), Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 years ago. *Geology* 25(6): 483–486.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G. (1997), A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial climates. *Science* 278: 1257–1266.
- Bonnefille, R., Roeland, J.C., Guiot, J. (1990), Temperature and rainfall estimates for the past 40,000 years i equatorial Africa. *Nature* 346: 347–349.
- Bradley, R.S., Jones, P.D. (1992), Records of explosive volcanic eruptions over the last 500 years. I: Bradley, R.S. och Jones, P.D. (Red.) *Climate since A.D. 1500*, s. 606–622. Routledge, London and New York
- Bradley, R.S., Jones, P.D. (1993), 'Little Ice Age' summer temperature variatios: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene* 3(4): 367–376.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Karlén, W., Zetterberg, P., Eronen, M. (1992), Fennoscandian summers from A.D. 500: Temperature changes on short and long timescales. *Climatic Dynamics* 7: 111–119.
- Briffa, K.R., Jones, P.D. (1993), Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 2, implications for large-scale high-frequency paleoclimatic studies. *The Holocene* 3(1): 77–88.
- Broecker, W.C. (1994), Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature* 372: 421–424.
- Broecker, W.S. (1997), Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: Man-made CO₂ upset the current balance? *Science* 278: 1582–1588.
- Christy, J.R., McNider, R.T. (1994), Satellite greenhouse signal. *Nature* 367: 325.
- Dansgaard, W. (1984), Grönlandisen minns klimat och vulkanutbrott. *Forskning och Framsteg* 4/84: 4–12.
- Denton, G.H., Karlén, W. (1973), Holocene climatic variations – their pattern and possible cause. *Quaternary Research* 3(2): 155–205.
- Friis-Christensen, E., Lassen, K. (1991), Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. *Science* 245: 698–700.
- Grove, J.M. (1988), *The Little Ice Age*. London Methuen.
- Holmgren, K., Lauritzen, S.-E., Possnert, G. (1994), 230Th/234U and 14C dating

- of a late Pleistocene stalagmite in Lobatse II Cave, Botswana. *Quaternary Geochronology Science Reviews* 1: 111–119.
- Holmgren, K., Karlén, W., Shaw, P. (1995), Paleoclimatic significance of the stable isotopic composition and of a late Pleistocene stalagmite from Botswana. *Quaternary Research* 43: 320–328.
- IPCC (1992), *Climatic change 1992 – The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (1996), *Climatic Change 1995 – The Science of Climatic Change*. Cambridge University Press.
- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Dansgaard, W., Gundestrup, N. (1995), Greenland paleotemperatures derived from GRIP bore hole temperature and ice core isotope profiles. *Tellus* 47B: 624–629.
- Jones, P.D., Kelly, P.M., Goodess, C.M., Karl, T.R. (1989), The effect of urban warming on the Northern Hemisphere temperature average. *Journal of Climatology* 2: 285–290.
- Karl, T.R., Jones, P.D. (1989), Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bulletin American Meteorologist Society* 70(3): 265–270.
- Karlén, W. (1976), Lacustrine sediments and three-limit variations as indicators of Holocene climatic fluctuations in Lapland: Northern Sweden. *Geografiska Annaler* 58A(12): 1–34.
- Karlén, W., Kuylenstierna, J. (1996), On solar forcing of Holocene climate: evidence from Scandinavia. *The Holocene* 6(3): 359–365.
- Kreutz, K.J., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Twickler, M.S., Whitlow, S.I., Pittalwala, I.I. (1997), Bipolar changes in atmospheric circulation during the Little Ice Age. *Science* 277: 1294–1296.
- Lean, J., Beer, J., Bradley, R. (1995), Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22: 3195–3198.
- Lin, P.N., Thompson, L.G., Davis, M.E., Mosley-Thompson, E. (1995), A 1000 year climate ice-core record from the Guliya ice cap, China: its relationship to global climate variability. *Annals of Glaciology* 21: 175–181.
- Luckman, B.H., Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H. (1997), Tree-ring based reconstruction of summer temperatures at the Columbia Icefield, Alberta, Canada, AD 1073–1983. *The Holocene* 7(4): 375–389.
- Lorius, C., Merlivat, L., Duval, P., Jouzel, J., Pourchet, M. (1979), Evidence of climatic change in Antarctica over the last 30 000 years from the Dome C icecore. Sea Level, Ice and Climatic Change, Proceedings of the Canberra Symposium, December 1979. *IHAS publication no.* 131: 217–225.
- Manley, G. (1974), Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quaternary Journal of Royal Meteorological Society* 100(425): 389–405.
- Moberg, A., Bergström, H. (1997): Homogenization of Swedish temperature data. Part iii: The long temperature records from Uppsala and Stockholm. *International Journal of Climatology* 17: 667–699.

- O'Brien, S.R., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S., Whitlow, S.I. (1995), Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science* 270: 1962–1964.
- Overpeck, J., Hughen, K., Hardy, D., Bradley, R., Case, R., Douglas, M., Finney, B., Gajewski, K., Jacoby, G., Jennings, A., Lamoureux, S., Lasca, A., MacDonald, G., Moore, J., Retelle, M., Smith, S., Wolfe, A., Zielinski, G. (1997), Arctic environmental change of the last four centuries. *Science* 278: 1251–1256.
- Pittock, A.B. (1978), A critical look at long-term sun-weather relationships. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 13(3): 400–420.
- Ramanathan, V., Cess, R.D., Harrison, E.F., Minnis, P., Barkstrom, B.R., Ahmad, E., Hartman, D. (1989), Cloud-radiative forcing and climate: Results from the earth radiation budget experiment. *Science* 243: 57–63.
- Röthlisberger, F. (1986), *10,000 Jahre Gletschergeschichte der Erde*. Verlag Sauerländer, Aarau.
- Schweingruber, F.H. (1996), *Tree rings and environment dendrochronology*. Paul Haupt Publishers Berne.
- Severinghaus, J.P., Sowers, T., Brook, E.J., Alley, R.B., Bender, M.L. (1998), Timing of abrupt climate change at the end of Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice. *Nature* 391: 141–146.
- Soon, W.H., Posmentier, E.S., Baliunas, S.L. (1996), *Inference of solar irradiance variability from terrestrial temperature changes, 1880–1993: An astronomical application of the sun climate connection*. Preprint Series No. 4344, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.
- Stuiver, M., Grootes, P. M., Baliunas, T.F. (1995), The GISP2 (180 climate record of the past 16,500 years and the role of the sun, oceans, and volcanoes. *Quaternary Research* 44: 341–354.
- Svensmark, H., Friis-Christensen, E. (1997), Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 59(11): 1225–1232.
- Talma, A.S., Vogel, J.C. (1992), Late Quaternary paleotemperatures derived from a speleothem from Cango Caves, Cape Province, South Africa. *Quaternary Research* 37: 303–213.
- Wick, L., Tinner, W. (1997), Vegetation changes and timberline fluctuations in the central Alps as indicators of Holocene climatic oscillations. *Arctic and Alpine Research* 29(4): 445–458.
- Wigley, T.M.L., Kelly, P.M. (1990), Holocene climatic change, 14C wiggles and variations in solar irradiance. *Philosophie Transactions Royalty Society London A* 330: 547–560.
- WMO (1987), *The Global climate system, autumn 1984–spring 1986*. World Meteorological Organization, CSM R84/86, Genève.
- WMO (1995), *The global climate system review. Climate System Monitoring June 1991–November 1993*. WMO-No. 819, Genève.

WMO (1996), *WMO Statement on the status of the global climate in 1995*. World Meteorological Organization WMO-No. 838, Genève.

WMO (1997), *WMO Statement on the status of the global climate in 1996*. World Meteorological Organization WMO-No. 858.

5.

Har växthuseffekten förändrat jordens klimat ?

Jarl Ahlbeck

En antropogent betingad klimatförändring borde antingen bestå av en gradvis ökning av frekvensen för extrema klimathändelser och/eller en gradvis pågående uppvärmning eller nedkylning av atmosfären. Någon ökning av klimatvariationer mellan olika år har dock inte konstaterats. Inte heller har man över huvud taget kunnat konstatera någon ökning av extrema klimathändelser under 1900-talet (IPCC 1996, s. 173).

Angående det ofta förekommande påståendet att tropiska orkaner redan blivit vanligare förekommande och kraftigare och att situationen i framtiden förvärras, citerar jag IPCC (1996) s. 334: "För tillfället är det omöjligt att säga om antalet och intensiteten av tropiska cykloner kommer att förändras i framtiden." Nya undersökningar visar däremot att frekvensen för stormar och tyfoner har minskat en aning under de senaste årtiondena (Landsea et al. 1996).

"Identifieringsvetenskap"

I massmedia har uttalandet att bevisjämvikten tyder på en skönjbar inverkan av människan på klimatet (IPCC 1996) allmänt tolkats så att den globala medeltemperaturen redan mätbart har ökat till följd av den ökade halten koldioxid i atmosfären. Men det är viktigt att inse att forskarna inte har avsett en sådan inverkan som kan identifieras i temperaturstatistiken med normala vetenskapliga metoder.

För att förstå hur klimatförändringsforskare arbetar idag vågar jag mig på introducera ett nytt begrepp, ett forskningsområde som på svenska kunde kallas *identifieringsvetenskap*, (identification of fingerprints). Denna forskning betyder inte att man med konventionella metoder försöker fin-

na en antropogen signal i klimatdata, utan i stället utnyttjar man datoriserade klimatmodeller med vilka man estimerar t.ex. temperatur och nederbörd i olika regioner och på olika höjder från marken. Därefter beräknar man korrelationskoefficienten (spatial correlation coefficients) mellan lokala modellestimat och uppmätta data och analyserar hur denna korrelation förändras med tiden (Hegerl et al. 1997, Tett et al. 1996 och Santer et al. 1996). Om korrelationen t.ex. förbättras från år till år, anser man detta vara ett tecken på att man lyckats identifiera en antropogen signal.

En konstaterad förbättringstrend i korrelationskoefficienten var en av orsakerna till den ofta citerade formuleringen i *Summary for Policymakers*, enligt vilken människan redan har påverkat klimatet. Men denna korrelationskoefficient är trots förbättringen inte statistiskt signifikant för ett längre tidsintervall än det som analyserats i publikationen av Santer et al. Detta betyder att klimatmodellerna inte klarar av att beskriva naturliga variationer, vilket i praktiken innebär att identifikationen av en antropogen signal med hjälp av dessa modeller måste ifrågasättas.

IPCC (1996) s. 423 sammanfattar att den bästa anpassningen till globala medeltemperaturer fås när även antropogena faktorer såsom aerosoler och koldioxid involveras i modellen. Detta är ett välkänt beteende för avancerade processmodeller: Ju fler parametrar man använder i en modell som adapteras till mätdata, desto bättre anpassning erhåller man, trots att många samband rent fysikaliskt sett kan vara nonsens.

Tidsserie för temperaturen i en begränsad region

Separering av en antropogen trend från en naturlig trend

I detta avsnitt vill jag därför allmänt diskutera temperaturmätningar och deras resultat med användande av klassiska utvärderingsmetoder. Detta motiverar jag med min uppfattning att *endast en med klassiska metoder identifierbar antropogen klimatförändring är så stor att den har någon praktisk betydelse för mänskligheten*.

Om man undantar sammanfattningen finns det inte mycket i sak att invända mot de direkta utvärderingarna av temperaturdata i IPCC-rapporten (1996). Men då sammanfattningen spelar en dominerande roll i debatten är det motiverat att framlägga ett mera kritiskt sätt att tolka temperaturmätningarna. Dessutom har informationsmängden avsevärt ökat sedan denna rapport skrevs, och nya intressanta hypoteser har formulerats.

Har man tillgång till en beräknad naturlig trend, kan man bedöma om

den från mätdata observerade förändringen signifikant avviker från den naturliga trenden. Statistiskt uttrycker man det så, att om den naturliga trenden ligger utanför den uppmätta förändringens statistiska variationsintervall kan man med en viss sannolikhet hävda att man funnit en antropogen komponent.

Separering av antropogen variation från naturlig variation

Då de simuleringsprogram man idag har uppgjort inte klarar av att beskriva naturliga trender kan ovanstående typ av tester inte utföras. Däremot har man en viss information om de naturliga variationernas storlek, vilket betyder att man alternativt kan testa om variationerna under det undersökta tidsintervallet signifikant avviker från naturliga variationer.

Ett mått på de naturliga variationernas storlek är den statistiska standardavvikelsen som kan beräknas t.ex. från årsmedelvärden för en så tidig period att en eventuell antropogen inverkan är så liten att den kan försummas. Man måste emellertid välja ett så stort tidsintervall att observationerna inte är autokorrelerade, dvs. temperaturerna för olika år får inte vara beroende av varandra.

Identifiering av antropogen trend om naturlig variation är känd

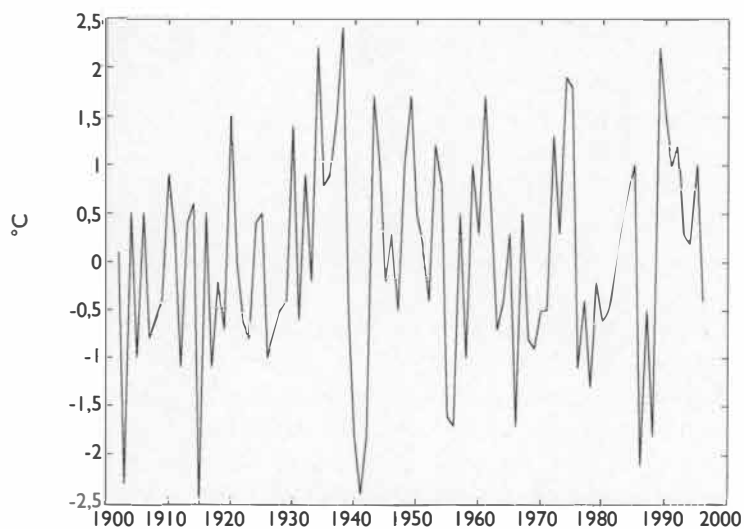
Om ökningen av standardavvikelsen i årsmedeltemperaturer beror på en onaturlig (antropogen) uppvärmande eller nedkylande trend, bör temperaturförhöjningen eller nedkylningen vara större än ca 2 gånger den naturliga standardavvikelsen för att med statistiska metoder kunna separeras från de naturliga variationerna.

Finlands medeltemperatur åren 1902–1996

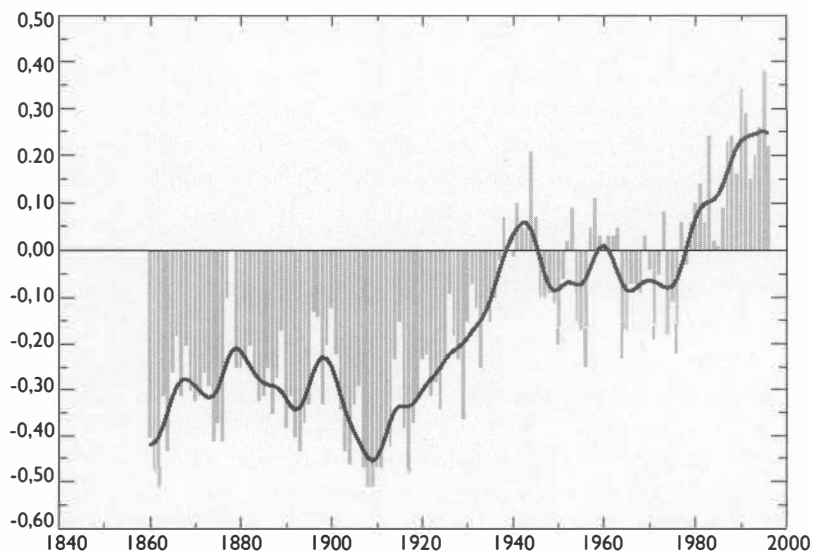
Under perioden uppmätta årsmedeltemperaturer för Finland kan uppfattas som medeltemperaturen i en begränsad region (figur 5.1).

Om de kalla krigsåren 1939–1942 tas med kan man inte finna någon trend över huvud taget. Det förefaller därför sannolikt att den naturliga standardavvikelsen är ca 1°C för Finlands årsmedeltemperaturer, men då är betraktelsen begränsad till 1900-talet. Skulle man ha tillgång till data för flera hundra år, skulle sannolikt standardavvikelsen vara betydligt större.

Klimatmodellerna förutspår en regional uppvärmning för Finland på flera grader (IPCC 1996) till följd av en dubblerad halt av atmosfäriskt koldi-



Figur 5.1. Finlands medeltemperatur 1900–1996, avvikelse från medelvärdet.



Figur 5.2. Global medeltemperatur (yt-mätningar) 1860–1996, avvikelse från medelvärdet 1961–90. (Figuren återges med tillstånd av Matt O'Donnell vid Hadley Centre, Meteorological Office, Storbritannien, med bistånd i analysen av landtemperaturer från Dr. Phil Jones, Climate Research Unit, University of East Anglia, Storbritannien.)

oxid räknat från en förindustriell nivå på 280 ppmv. Av denna uppvärmning borde en del redan ha förverkligats, främst efter andra världskriget, men temperaturdata ger inget stöd för detta.

Horisontell och vertikal medelvärdesbildning

Global årsmedeltemperatur, ytmätningar

Exemplet visar att de naturliga variationerna i en undersökt region (Finland) är så stora att det inte går att identifiera en antropogen signal. Kännetecknande för lokala temperaturdata är stor naturlig varians. Variationerna är också större ju längre norrut man går.

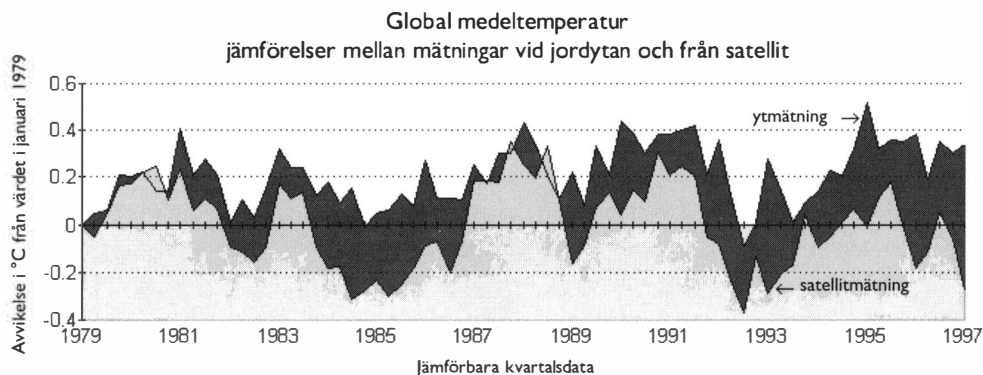
För att minska standardavvikelsen måste man därför bilda medelvärden över större områden ända upp till hela jordklotet, s.k. global medeltemperatur. Karlén i denna bok och Lindzen (1994) diskuterar de stora osäkerhetsfaktorer som sänker tillförlitligheten för sådana medelvärden. Speciellt osäkra är observationer från tropiska hav. Globala medeltemperaturer baserade på yttemperaturmätningar för detta århundrade visas i figur 5.2.

Global årsmedeltemperatur, jämförelse med satellitmätningar

Satelliterna mäter syremolekylens strålningsemission för det nattliga halvklotet. Därigenom sker en medelvärdesbildning av lufttemperaturen på olika höjd. Mätningarna är testade med väderballonger och överensstämmelsen är i det närmaste perfekt.

Kännetecknande för satellitmätningarnas noggrannhet och höga upplösningsförmåga är att till och med månvarmen kan mätas: fullmånen åstadkommer en global uppvärmning på 0,03°C. Mätningarna visar också att temperaturen under veckosluten över Europa är ca 0,02°C lägre, vilket troligen beror på den lägre industriaktiviteten och på mindre trafik.

Satellitmätningar har utförts sedan år 1979. En analys av dessa data i jämförelse med ytdata visar (Christy och McNider 1994) en acceptabel överensstämmelse för landområden men en sämre överensstämmelse för havsområden, vilket leder till avvikande trend i globala medelvärden (figur 5.3). Detta fenomen diskuteras av Christy som utför en korrektion av satellitdata för inverkan av vulkanutbrottet M:t Pinatubo år 1992 och för förändringar i havsströmmarna. Efter denna korrektion erhåller Christy för satellitdata en global stigande temperaturtrend på 0,09°C per 10 år.



Figur 5.3. Jämförelse mellan ytmätningar och satellitmätningar 1979–1996 (Daly 1997).

Men Christys korrektion utfördes för data till och med år 1993. Betraktar man data ända fram till år 1997, då satelliterna visar fortsatt svag kylning över oceanen trots att inverkan av Mt Pinatubo har upphört, så kvarstår diskrepansen: Satellitdata visar inte den globala uppvärmning som ytmätningarna gör.

En diskussion om temperaturdata 1965–1996 finns refererad i *New Scientist*, 19 juli 1997. Under första delen av denna period, 1965–1987, var uppvärmningen av norra halvklotet lägre än det södra. Detta förklarar klimatmodellerare med att aerosolkylningen kylt det norra halvklotet. Därefter, 1987–1996, skulle koldioxidens uppvärmande inverkan "besegrat" aerosolkylningen och det norra halvklotet har uppvärmts snabbare. Kritiker har å sin sida påpekat att det södra halvklotet inte alls uppvärmts utan blivit kallare sedan år 1987, vilket inte stämmer med modellprediktionerna. Ett faktum som också motsäger denna förklaring är att det är det norra halvklotets *natttemperaturer* blivit högre, speciellt på vintern.

Temperaturökningen i början av 1900-talet 0,5°C fram till år 1938, har skett samtidigt som atmosfärens halt av koldioxid ökat med endast 10 ppmv. Temperaturökningen har därför sannolikt varit naturlig och ger en uppfattning om de naturliga variationernas storlek. Men eftersom den globala temperaturkurvan är tydligt autokorrelerad betyder detta att man borde välja stickprov med intervallet tiotal år. Hög autokorrelationen betyder att enskilda varma eller kalla år uppträder nära varandra i grupper (clusters). Om t.ex. 1995 varit varmt (enligt satellitmätningarna var detta år normalt), bör även andra närliggande år vara varma och vice versa.

Detta innebär att man egentligen borde ha tillgång till globala medeltemperaturer för flera hundra år för att med god noggrannhet kunna beräkna den naturliga standardavvikelsen.

En statistisk beräkning av hur stor antropogen global uppvärmning som krävs för att vara statistiskt signifikant är därför osäker. En global temperaturökning på 0,2 grader sedan år 1938 eller på 0,3 grader sedan år 1965 kan emellertid i ingen händelse påstås avvika från de naturliga variationerna.

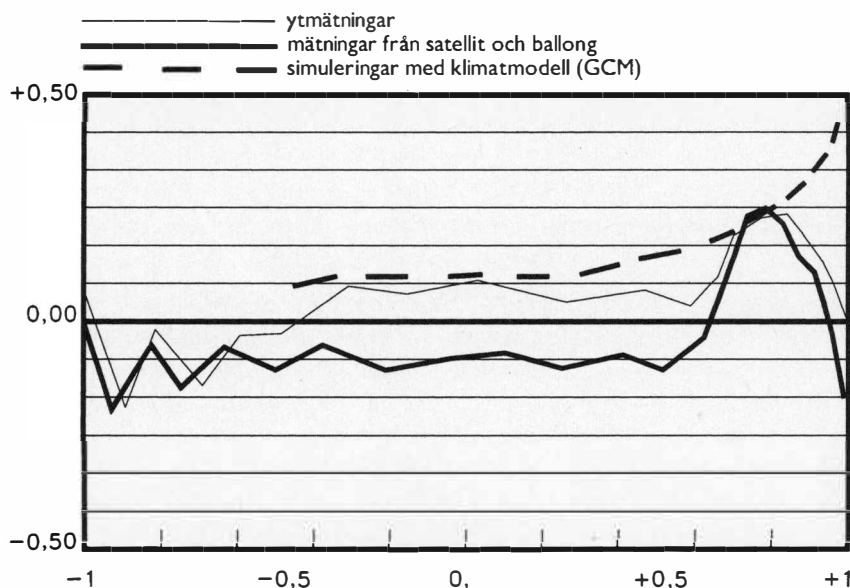
Uppvärmning i norra "industriältet" under perioden 1979–1995

Fördelningen av temperaturtrender i nord-sydlig riktning ($^{\circ}\text{C}/10$ år) baserade på data presenterade av Christy (1995) är utritade i figur 5.4. Figuren visar det som även beskrevs tidigare, nämligen diskrepansen mellan satellitmätningar och ytmätningar över sydliga havsområden och i områden runt ekvatorn. En viss uppvärmning, vilken registrerats relativt lika av både satelliter och ytmätningar, har ägt rum i ett bälte som ligger mellan ca 40 och 65° nordlig bredd, eller i det område där största delen av industriaktivitet och internationell flygtrafik är koncentrerad. Uppvärmningen förefaller att vara koncentrerad speciellt till vinternätter. För Sibirien visar ytmätningarna dock förvånansvärt stor temperaturstegring jämfört med satellitmätningar. Uppvärmningen i bältet och orsakerna till detta har diskuterats. Förklaringarna är hypotetiska.

Polarområden

Glaciärsmältning

Då enligt klimatmodellerna den starkaste globala uppvärmningen till följd av förhöjd växthuseffekt borde ske i närheten av polerna är temperaturmätningar från kalla regioner speciellt intressanta. Indirekta indicier på uppvärmning, t.ex. glaciärsmältning, är inte lika viktiga som temperaturmätningar även om de är omhuldade av massmedia. Glaciärers rörelser nedåt visar stor periodicitet: Om en glaciär under en viss tid har rört sig extra snabbt nedåt kommer dess nedre del givetvis att smälta dramatiskt. Tidsintervallet mellan stora momentana rörelser kan dessutom vara mycket långt. På vissa områden i Alaska som tidigare täckts av glaciäris växer nu träd som är ca 50 år gamla. Detta betyder att denna glaciäris har försvunnit långt innan (den antropogena) ökningen av atmosfärens koldioxidhalt varit av betydelse. Glaciärers beteende är inte ett bra mått på klimatförändringar, vilket åskådliggörs av glaciärerna i Norge. På grund av rikliga snöfall tillväxte dessa under de varma åren 1988–1993, medan de förlorade is under det rekordkalla året 1985 (Österholm 1997).



Figur 5.4. Temperaturtrender ($^{\circ}\text{C}/10$ år) som funktion av sinus för latituden, 1979–1994 (Christy 1995).

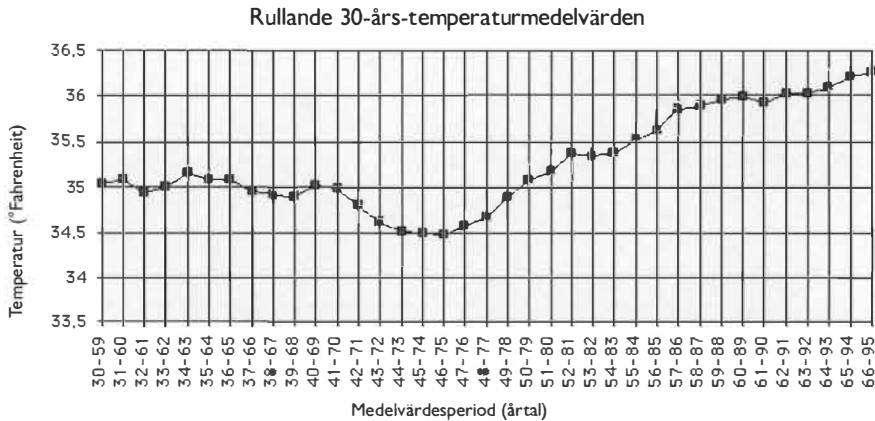
Arktiska områden, Alaska

Klimatmodellerna förutspår en kraftig uppvärmning längst i norr. Av denna borde en del redan ha förverkligats. En ny, mycket noggrann statistisk analys av förefintliga temperaturdata (ytmätningar) för åren 1946–1996 för arktiska områden visar emellertid att ingen som helst signifikant uppvärmning under det senaste halvsekle kan konstateras (Polyak och North, 1997).

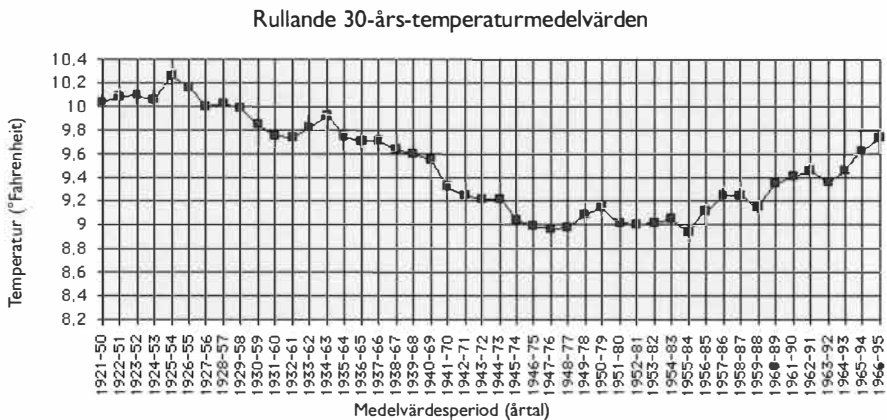
Eftersom vissa massmediareportage hävdar att en kraftig uppvärmning av Alaska har ägt rum, visar jag temperaturstatistik från två viktiga mätstationer: Anchorage och Barrow.

Figur 5.5. visar medeltemperaturen åren 1959–1995 för Anchorage. Stationen befinner sig på $61^{\circ} 14'$ nordlig bredd och har under perioden flyttats ett antal gånger. Anchorage är en tillväxtregion där bl.a. flygtrafiken har ökat kraftigt under perioden. Temperaturstegringen sedan år 1975 (med $+0,9^{\circ}\text{C}$ eller $0,45^{\circ}\text{C}/10$ år) måste därför delvis ha berott på urban uppvärmning och temperaturdata från denna station kan därför inte anses vara representativa i en diskussion om förstärkt växthuseffekt. Stationen befinner sig i norra delen av det industriälte som beskrevs tidigare.

Detta rimmar illa med att de flesta klimatmodeller beräknar att temperaturen runt den 70:e breddgraden *redan borde ha stigit avsevärt till följd av*



Figur 5.5. Medeltemperatur för Anchorage, Alaska 1959–1995, (The Alaska Climate Research Center).



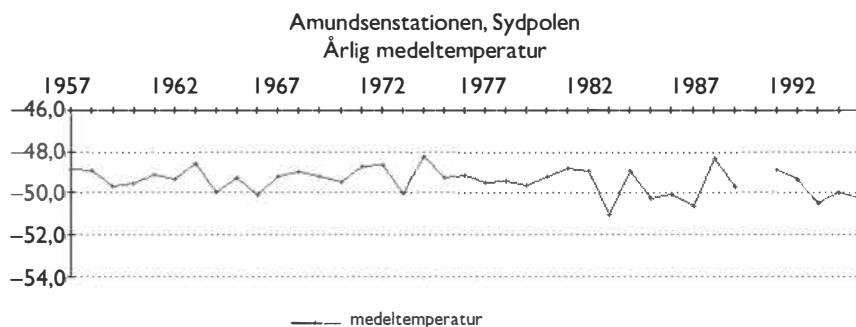
Figur 5.6. Medeltemperatur för Barrow, Alaska 1950–1995, (The Alaska Climate Research Center).

förstärkt växthuseffekt. I själva verket är luften i Barrow 0,3°C kallare nu än på 1950-talet (se figur 5.6).

Det finns ingenting onaturligt i klimatobservationerna från Alaska. Variationerna i mätstationernas temperaturer förefaller vara en kombination av naturliga variationer och urban uppvärmning.

Sydpolen

Figur 5.7 visar temperaturutvecklingen för Amundsenstationen på Sydpolen (ytmätningar). Ingen som helst uppvärmningstrend kan upptäckas.



Figur 5.7. Medeltemperatur för station Amundsen på Sydpolen 1957–1995 (Daly 1997).

Slutord och diskussion

För 17 år sedan konstaterade Madden och Ramanathan (1980) samt Wigley och Jones (1981) att man inte direkt från temperaturdata kan påvisa någon av antropogena orsaker ökad växthuseffekt. Trots att man nu har tillgång till avancerade satellitmätningar från nästan 20 år, och atmosfärens koldioxidhalt under denna tid har stigit med 17 procent (55 ppmv), bör slutsatsen idag vara densamma. Den identifikation som avses i IPCC:s *Summary For Policymakers* är indirekt och måste ifrågasättas.

Kollapsfenomen för isen i västra Antarktis har inget som helst samband med klimatförhållanden (Bentley 1997) och den i massmedia förekommande sammankoppling av detta fenomen till atmosfärens koldioxidhalt är minst lika absurd som kopplingen till översvämningarna och (de anlagda) skogsbränderna i Indonesien hösten 1997.

Temperaturdata från Sibirien spelar indirekt en stor roll i diskussionen om växthuseffekten eftersom de ger ett avsevärt bidrag till den globala uppvärmning som yttemperaturerna visar, en uppvärmning som inte kan verifieras med satellitmätningar. När det gäller dessa temperaturdata vill jag framföra en kritisk synpunkt. Under realsocialismens tid fördelades bränsle för uppvärmning i Sibirien genom centrala beslut och ett komplicerat system av regler och bestämmelser. Mängden bränsle man kunde få var beroende av hur kallt det var. Det kan ha funnits en tendens att rucka tem-

peraturavläsningarna nedåt av denna orsak. Efter år 1990 avvecklades detta systemgradvis och motiven för att ange överdrivet låga temperaturer försvann så småningom.

Referenser

- Bassett, G.W. (1992), *Climate Change* 21: 313–315.
 Bentley, C.R. (1997), *Science*, 275: 1077–1078.
 Christy, J. (1995), USGCPR National Seminar, 20 maj 1995.
 Christy, J, Mc Nider, R.T. (1994), *Nature* 367: 325.
 Daly, J. (1997), <http://www.vision.net.au/~daly> .
 Erikson, D. (1997), <http://www.ncar.ucar.edu/>.
 Fairbanks, R.G. et al. (1997), *Coral Reefs* 16: 93–100.
 Friis-Christensen, E. (1995), *J. of Atm. and Terr.Phys* 57 (8): 835–845.
 Hegerl, G.C. et al. (1997), *Climate Dynamics* 13: 613–634.
 IPCC (1996), *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*. Cambridge University Press.
 Landsea, C.W. et al. (1996), *Geophysical Research Letters* 23 (13): 1697–1700.
 Lindzen, R. (1994), *Annual Rev. Fluid. Mech* 26: 353–378.
 Madden, R.A., Ramanathan, V. (1980), *Science* 209: 763–768.
 Overpeck, J. et al. (1997), *Science* 278: 1251–1256.
 Parker, D.E. et al. (1997), *Geophysical Research Letters* 24 (6): 1499–1502.
 Polyak, I., North, G. (1997), *J. of Geophysical Research* 102: 1921–1929.
 Sandweiss, D.H. et al. (1996), *Science* 273: 1531–1533.
 Santer, B. et al. (1996), *Nature* 382: 39.
 Solow, A.R., Broadus, J.M. (1989), *Climate Change* 15: 449–453.
 Tett, S. et al. (1996), *Science* 274: 1170.
 Trenberth, K.E., Hoar, T.J. (1996), *Geophysical Research Letters* 23 (1): 57–60.
 Ulich, T. (1997), Examensarbete, Uleåborgs Universitet.
 Wigley, T.M.L., Jones, P.D. (1981), *Nature*, 292: 205–208.
 Österholm, H. (1997), *Hufvudstadsbladet* 17.12.1997.

Modellförutsägelser om framtida klimatförändringar

6.

Energianvändning och klimatmodeller

Tor Ragnar Gerholm

Som fysiker har jag ingen anledning att betvivla att IPCC:s meteorologer bemödat sig om att i möjligaste mån korrekt redogöra för vetenskapens ståndpunkt i de frågor de åtagit sig att referera. Jag förnekar naturligtvis inte heller att det är meteorologer, inte fysiker, som är experter på klimatet.

Men nu handlar det noga besett inte om klimatet som sådant utan om klimatförändringar – förändringar som dessutom, enligt IPCC, antas ha en mänsklig orsak, nämligen våra samlade utsläpp av växthusgaser, främst koldioxid, från fossila bränslen.

Omfattningen av de befarade klimatförändringarna beror således ytterst på i vilken utsträckning mänskligheten i framtiden, om hundra år och mera, kommer att använda sig av kol, olja och fossilgas. Det var ju också dessa frågor som Kyoto-konferensen handlade om och inte om meteorologi.

När det gäller den globala energianvändningen besitter meteorologerna i IPCC ingen särskild kompetens.

Det är inte heller för mycket sagt att IPCC hittills behandlat de för resultaten avgörande frågorna om framtidens energianvändning på ett mycket styvmoderligt sätt.

Till grund för den klimatkonvention som antogs vid Rio-konferensen 1992 låg IPCC-rapporten *Climate Change* (IPCC 1990). I denna rapport ägnades en halv A4-sida, av över 300 sidor i samma format, åt framtida koldioxidutsläpp. Man presenterade ett ”scenario” som, med en politiskt värdeladdad beteckning, kallades *Business-as-Usual* (BAU).

Men detta scenario visade sig vara av en så undermålig kvalitet att det, av IPCC, förkastades redan före Rio-konferensen, vilket dock få av de tiotusentals delegaterna torde ha varit medvetna om.

I den IPCC-rapport, SAR, *Second Assessment Report* (IPCC 1996), som innehåller det vetenskapliga underlaget för Kyoto-konferensen, finns inga nya emissionsscenarier. I stället hänvisas till de sex scenarier (betecknade

IS92 a–f) som i all hast togs fram inför Rio-konferensen och där kastades in som jåsten efter degen.

Att dessa scenarier under de år som gått sedan de publicerades utsatts för en förödande kritik förbigås i *SAR* med tystnad.

Men värre är att inte heller dessa scenarier, enligt *IPCC:s egen bedömning*, numera anses acceptabla. De har därför övergivits de också – *efter* Kyoto.

Alldeles oavsett om IPCC:s klimatmodeller håller måttet eller ej, är sanningen den att vi i dagsläget, i brist på trovärdiga emissionsscenarier, ingenting vet och ingenting kan veta, om vad som till äventyrs kommer att hända med klimatet om hundra år. Vad vi däremot vet är att vi gott kan avvakta med att vidta kostnadskrävande åtgärder till dess att ett acceptabelt beslutsunderlag föreligger.

Dessa två påståenden kommer i det följande att ledas i bevis. Jag vill här understryka att jag därvid uteslutande förlitar mig till IPCC:s egna rapporter och till uttalanden av ledande företrädare för IPCC.

Scenarier och modeller

Man kan ha olika uppfattningar om klimatmodellernas vetenskapliga värde. Men en sak står under alla omständigheter helt klar: Klimatmodellerna som sådana säger ingenting alls om hur atmosfärens koldioxidhalt kan förväntas öka. Modellerna säger enbart att *om* halten ökar så och så mycket kommer (kanske) jordytans temperatur att öka med så och så många grader.

Detta är inte något kontroversiellt påstående – tvärtom. Redan i den första IPCC-rapporten *Climate Change* (IPCC 1990) skriver man, i *Policy-makers Summary* (s. xxvii).

Osäkerhet i ovanstående förutsägelser uppstår genom våra bristande kunskaper rörande

- tillflödet av framtida människoorsakade emissioner
- hur dessa kommer att förändra atmosfärens halter av växthusgaser
- de förändrade halternas klimatpåverkan.

För det första är det naturligtvis så att den utsträckning i vilket klimatet påverkas beror på tillflödet av växthusgaser (och av andra gaser som påverkar deras halter). Dessa beror i sin tur på olika sammanhängande ekonomiska och sociala faktorer.

Ett liknande uttalande finns i *SAR:s Summary for Policymakers* (IPCC 1996), där det sägs att scenarierna IS92 a–f ”kan användas för att beräkna atmosfärens halter av växthusgaser ... Klimatmodellerna kan *sedan* (kursiverat

här) användas för att förutsäga hur framtidens klimat kommer att utvecklas.”

Med andra ord: För att man skall kunna använda klimatmodellernas beräkningar av framtida klimatförändringar måste man utgå från ett eller flera scenarier. Det innebär naturligtvis att sådana beräkningar inte kan göra anspråk på större tilltro än de underliggande scenarierna är förtjänta av.

De kan inte heller användas för att göra *prognoser*. Att, som sker i den citerade satsens fortsättning (*SAR* s. 5), tala om ett ”mest sannolikt” (best estimate) värde är vilseledande och strider mot IPCC:s scenarioförfattaresh rekommendationer. Scenarier kan inte användas på det sättet.

Scenarier

I den allmänna debatten förväxlar man dessvärre ofta scenarier och prognoser. Men det är en avgörande skillnad mellan dessa bägge begrepp. En *prognos* är en på vetenskap och beprövad erfarenhet grundad förutsägelse. Ett *scenario* däremot är, enligt Nationalencyklopedin, ett uttryck som inom framtidsforskningen används för att beteckna ”en systematisk beskrivning av en *möjlig* framtida situation och av en *tänkbar* utveckling från dagens tillstånd till den beskrivna situationen” (kursiverat här).

Det råder ingen tvekan om att IPCC:s scenarioförfattare uppfattar sina sex alternativ, IS92 a–f, i här angiven mening. Den *möjliga* situationen år 2100 representerar i samtliga sex fall¹ ”ett globalt energisystem som fortsätter att vara beroende av fossila bränslen, framför allt kol, och som visar endast måttliga framsteg i energieffektivitet och i teknisk utveckling av icke-fossila bränslen.”

En utomstående uppfattar sannolikt inte att IPCC:s klimatprojektioner implicit innesluts i ovan citerade antaganden. Det finns de som tvivlar på att mänsklighetens energiförsörjning om hundra år helt eller huvudsakligen kommer att vara baserad på stenkol; som inte håller det för osannolikt att effektiviteten i energianvändningen kommer att förbättras, även fortsättningsvis, i minst samma takt som den gjort i dagens industriländer under större delen av 1900-talet; som föreställer sig att de icke-fossila energialternativen under nästa århundrade kommer att ta marknadsandelar på de fossila bränslenas bekostnad såsom skett under de senaste 25 åren. De som ansluter sig till någon eller några av dessa föreställningar om den globala energianvändningens framtida utveckling avvisar den möjliga situationen år 2100 sådan som den beskrivs i det citerade avsnittet. De, och jag är en

¹ Emissions Scenarios for IPCC. An Update 1992.

av dem, kan därmed i konsekvensens namn inte acceptera något av IPCC:s sex scenarier och därpå baserade uttalanden om framtida klimatförändringar.

IPCC:s scenarioförfattare är angelägna om att man inte skall tolka deras resultat som *förutsägelser*. De säger:²

Scenarioreultat är icke förutsägelser om framtiden och skall icke användas som sådana; de illustrerar konsekvenserna av en bred räckvidd ekonomiska, demografiska och politiska antaganden. De är i sig själva kontroversiella eftersom de återspeglar olika uppfattningar om framtiden. Resultaten kan skilja sig avsevärt från faktiskt utfall redan efter en kort tid.

Inget av de sex scenarierna bör uppfattas som mera sannolikt än något annat. Det finns inget "medelscenario" eller "best estimate."³

Vidare rekommenderas, med tanke på osäkerheten vad avser framtida emissioner, hela bredden av IS92-scenarier som ingångsvärden till atmosfärs- och klimatmodeller snarare än något enskilt scenario.

Men inte nog med det. Man har också utfört en känslighetsanalys. Resultaten sammanfattas på följande sätt:⁴

Jämförelse mellan referens- (business-as-usual) och policy- (med politiska beslut om emissionsbegränsningen) scenarier antyder att osäkerheten i de krafter som driver emissionerna i referensscenarierna har minst lika stor effekt som osäkerheterna mellan referens- och policyfallen. Med en tidshorisont på 50 till 100 år är det svårt att skilja mellan klimatpolitiska åtgärders effekt och den förändring som den sociala och teknologiska utvecklingen resulterar i alldeles oberoende av klimatpolitiken.

Denna anspråkslöshet är, som vi kommer att finna, väl motiverad.

² 1992 IPCC Supplement. Scientific Assessment of Climate Change 1992.

³ IPCC Working Group III (WGIII/2nd/DOC, Rev 1) 1994.

⁴ IPCC Working Group III (WGIII/2nd/DOC, Rev 1) 1994.

”Medelscenariet”

Vad som oegentligt presenteras som ett ”medelscenario”, dvs. IS92a, ligger till grund för IPCC:s uppskattning av medeltemperaturförhöjningen i framtiden. (SAR, *Summary for Policymakers*, s. 5):

För IPCC:s medelemissionsscenario, IS92a, och med användande av ’det mest sannolika’ (best estimate) värdet på klimatkänsligheten,⁵ inkluderande framtida ökningar av aerosoler, förutskickar modellen en ökning av jordytans genomsnittliga temperatur i luften relativt 1990 av omkring 2°C år 2100. Denna uppskattning är ungefär en tredjedel lägre än 1990 års ’mest sannolika’ värde.

Hur sannolikt detta mest sannolika värde egentligen är beror först och främst på vilken tilltro man kan ha till ”medelscenariet” IS92a.

Det är inte så lätt att bilda sig någon klar uppfattning om detta. IPCC:s *Second Assessment Report* består av tre volymer i A4-format om sammanlagt drygt tusen sidor. Men referensscenariernas förutsättningar letar man förgäves efter. För svenska läsare finns en tabell som bilaga till *Jordens klimat förändras* (SOU 1995:96). Men eftersom tabellen är ofullständig är det omöjligt att med den som underlag bedöma scenariernas trovärdighet.

Den nödvändiga informationen finner man på ett helt annat ställe, nämligen i IPCC 1992. Data för IS92a återges här i tabell 6.1.⁶

Medelscenariet förutsätter en under drygt hundra år fortgående ekonomisk tillväxt om genomsnittligt 2,3 procent per år. Det resulterar i en nästan ofattbar välbästandsutveckling. I slutet av nästa sekel har hela jordens befolkning uppnått en levnadsstandard som överträffar den människorna i rika industriländer idag åtnjuter.

Men medaljen har en baksida. För att kunna upprätthålla sitt imponerande välbästand förbrukar framtidens människor väldiga mängder av fossila bränslen. I slutet av nästa århundrade kommer mänskligheten att tillföra atmosfären hela 20,3 miljarder ton kol om året främst i form av koldioxid från förbränning av stenkol. Per person räknat är det en högre koldioxidemission än vi gör oss skyldiga till i dagens Sverige. Och då, år 2100, gäller det alltså hela världen med dubbelt så många människor som idag.

Hundra år är en lång tid. Det är knappast möjligt att idag bilda sig någon konkret föreställning vad detta ”mest sannolika” scenario egentligen innebär.

⁵ Med *klimatkänslighet* menas jordytans genomsnittliga temperaturhöjning orsakad av en fördubbling av den ”preindustriella” koldioxidhalten, som anses ha varit 280 ppmv.

⁶ Scenarierna har sedermera uppdaterats, men korrektionerna är små och utan betydelse för det resonemang som här förs.

Tabell 6.1. Förutsättningar i IPCC:s scenario IS92a.

Tabell 6.1a – allmänna förutsättningar

Världens folkmängd 2100	11,3 miljarder
Ekonomisk tillväxt 1990–2100	2,3 % per år
Energitillgångar	12 000 EJ konventionell olja 13 000 EJ naturgas solenergi till \$0,075/kWh 191 EJ biobränslen till \$70/fat
Annat	Begränsning av SO _x , NO _x och VOC-utsläpp enligt beslutande internationella avtal
CFC	Partiell tillämpning av Montrealprotokollet. Gradvis avveckling av CFC i utvecklingsländerna till 2075

Tabell 6.1b – förändringstakter

	1990–2025	1990–2100
Energiintensitet TPER/GNP	–0,8% per år	–1,0% per år
Kolintensitet C/TPER	–0,4% per år	–0,2% per år
Kumulativa emissioner av fossilt kol, netto	285 GtC	1 386 GtC
Avskogning	678 milj. hektar	1 447 milj. hektar
Kolemissioner från avskogning	42 GtC	77 GtC

TPER = Total Primary Requirement, total primärenergi

Tabell 6.1c – värden vid olika tidpunkter

	1990	2025	2100
CO ₂ -emissioner totalt	7,4 GtC	12,2 GtC	20,3 GtC
CH ₄ -emissioner	506 Tg	659 Tg	917 Tg
N ₂ O-emissioner	12,9 TgN	15,8 TgN	17,0 TgN
CFC-emissioner	827 kt	217 kt	3 kt
SO _x -emissioner	98 TgS	141 TgS	169 TgS

1 EJ = 42 Gtoe = 42 miljarder ton oljeekvivalenter

1 GtC = 1 miljard ton kol emitterat som koldioxid

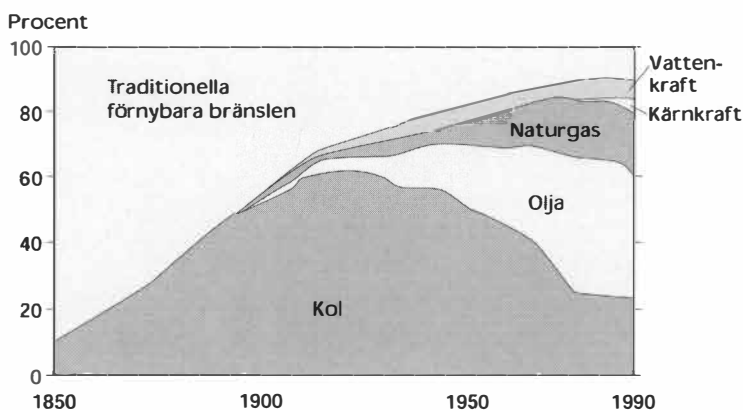
1 Tg = 1 teragram = 10¹² g = 1 miljon ton

1 kt = 1 000 ton

Scenariet förutsätter en fullkomligt hämningslös förbrukning av jordens energitillgångar. Det antas att 12 000 EJ (286 Gtoe) olja och 13 000 EJ (310 Gtoe) fossilgas kommer att kunna ställas till förfogande. Enligt IPCC:s egen bedömning *SAR*, *WGII* (s. 87) förslår inte de nu kända och exploaterbara tillgångarna varken för oljan eller för gasen, inte ens om de kompletteras med sådana framtida fyndigheter som med någon rimlig grad av sannolikhet (50 procent) förväntas komma att bli tillgängliga. Dessa resurser uppskattas av IPCC till 8 500 EJ (202 Gtoe) olja och 9 200 EJ (219 Gtoe) gas. Scenarioförfattarna förlitar sig därför på en teknisk utveckling som kommer att göra "okonventionella" olje- och gastillgångar (asfalt, oljesand och skiffrar) disponibla för lönsam produktion av energiråvaror. Men inte ens detta räcker. I scenariet förutsätts också att praktiskt taget hela den nuvarande kolreserven om 600 miljarder ton kommer att förbrukas. Det är mer än tre gånger så mycket kol som mänskligheten hittills lyckats göra av med.

Jag överlåter åt läsaren att själv avgöra huruvida ett sådant energiscenario ter sig så sannolikt att det kan "användas för att förutsäga hur framtidens klimat kommer att utvecklas".

En sak står emellertid helt klar: Det kommer inte att kunna ske utan att produktionskostnaderna stiger. De fossila bränslenas priser stiger relativt de icke-fossila alternativen. Därmed påskyndas rimligen den utfasning av fossilbränslena som nu, trots låga olje- och gaspriser, redan har pågått under mer än 20 år. Som figur 6.1 visar har fossilbränslena undan för undan förlorat marknadsandelar till icke-fossila energialternativ. Världens kärnkraftverk svarar idag för en större energiproduktion, uttryckt i oljeekvivalenter, än Saudiarabien, världens största oljeproducent.



Figur 6.1. Utfastning av fossilba bränslen.

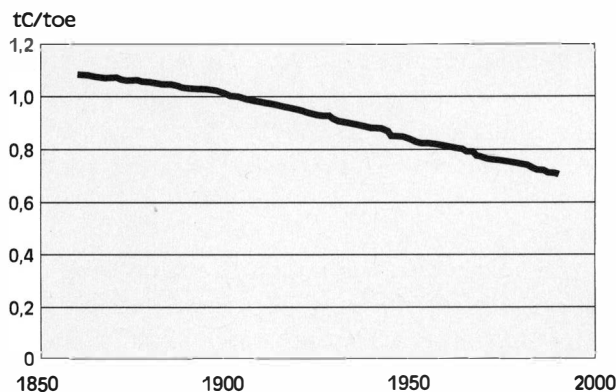
Källa: Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. WEC och IASA 1995.

Under de senaste 150 åren har det globala energisystemet gått igenom en serie struktumvandlingar. Vi har gått från brännved till kol och därifrån vidare till olja och gas. Under de senaste 30 åren har kärnkraft och solenergi i olika former tagit små men växande marknadsandelar på de fossila bränslenas bekostnad. Under hela denna tid har *kolintensiteten* sjunkit i ett tämligen jämt tempo (se figur 6.2). Vi använder med andra ord allt mindre mängd kol per utnyttjad energienhet.

Detta beror på två helt olika, men samverkande, faktorer. För det första resulterar den tekniska utvecklingen i en allt effektivare energianvändning. Det går således åt mindre energi per producerad enhet, och koldioxidutsläppen blir därför lägre än de annars skulle ha varit. För det andra svarar den struktumvandling som figur 6.1 illustrerar mot en successivt ökande användning av allt kolfattigare bränslen. Tabell 6.2 ger en uppfattning om betydelsen av denna utveckling.

Industriländerna har gått i täten och uppvisar idag genomgående högre effektivitet i energianvändningen och lägre andelar kol och brännved i bränslemixen än vad utvecklingsländerna gör. Med tanke på att "medelscenariot" förutsätter en väldig välfärdsutveckling, som kommer att göra världen i dess helhet rikare än dagens industriländer, är det egendomligt att man räknar med att denna 150-åriga trend mot lägre kolintensitet nu kommer att brytas. Enligt IS92 a är kolintensiteten nästan lika hög år 2100 som den var 1990. Skillnaden är mindre än 10 procent.

Förklaringen är helt enkelt den att man *förutsätter* ett fortsatt beroende av fossila bränslen, främst kol, och räknar med måttliga tekniska framsteg när det gäller effektivare energianvändning och utveckling av icke-fossila bränslen. Några argument för dessa antaganden anförs inte. Man förutsätter, kort sagt, det som skulle bevisas.



Figur 6.2. Kolintensiteten i världens primärenergi.

Källa: Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. WEC och IIASA 1995.

Tabell 6.2. Andelen kol per energiinnehåll för några energiformer.

energislåg	GtC/Gtoe	Anm.
brännved	1,25	icke uthållig användning
kol	1,08	
olja	0,84	
fossilgas	0,64	
biomassa	nära* 0	uthållig användning
kärnkraft	nära* 0	

Källa: WEC/IIASA 1995 s. 42

GtC = miljarder ton kol

Gtoe = miljarder ton oljeekvivalenter

*små mängder koldioxid emitteras vid primärenergiproduktionen

Om man i stället gör det rimliga antagandet att kolintensiteten även fortsättningsvis kommer att avta i åtminstone samma takt som under de gångna 150 åren, sjunker de årliga koldioxidemissionerna i slutet av nästa sekel till 14,4 GtC/år i stället för de i scenariet angivna 20,3 GtC/år. Det innebär att den atmosfäriska koldioxidhalten under hela nästa sekel kommer att ligga under det magiska värdet på 560 ppmv som betecknar en fördubbling av den "preindustriella" koldioxidhalten. Det "mest sannolika" värdet för den globala temperaturförhöjningen minskar därmed, under i övrigt oförändrade antaganden, med hela 25 procent eller till 1,5°C vid slutet av nästa sekel.

Räkneexemplet visar att IPCC:s temperaturprognoser i själva verket är mycket känsliga för förändrade antaganden om framtidens energianvändning. Världsenenergirådet (WEC) och Det internationella institutet för tillämpad systemanalys (IIASA) har nyligen i ett gemensamt arbete (WEC/IIASA 1995) kommit till samma slutsats. De har utarbetat sex olika scenarier av vilka det som betraktas som mest sannolikt ger koldioxidemissioner om 14 GtC/år i slutet av nästa sekel. Händelsevis råkar detta stämma ganska exakt med ovanstående räkneexempel. Scenariet kommenteras på följande sätt:

På det hela taget framstår, även med relativt anspråkslösa förhoppningar om teknisk utveckling, en ordnad övergång bort från användningen av fossila bränslen inte bara som fullt möjlig, den verkar också genomförbar om man beaktar energisektorn som sådan och de institutionella anpassningar som fordras och som kommer att pågå ända fram till slutet av det 21:a århundradet.

Historien upprepar sig

Till grund för Rio-konferansen låg IPCC:s rapport *Climate Change* (1990) där slutsatserna baserades på *Business-as-Usual*-scenariet. Men som redan påpekats hade detta scenario övergivits redan före Rio.

På alldeles samma sätt förhåller det sig nu med IPCC:s rapport till Kyoto-konferensen *Second Assessment Report* (1995) med de (uppdaterade) scenarierna IS92 a–f som använts för att förutsäga framtida klimatförändringar. Även dessa har nu förkastats.

En brittisk kolexpert, Ken Gregory, har av IPCC utsetts att leda arbetet med utvecklingen av helt nya emissionsscenarier. Detta uppdrag skall vara slutfört senast år 2001.

I ett öppenhjärtigt uttalande konstaterar Ken Gregory (Gregory 1997):

Problemen med de scenarier som nu finns (IS92 a–f, TRG:s anm.) orsakas delvis av den begränsade tid som stod till förfogande för att utveckla dem och den därav föranledda bristen på bidrag från ett brett spektrum av experter inom området. Efter en första allmän presentation och idédiskussion fick de ansvariga författarna bråttom att utveckla emissionsberäkningarna och hade inte möjlighet att samarbeta med utomstående granskare. Huvuddelen av tiden använde de till att utveckla ett huvudscenario och en variation av detta, men de adderade ytterligare fyra i slutspurten till det plenarmöte till vilket de förbundit sig att presentera alternativa scenarier med stor spännvidd. Beräkningarna av svaveldioxid kom också till i sista minuten. Och, som om inte detta skulle vara nog, blev detaljerna i de underliggande antagandena tillgängliga för utomstående granskare först omkring tre månader efter det att scenarierna accepterats. När vi nu tittar tillbaka på dessa scenarier kommer det därför inte som någon överraskning att de visar sig vara bristfälliga. Förhoppningsvis kommer vi att lyckas bättre den här gången.

Kan vi vänta med kostnadskrävande åtgärder?

Svaret är utan tvekan ja!

För att visa detta skall jag här genomföra ett resonemang *a fortiori*. Låt oss helt enkelt anta att vi erfarit en global temperaturförhöjning på 0,5°C och att denna till 100 procent orsakats av antropogena (av människor orsa-

kade) utsläpp av växthusgaser. Vi antar vidare att IPCC:s klimatmodeller är att lita på och ger korrekta förutsägelser om de framtida klimatförändringar som förhöjda halter av växthusgaser i atmosfären ger upphov till. Slutligen antar vi att koldioxidutsläppen växer enligt det ursprungliga *Business-as-Usual*-scenariet.⁷ Vi bortser från den kritik som riktats mot vart och ett av dessa fyra antaganden och frågar oss i stället vilka konsekvenser ett tioårigt uppskov under dessa förutsättningar skulle komma att få.

Växthuseffekten förstärks naturligtvis jämfört med vad som skulle ha varit fallet om utsläppen i stället hade hållits konstanta – men inte särskilt mycket: maximalt med knappt 7 procent och inte med mer än 1,5 procent år 2100.

En sådan liten förstärkning av växthuseffekten kommer inte att kunna påvisas ens genom vetenskapliga undersökningar. Någon praktisk betydelse får den naturligtvis inte. Varför blir effekten så liten?

För det första därför att skillnaden mellan den mängd koldioxid som skulle komma att tillföras atmosfären enligt *BAU*-scenariet under en tioårsperiod är obetydligt större än den som tillförs i stabiliseringsscenariet. För det andra därför att förstärkningen är proportionell mot *logaritmen* för koldioxidhalten, vilket gör effekten av en marginell ökning mindre än vid direkt proportionalitet.

Man kan invända att det kommer att bli svårare att införa begränsningar av koldioxidutsläppen om tio år eftersom vi då gjort oss ännu mera beroende av fossila bränslen än idag.

Observera att detta inte är något *klimatologiskt* argument utan ett energipolitiskt och ekonomiskt, och det är med all sannolikhet felaktigt.

Man torde väl tvärtom kunna hoppas på en större politisk uppslutning om och när empiriskt säkra observationer av en förstärkt växthuseffekt verkligen föreligger. För närvarande existerar som utvecklingen efter Rio- och Kyoto-konferenserna klart visar knappast förutsättningar för några *bindande* överenskommelser om en stabilisering av koldioxidutsläppen globalt sett, i synnerhet inte som utvecklingsländerna vägrar ikläda sig några sådana restriktioner.

Å andra sidan har faktiskt utsläppen ökat långsamt under hela 1990-talet. För OECD-området begränsar sig ökningen för femårsperioden 1990–95 till blygsamma 4 procent. För världen i dess helhet är den inte mer än 3 procent. Det kan kanske tilläggas att globalt sett har koldioxidutsläppen per capita varit konstanta under de senaste 25 åren.

⁷ Scenarierna IS92 a–f ligger alla under BAU.

Slutsatser

Det som ovan anförts skall inte uppfattas så att jag rekommenderar en total passivitet. Det finns otvivelaktigt risk för att av människor orsakade utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser kan komma att påverka jordens klimat. Det är sannolikt att effekterna av en sådan påverkan på det hela taget blir negativa.

Vi måste därför ta hotet om klimatförändringar på allvar. Vad jag hävdar är bara att vi både kan och bör vänta med *kostnadskrivande* åtgärder.

Det finns åtskilligt som skulle kunna göras som inte är kostnadskrävande och som i vissa fall till och med skulle kunna leda till sänkta kostnader. Vi bör t.ex. verka för att de subventioner som på många håll utgår till produktion eller till konsumtion av fossila bränslen snarast möjligt avvecklas. Vi bör kunna påskynda introduktionen av en effektivare energianvändning, särskilt i de före detta centralplanerade ekonomierna och i den tredje världen. Vi bör kunna eliminera de hinder som finns för introduktion av icke-fossila bränslealternativ.

Vi bör kunna utveckla regelsystemet för s.k. ”joint implementation”, dvs. bi- och multilaterala överenskommelser syftande till att gemensamt minska koldioxidemissionerna på ett kostnadseffektivt sätt. Och vi skulle kunna förbereda de internationella avtal som kan komma att behövas om det skulle visa sig att jordens klimat verkligen hotas av av människor orsakade emissioner av växthusgaser.

Här i Sverige skulle vi kunna bidra med att skrinlägga våra planer på en kärnkraftsavveckling. Det är tack vare våra kärnkraftverk som vi, trots hög energianvändning, bland världens industriländer har bland de lägsta koldioxidutsläppen per person räknat.

Referenser

- IPCC (1990), *Climate Change – The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (1992), *Climate Change 1992 – The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (1996a), *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (1996b), *Climate Change 1995 – Scientific-Technical Analysis of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (1996c), *Climate Change 1995 – The Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge University Press.

WEC/IIASA (1995), *Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond*. N. Nakicenovic (Study Director). WEC/IIASA Report.

Gregory K. (1997), *New Scenario Work for Greenhouse Gas Emissions*. Ecoal 2 mars 1997.

7.

Atmosfärens halt av koldioxid

Jarl Ahlbeck

Idetta kapitel presenteras en statistisk analys av data för atmosfärens koldioxidhalt för åren 1970–1996 och för antropogena koldioxidemissioner under samma tid. Med hjälp av de erhållna resultaten kan koldioxidens utbyte med biosfären och världshaven, den s.k. nettoabsorptionshastigheten, beräknas. Dessa beräkningar ger resultat som inledningsvis sammanfattas. Analysen underbyggs i fortsättningen av matematiska formler med förklarande text för den som mer detaljerat önskar följa argumenteringen.

Av den koldioxid människan släpper ut i atmosfären stannar bara en mindre del kvar i luften. Denna bråkdel brukar kallas *airborne fraction* och uppges i den senaste IPCC-rapporten vara 46 procent.

Analysen visar att koldioxidemissionerna under perioden 1970–1996, för vilken det finns goda data, har vuxit linjärt med tiden. Det betyder att de kan beskrivas med en rät linje. På motsvarande sätt visas att atmosfärens koldioxidhalt också vuxit linjärt. Den årliga ökningen i atmosfärens koldioxidhalt har därför under perioden varit (ungefärligen) konstant vilket innebär att *airborne fraction* avtagit alltefter som koldioxidhalten stigit.

Genom att beräkna vid vilken koldioxidhalt systemet är i jämvikt, dvs. då koldioxidhalten i atmosfären är konstant eller, som det heter, "preindustriell", kan analysen kontrolleras. Det värde som erhålls, 277 ppmv, svarar precis mot vad IPCC på helt andra vägar erhållit för den förindustriella halten av koldioxid.

En framskrivning av resultaten till år 2100 kan också göras. Jag är väl medveten om att alla sådana prediktioner är osäkra. Resultaten presenteras i figur 7.2. En direkt framskrivning – business-as-usual – av nuvarande utvecklingstrend (LEXP) ger ett värde som väsentligen underskider en fördubbling av den förindustriella koldioxidhalten. IPCC:s medelscenario IS92a (se kapitel 1, figur 1.2 och tabell 1.1 för detaljer) ger ett aningen högre värde men mycket lägre än det av IPCC beräknade.

Intressant är också att om man gör tankeexperimentet att alla koldioxid-emissioner stoppade år 2000 skulle atmosfärens koldioxidhalt sjunka successivt så att den år 2100 återigen är nära den förindustriella nivån.

Linjär ökning av atmosfärens koldioxidhalt sedan år 1970

Om man statistiskt med hjälp av multipelregressionsanalys analyserar atmosfärens koldioxidkoncentration för perioden 1970–1996 (data från *Carbon Dioxide Information Center*) kan man konstatera att atmosfärens koldioxidhalt har stigit från 325 till 362 ppmv (ppmv = miljondelar i avseende på volym). Analysen visar att ökningen under denna period varit *linjär* då en av analysen föreslagen kvadratisk term eliminerades ur analysen såsom statistiskt insignifikant. Det linjära sambandet kan skrivas:

$$C_a = a_0 + a_1 \Delta t \quad (1)$$

där C_a = atmosfärisk koldioxidkoncentration (ppmv), $\Delta t = t - 1970$ (år). Regressionskoefficienterna är: $a_0 = 324$ och $a_1 = 1,46$ för perioden 1970–1996. Standardavvikelsen för a_1 är 0,02.

Om man anser att denna koldioxidkoncentration är representativ för hela atmosfären, brukar man multiplicera den med omräkningsfaktorn 2,123 GtC/ppmv (GtC-miljarder ton kol) för att erhålla massan av kol i atmosfären, m_a (GtC), vilket leder till:

$$m_a = d_0 + d_1 \Delta t \quad (2)$$

där $d_0 = 688$ och $d_1 = 3,1$. Standardavvikelsen för d_1 är 0,04.

Linjär ökning av antropogena koldioxidemissioner sedan år 1970

Enligt Marland et al. (1994) och Jefferson (1997) har de antropogena emissionerna av koldioxid ökat stadigt sedan år 1970. Om vi antar att bidraget från avskogning har varit ca 1,6 GtC/a som är en allmänt använd siffra, bl.a. av IPCC (1996), har de totala antropogena koldioxidemissionerna ökat från ca 5,7 GtC/a år 1970 till ca 8,1 GtC/a år 1996 med två hack i kurvan: energikrisen under slutet av 1970-talet och förändringarna i Östeuropa under början av 1990-talet.

En statistisk analys av dessa data ger att ingen kvadratisk term är statistiskt signifikant. Sambandet är följaktligen linjärt och kan skrivas:

$$F_{em} = b_0 + b_1 \Delta t \quad (3)$$

där F_{em} är den totala antropogena koldioxidemissionen (GtC/a), regressionskoefficienterna $b_0 = 5,86$ och $b_1 = 0,085$. Standardavvikelsen för b_1 är 0,004.

Endast en del har ackumulerats i atmosfären

Derivatan av ekvation (2) är ett mått på ackumuleringshastigheten av antropogent kol i atmosfären:

$$F_{acc} = \frac{d_{ma}}{d\Delta t} = d_1 \quad (4)$$

där F_{acc} är ackumuleringshastigheten (GtC/a) som alltså har varit konstant. Det som inte har ackumulerats i atmosfären har absorberats av världshavet och biosfären, den s.k. koldioxidsänkan. Nettoabsorptionshastigheten fås av balansen:

$$F_s = F_{em} - F_{acc} = b_0 - d_1 + b_1 \Delta t \quad (5)$$

där F_s är nettoabsorptionshastigheten (GtC/a).

Eftersom både ekvation (2) och ekvation (5) innehåller Δt kan tiden elimineras från ekvationerna. Vi får då i stället ett uttryck för hur atmosfärens halt av koldioxid, eller atmosfärens totala innehåll av kol, påverkar absorptionshastigheten. Enligt välkända lagar från fysikalisk kemi och biologi bör absorptionshastigheten i såväl vätska som i växtlighet vara beroende av partialtrycket koldioxid. På grund av systemets komplexitet är det svårt att säga vilken struktur detta samband har. Vår statistiska analys ger emellertid ett enkelt linjärt samband:

$$F_s = g_0 - g_1 m_a \quad (6)$$

$$\text{där } g_0 = b_0 - d_1 - \frac{b_1 d_0}{d_1} = -16,1 \quad (7)$$

$$\text{och } g_1 = \frac{b_1}{d_1} = 0,0274 \quad (8)$$

Ett ypperligt test på om ekvation (6) har samband med verkligheten kan fås genom att sätta absorptionshastigheten till noll och beräkna vilken mängd atmosfäriskt kol eller vilket partialtryck koldioxid som skulle ge att nettoabsorptionshastigheten är noll eller att systemet är i jämvikt. Vi erhåller $16,1/0,0274 = 587,6 \text{ GtC}$.

Division av 587,6 GtC med konversionsfaktorn 2,123 GtC/ppmv ger 277 ppmv som jämviktskoncentration koldioxid! Den statistiska analysen av de bästa data man idag kan uppbringa för perioden 1970–1996 visar att antagandet om en förindustriell nivå på ca 280 ppmv förefaller riktigt. Dessutom verifierar kalkylen det faktum att nettoabsorptionshastigheten inte kan vara långt från en linjär funktion av partialtrycket koldioxid. Även om vi använder kraftigt avvikande värden från 1,6 GtC/a för bidraget från avskogning kommer vi till nästan samma slutresultat.

Relativ sänka och atmosfärisk andel

Den relativa sänkan $f_s = F_s / F_{em}$ kan nu kalkyleras från regressionskoefficienterna varvid erhålls:

$$f_s = 1 - \frac{d_1}{b_0 + b_1 \Delta t} \quad (9)$$

Insätter vi numeriska värden får vi 47 procent för år 1970 och 61,5 procent för år 1996. Det s.k. 95-procentiga konfidensintervallet, eller det intervall inom vilket det ”verkliga” värdet befinner sig med 95 procents sannolikhet är 43–51 procent respektive 59–64 procent. Den ökande trenden för den relativa sänkan är med andra ord statistiskt signifikant.

På motsvarande sätt fås den atmosfäriska andelen (airborne fraction) som $1 - f_s$. Figur 7.1. visar hur denna minskat från 53 procent till 38,5 procent under åren 1970–1996. Inritade i diagrammet är även 95 procent konfidensintervall.

Vad skulle det betyda om vi i likhet med IPCC skulle anse att den relativa sänkan och den atmosfäriska andelen skulle vara konstanta?

Då emissionerna har ökat linjärt kan en allmän massbalans kan skrivas:

$$\frac{dm_a}{d\Delta t} = F_{em} - F_s = F_{em}(1 - f_s) = (b_0 + b_1 \Delta t)(1 - f_s). \quad (10)$$

Separation av variablerna och integration ger:

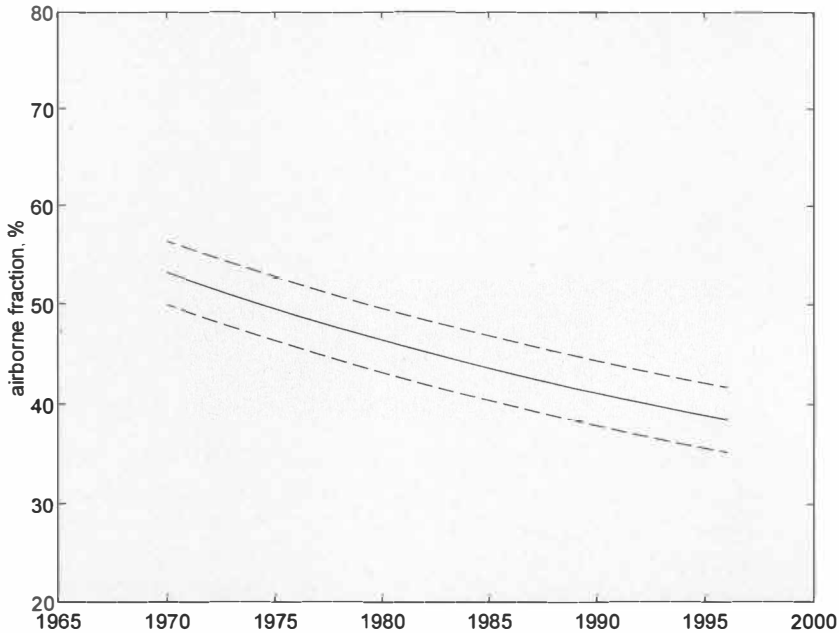
$$\int_{m_a(1970)}^{m_a(1970+\Delta t)} dm_a = b_0 \int_0^{\Delta t} (1-f_s) d\Delta t + b_1 \int_0^{\Delta t} (1-f_s) \Delta t d\Delta t \quad (11)$$

Sätter vi nu in ett konstant värde för den relativa sänkan erhålls:

$$m_a(1970 + \Delta t) = m_a(1970) + (1-f_s)b_0\Delta t + (1-f_s)b_1 \frac{\Delta t^2}{2} \quad (12)$$

Om den relativa sänkan skulle ha varit konstant, vilket IPCC:s analyser implicerar, borde koldioxidkurvan för åren 1970–1996 ha utgjorts av ett parabelsegment med en positiv, signifikant andragskoefficient. *Men den andragskoefficient som regressionsanalysen ger är insignifikant.* Tillgängliga data visar alltså entydigt att den relativa sänkan bör ha ökat och att den atmosfäriska andelen bör ha minskat.

Vi måste dessutom ifrågasätta en eventuell teoretisk bakgrund för en konstant relativ sänka då detta skulle innebära att absorptionshastigheten (i GtC/a) skulle vara beroende av tidsderivatan för atmosfärens partialtryck koldioxid i stället för av själva partialtrycket.



Figur 7.1. Atmosfärisk andel (%) för åren 1970–1996 med 95 procents konfidensintervall.

Kalkyler för nästa århundrade

Om vi vill estimerar halten koldioxid i atmosfären under nästa århundrade enbart med utnyttjande av statistiska data för 1970–1996 och utan att använda oss av fysikaliska modeller måste vi:

- anta att sambandet mellan absorptionshastigheten och atmosfärens partialtryck av koldioxid förblir samma som åren 1970–1996, vilket är ett rimligt antagande då vi redan visat att en extrapolation bakåt prickar den förindustriella nivån.
- göra en intelligent gissning av hur de antropogena emissionerna kommer att utvecklas.

Vi definierar ett nytt tidsintervall, Δt , som är noll för år 2000 och 100 för år 2100. För de antropogena koldioxidemissionerna gäller följande ekvation:

$$F_{em} = F_{em,0} + b\Delta t \quad (13)$$

där $F_{em,0}$ är de totala antropogena koldioxidemissionerna år 2000 eller ca 8,41 GtC/a. Koefficienten b kan ges ett negativt värde för minskande emissioner, noll för oförändrade emissioner eller ett positivt värde för ökande.

Vi skriver därefter massbalansen enligt:

$$\frac{dm_a}{d\Delta t} + F_s = F_{em} \quad (14)$$

eller

$$\frac{dm_a}{d\Delta t} + g_1 m_a = b\Delta t + F_{em,0} - g_0 \quad (15)$$

Lösning av differentialekvationen och insättning av randvillkoret $m_a = m_{a,0}$ (ca 781 GtC eller 368 ppmv) för $\Delta t = 0$ (år 2000) ger oss atmosfärens innehåll av kol som funktion av tiden enligt:

$$m_a(\Delta t) = \frac{b\Delta t}{g_1} + m_{a,0} \exp(-g_1\Delta t) + \left[\frac{F_{em,0}}{g_1} - \frac{b}{g_1^2} - \frac{g_0}{g_1} \right] \cdot [1 - \exp(-g_1\Delta t)] \quad (16)$$

Division med faktorn 2,123 GtC/ppmv ger sedan atmosfärens koncentration av koldioxid i ppmv.

Modellen är enbart baserad på statistiska data för åren 1970–1996. Den utnyttjar inga andra samband, inte ens kännedomen om att den förindustriella nivån varit ca 280 ppmv. Trots detta klarar modellen av att räkna ut den förindustriella nivån.

Scenariet IS_{92a}

För detta av IPCC använda scenario gäller $b \cong 0,1146$. Koldioxidkoncentrationen enligt detta scenario visas i figur 7.2. (IS92a). Resultatet är att koncentrationen år 2100 är ca 549 ppmv, vilket är långt under det värde på över 700 ppmv som anges av IPCC (1996) s. 23, figur 5 (b).

Fortsatt linjär ökning av koldioxidutsläpp

Om de antropogena koldioxidutsläppen fortsätter att öka som under åren 1970–1996, ger modellen (givetvis) att atmosfärens koncentration av koldioxid fortsätter att öka i precis samma takt som tidigare. Koncentrationen år 2100 blir ca 514 ppm. $b = b_1 = 0,085$. Se figur 7.2 (LEXP).

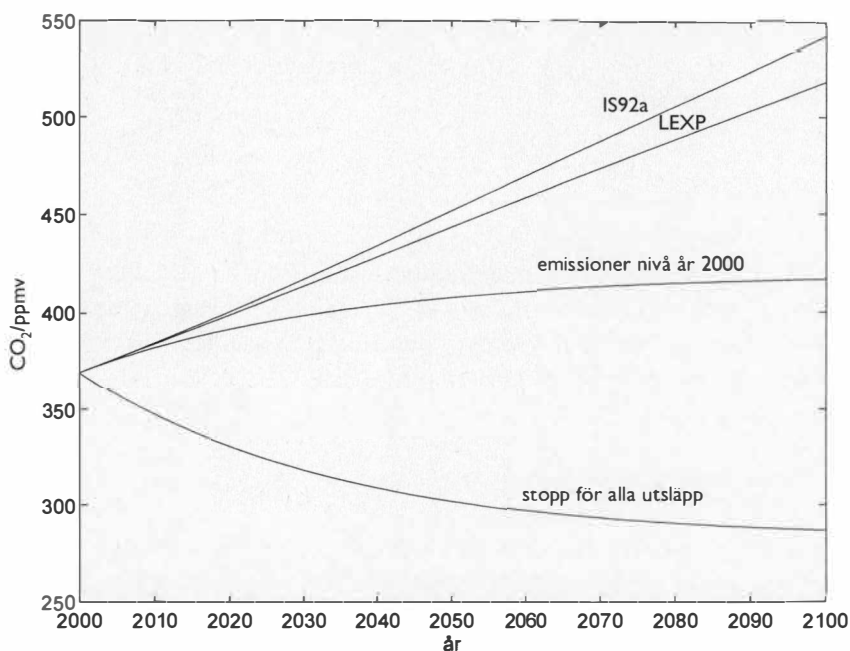
I likhet med IS92a förefaller LEXP orealistiskt då användningen av fossila bränslen skulle vara över 15 GtC/a år 2100. I så fall skulle över 1000 GtC av de kvarvarande reserverna från år 2000 ha blivit använda. De totala reserverna (kända och hypotetiska) torde för tillfället vara ca 1 500 GtC (Treutlein och Ahlbeck 1997). Även avskogningshastigheten skulle hållas vid 1,6 GtC/a.

Ingen ökning av emissionerna efter år 2000

Inte heller denna utveckling är sannolik, någonting mellan LEXP och ingen ökning kanske vore den bästa gissningen. Vi sätter då $b = 0$ och får 416 ppmv för år 2100, se figur 7.2.

Stoppa alla utsläpp

För att testa modellen gör vi tankeexperimentet att alla emissioner stoppas år 2000 genom att sätta både $F_{em,0}$ och b till noll. Då sjunker atmosfärens koldioxidhalt småningom till förindustriell nivå, se figur 7.2.



Figur 7.2. Estimerad koldioxidkoncentration (ppmv) i atmosfären under nästa århundrade.

Referenser

- IPCC (1996), *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Jefferson, M. (1997), Carbon dioxide emissions 1990–1996, *WEC Journal*, juli 1997.
- Marland, G., Andres, R.J., Boden, T.A. (1994), *Global, regional and national CO₂ emissions (+update)*, Carbon Dioxide Information Center.
- Treutlein, S., Ahlbeck, J. (1997), *Fossil Fuel Resources*, Abo Akademi University, Process Design Laboratory, report 97-15-B.

BETECKNINGAR

a_0	regressionsterm, intercept	ppmv
a_1	regressionskoefficient	ppmv a ⁻¹
b_0	regressionsterm, intercept	GtC a ⁻¹
b_1	regressionskoefficient	GtC a ⁻²
C_a	koncentration koldioxid i atmosfär	ppmv
d_0	regressionsterm, intercept	GtC
d_1	regressionskoefficient	GtC a ⁻¹
F_{acc}	ackumulationshastighet	GtC a ⁻¹
F_{em}	emissionshastighet	GtC a ⁻¹
F_s	nettoabsorptionshastighet	GtC a ⁻¹
f_s	relativ sänka	
g_0	modellkoefficient	GtC
g_1	modellkoefficient	a ⁻¹
h	öknings/minskningshastighet	GtC a ⁻²
m_a	kolmängd i atmosfär	GtC
t	tid	a
Δt	tidsintervall: $t - 1970$ eller $t - 2000$	a

8.

Den problematiska växthuseffekten

Richard S. Lindzen

I klimatsammanhang syftar uttrycket *växthuseffekt* på det tämligen vaga påståendet att jordens atmosfär är relativt transparent för den infallande solstrålningen men förhållandevis ogenomtränglig för den infraröda värmestrålningen som jordytan emitterar. Det senare beror på att atmosfären innehåller gaser som absorberar den infraröda strålningen. Dessa s.k. växthusgaser utgörs huvudsakligen av vattenånga och kondenserat vatten i form av moln men också av koldioxid, metan, kväveoxider och ozon. Jordytans temperatur blir därför högre än den annars skulle vara. I frånvaro av växthusgaser skulle nämligen den inkommande solstrålningen balanseras vid en lägre temperatur än den i verkligheten förekommande. Som bevis för denna uppfattning har anförts att jordytan faktiskt är varmare än om atmosfären inte existerade. Det hävdas dessutom denna s.k. växthuseffekt innebär att ökade koncentrationer av växthusgaser måste höja jordytans temperatur. Figur 1 i IPCC 90 illustrerar denna uppfattning – men den fokuseras uteslutande på utväxlingen av strålningsvärme och är oriktig också i det avseendet. Resonemanget har en lång historia som går tillbaka till Fourier och Arrhenius (1896) på 1800-talet.

Det finns emellertid många skäl att ifrågasätta denna hypotes. Några av de viktigaste är följande:¹

1. Den grundläggande växthusprocessen är inte enkel. Det är först och främst inte bara en fråga om gaser som absorberar värmeutstrålningen och därigenom håller jorden varm. Om så vore skulle den naturliga växthuseffekten vara fyra gånger så effektiv som den i själva verket är. I verkligheten kyls jordens yta av avdunstning och av luftmassor i rörelse. Båda bidrar till att bära värmen uppåt och ut mot polerna. Därmed kringgås mycket av

¹ En allmän granskning av klimatets fysik återfinns i Lindzen (1994).

atmosfärens absorption av värmestrålning. Växthuseffekten beror i själva verket på dessa rörelser liksom på koncentrationerna av växthusgaser över de nivåer där luftströmmarna deponerar värmen. Avgörande är också temperaturfördelningens detaljerade utseende på de aktuella nivåerna. Allt detta innebär grundläggande osäkerheter som är betydande och som introducerar felkällor i klimatmodellerna. Felen är så stora att de framträder redan vid en jämförelse med de grova empiriska data som nu finns att tillgå.

2. Den viktigaste växthusgasen är vattenånga. Procentuella förändringar i halten av denna gas är relativt sett viktiga på alla nivåer i atmosfären åtminstone upp till 16 kilometers höjd, trots att koncentrationen av vattenånga är tusentals gånger mindre där uppe än vid jordytan. Grovt talat motsvarar förändringar i relativ fuktighet av storleksordningen 1,3–4 procent effekten av en fördubblad koldioxidhalt. Osäkerheten i mätningarna av förändringar av vattenångans halt är större än 10 procent. Det förtjänar påpekas att felen i klimatmodellernas förutsägelser systematiskt överskrider mätfe-len. Det bör dessutom tilläggas att strålningseffekten av vattenånga är icke-linjär (dvs. effekten är inte direkt proportionell mot koncentrationen, förf. anm.). Små förändringar i torra regioner spelar en mycket större roll för strålningsbalansen än förändringar i fuktiga regioner. För de torra regionerna är mätningarna som osäkrast.

3. Den *direkta* inverkan av en fördubbling av koldioxidhalten på jordytans medeltemperatur är ganska liten, i storleksordningen $0,3^{\circ}\text{C}$ (Lindzen, 1995). Att prognosvärden är högre beror på "positiv återkoppling" (se nedan) främst orsakad av temperaturen i den övre atmosfären och av vattenångan, som båda tenderar att väsentligt förstärka effekten av en ökad koldioxidhalt. Bägge dessa faktorer förekommer i klimatmodeller med osäkerheter som sannolikt betydligt överskrider effekten av en fördubblad koldioxidhalt.

Ovanstående punkter är knappast ifrågasatta. Det mesta är läroboksmaterial, och visar att förekommande mätfel och osäkerhet i våra kunskaper om de grundläggande fysikaliska processerna är storleksordningen större än den klimatpåverkan som i modellprognoserna svarar mot en antagen fördubbling av koldioxidhalten. Vad diskussionen gäller är om detta innebär att det prognosticerade svaret på en ökad koldioxidhalt är *signifikant*. Här förekommer det meningsskilljaktigheter. De som utvecklar och använder stora klimatmodeller försvarar sina resultat och bortser ofta från ovanstående invändningar. Teoretiker och dataanalytiker är vanligtvis mer skeptiska.

Ordet *signifikant* bör betonas. Den globala medeltemperaturen fluktuerar med $0,25^{\circ}\text{C}$ och mer utan att någon tar större notis om det. Det är

konstigt att företrädare för skilda uppfattningar i sådana frågor skall betecknas som "contrarians" och "consensi". Förklaringen finner man i den semantiska förvirring som kommer sig av att man inte skiljer mellan det naturliga consensus (samförstånd) som uppstår inom ett område och ett forceerat sådant.

Det bör tilläggas att det finns många teoretiska analyser och empiriska iakttagelser som starkt tyder på att klimatmodellerna avsevärt överdriver betydelsen av en ökad koldioxidhalt. Men här räcker det med konstaterandet att det varken finns en på observationer grundad anledning att oroa sig för klimatförändringar eller en trovärdig teoretisk grund för sådana farhågor. Uttalat stöd för de populära klimatsceniarierna bygger i detta avseende på tro snarare än vetenskap.

Det consensus som avser observerade förändringar i den globala genomsnittstemperaturen är till stor del ett naturligt consensus – temperaturen har ökat med $0,45 \pm 0,15^\circ\text{C}$ sedan slutet av 1800-talet. Detsamma gäller samstämmigheten om ökningen av atmosfärens koldioxidhalt, som tycks ha ökat från 280 ppmv på 1800-talet till 360 ppmv idag. Consensus rörande modellsvaret på en ökande koldioxidhalt är däremot forcerat. Bohmer-Christiansen (1994) beskriver den frågan.

Syftet med det här kapitlet är att undersöka växthushypotesen mera ingående och presentera en mera korrekt redogörelse syftande till att illustrera den underliggande hypotesens komplexitet och blottlägga dess verkliga och potentiella svagheter. Få ämnen har lidit mer av överförenkling. I syfte att här undvika detta ger vi ett antal referenser till den vetenskapliga litteraturen. För att underlätta användningen av referenserna citeras specifika siffror.

Värmejämvikt för en jord utan atmosfär

Solen uppträder ungefär som en "svart kropp" vars strålningsflöde från ytan ges av Stefan-Boltzmanns strålningslag.² Detta flöde träffar jorden, som

² "Svart kropp" är ett fysikaliskt begrepp som används för att beskriva strålningsegenskaper. Strålningsflödet bestäms av solens temperatur som är $5\,783^\circ\text{K}$ och solens yta som beräknas från solens radie, $6,599 \cdot 10^5\text{ km}$. Stefan-Boltzmanns lag säger att strålningsflödet från en svart kropp ges av uttrycket σT_s^4 där σ är konstanten i Stefan-Boltzmanns strålningslag ($5,67032 \cdot 10^{-8}\text{ Wm}^{-2}\text{ K}^{-4}$). Flödet hänför sig till utstrålningen per ytenhet. På jordens avstånd från solen, $r_{es} = 1,4960 \cdot 10^8\text{ km}$, är därför detta flöde reducerat med faktorn $(r_s/r_{es})^2$. Jordens yta har tvärsnittet $a_{cs} = \pi r_e^2$ där r_e är jordens radie ($6,378388 \cdot 10^3\text{ km}$) och därmed uppfångar $a_{cs} \sigma T_s^4 (r_s/r_{es})^2$ strålning från solen. För att kunna balansera den mottagna strålningen måste jorden värmas upp till en temperatur T_e , där $\sigma T_e^4 \pi r_e^2 = a_{cs} \sigma T_s^4 (r_s/r_{es})^2$. Hela jordytans utstrålning skall balansera det infallande solljuset på dess tvärsnitt, som är 1/4 av hela ytan. Insättning av aktuella värden ger därvid $T_e = 272^\circ\text{K}$.

också har ett utgående flöde som bestäms av den temperatur, T_e , jorden så att säga visar mot rymden. För att kunna balansera den mottagna strålningen måste jorden värmas upp till en temperatur T_e som för en jord utan atmosfär kan beräknas till $T_e = 272^\circ\text{K}$. Denna temperatur är överraskande nära jordens verkliga medeltemperatur som för närvarande är 288°K . Något inkonsekvent påpekas att molnen (som ju kräver förekomsten av en atmosfär) och andra egenskaper hos jorden reflekterar 31 procent av den mottagna strålningen. Om man tar hänsyn till detta reduceras T_e till 255°K .

Atmosfärens strålningsroll

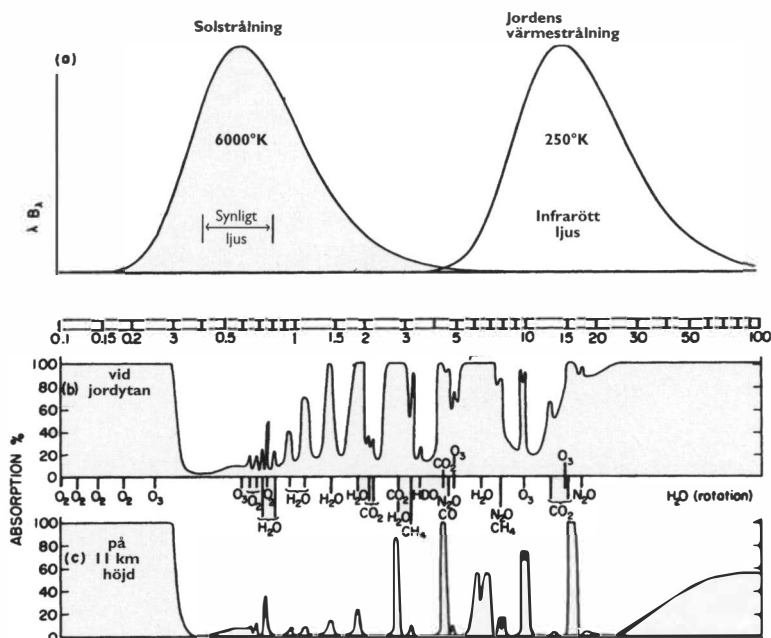
Den spektrala fördelningen av strålning från en svart kropp är given av Plancks strålningslag.³ Denna ger för olika för kroppar, solen vid $T_s = 5\,783^\circ\text{K}$ och jorden vid $T_e = 255^\circ\text{K}$, de båda fördelningarna framgår av figur 8.1a som är hämtad från Goody och Yung (1989). Spektra är väl separerade. Figur 8.1b och 8.1c från samma källa visar det atmosfäriska absorptionsspektrum för den totala atmosfären över markytan och för atmosfären över 11 km. Den senare höjden motsvarar den karakteristiska höjden för tropopausen. Som framgår av figuren förekommer en relativt liten absorption av synligt ljus, även om gaser som ozon, syre och kväve absorberar ultraviolett strålning framför allt i den övre atmosfären. Å andra sidan ligger jordens utstrålning främst i den infraröda sektorn där absorptionen är omfattande främst genom vattenånga, men andra gaser som koldioxid, ozon och metan bidrar där vattenångans absorption är svagare.

Om atmosfären skulle kylas enbart genom strålning skulle varje skikt av atmosfären absorbera infraröd strålning och emittera strålning som motsvarar skiktets temperatur. För att jordytan skall kunna kylas måste den vara varmare än luften ovanför, och på samma sätt måste varje skikt vara varmare än luften omedelbart över det. Temperaturen måste avta med höjden tills ogenomskinligheten i luften ovanför blir tillräckligt liten för att strålningen skall kunna strömma direkt ut i rymden. I själva verket är utstrålningen till rymden kännetecknad av atmosfärens temperatur på ungefär ett optiskt djup avstånd från atmosfärens översta lager. (Ett optiskt djup av 1

³ Plancks strålningslag ges av uttrycket

$$B\lambda(\theta) = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{e^{hc/k\lambda\theta} - 1}$$

där h är Plancks konstant ($6,626176 \cdot 10^{-34}$ Joule-sekunder), c är ljusets hastighet ($2,997924580 \cdot 10^5$ km s⁻¹), λ är våglängden och θ den absoluta temperaturen i $^\circ\text{K}$.



Figur 8.1. Atmosfärisk absorption. (a) Svartkroppskurvor för solstrålning vid ca 6 000°K och jordens värmestrålning vid ca 250°K. (b) Atmosfäriskt absorptionspektrum för solinstrålning som når marknivån. (c) Samma för strålning som når den tempererade tropopausen. Skalan är vald så att områden i (a) är proportionella mot strålningsenergin. Integrerad över jordens yta och över alla rymdvinklar är strålningsflödena från solen och jorden lika stora; därför är de båda svartkroppskurvorna ritade med samma ytor. Förhållandena är typiska för medellatituder och för en solhöjd över havsytan på 40° eller för en diffus utstrålning från jorden. Efter Goody och Yung (1989).

motsvarar den väg över vilken strålningen dämpas med en faktor $1/e \sim 0,368$.) Situationen illustreras i figur 9.10 i Goody och Yung (1989). En sådan strålningsjämvikt motsvarar en genomsnittlig temperaturer vid jordytan på omkring 350°K, dvs. är en mycket högre temperatur än vad som observeras. Därtill kommer att atmosfärens temperatur ökar med höjden över tropopausen på grund av det infallande ultraviolettera ljusets direktabsorption i stratosfärens och mesosfärens ozon.

Som Emden (1913) redan för länge sedan framhållit är temperaturprofiler för strålningsjämvikt i sig omöjliga eftersom de fordrar att temperaturen avtar så snabbt med höjden att atmosfären blir instabil med avseende på vertikal konvektion (uppåtgående luftströmmar).

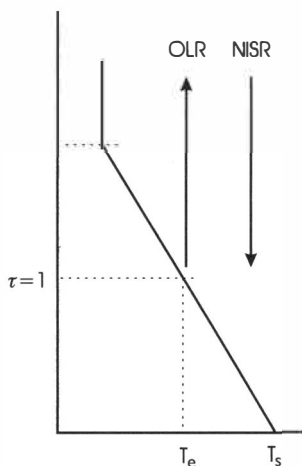
Konvektionens roll

Det problem som här beskrivits kringgår man emellertid i klimatmodellerna men hjälp av ett enkelt trick. Den vertikala temperaturgradienten i troposfären likställs helt enkelt med det *observerade* medelvärde och inte med något värde som skulle kunna förknippas med konvektionen som sådan. Trots detta betecknas proceduren som *konvektiv anpassning*. Vad detta innebär visas i Möller och Manabe (1961), (återgiven som figur 6 i Lindzen, 1994). Det beräknade värdet på jordytans temperatur ligger nu i närheten av det observerade medelvärde om 288°K. Men man kan knappast kalla detta för prediktion. Den vertikala temperaturprofilen har ju speciellt valts för att stämma med observationerna, samtidigt som latituden, och därmed förknippad solinstrålning, fastställts för att svara mot den observerade medeltemperaturen. I all sin enkelhet visar resultatet bara att jordens yta, och för den delen de lägre lagren i atmosfären, *inte kyla av främst genom utstrålning*. Snarare är det de atmosfäriska luftströrelserna som bär värmen uppåt och, i en vederbörligen tredimensionell värld, också ut mot polerna (figur 7, Lindzen, 1994). En bättre men likafullt endimensionell bild ges i figur 1.3 i IPCC 95. Denna figur visar att avkylning genom strålning från markytan i stort sett uppvägs av infrarött återflöde från atmosfären. Netotokylningen åstadkoms därför främst genom avdunstning. Men värmeöverföring i luften är också viktig.⁴ I bägge processerna bärs värme uppåt i atmosfären dels av luftströmmar som lyfter den uppvärmda luften, dels av den storskaliga luftcirkulation som för värmen såväl uppåt som ut mot polerna. Komplexiteten i dessa rörelsesystem uppenbarar att "konvektiv anpassning" är en grov överförenkling och dessutom en vilseledande beteckning. Begreppet "konvektiv anpassning" implicerar ett händelseförlopp i vilket strålningen producerar en konvektivt instabil profil som sedan bryter ihop. Men om man tillåter en horisontell lika väl som en vertikal dimension, kan de horisontella variationerna i solinstrålningen ge upphov till rörelsesystem som automatiskt leder till en stabil stratifiering, vilket i sin tur gör det möjligt att eliminera behovet av en enkel vertikal konvektion. Undantaget finner man främst i tropikerna där förekomsten av luftfuktighet och förändringarna i dess halt innebär stabilitetsvillkor, som även om det skulle vara stabilt i frånvaro av fuktighet tenderar att göra konvektionssystemet instabilt. Som vi skall förklara i följande avsnitt, spelar användningen av konvektiv anpassning en viktig roll för den beräknade effekten av växthusgasernas ökade halter.

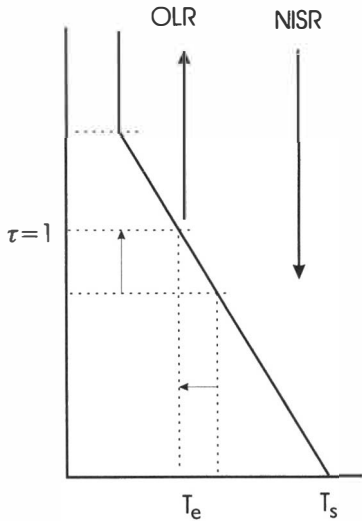
⁴ Värmeöverföring hänför sig till transport av uppvärmd luft under det att avdunstning svarar mot transport av värme i latent form. Värmeutvecklingen äger ju rum först när vattenånga kondenserar.

Betydelsen av den vertikala kopplingens dynamik för växthuseffektens förstärkning

Eftersom växthusgaser förekommer i jordens atmosfär motsvarar dess strålningstemperatur inte medeltemperaturen på jordytan utan i stället temperaturen på en högre nivå, ungefärligen vid ett optiskt djup ned i atmosfären. Vi skall kalla denna nivå z_e . Om man uppskattar emissionsnivån från en typisk klimatmodell (General Circulation Model, GCM) finner man att nivån varierar med platsen men att den i allmänhet ligger nära 500 mb (eller 5,5 km). Det aktuella värdet beror på modellens fördelning av vattenånga och det är en kontroversiell fråga. Det är lämpligt att överväga den roll de förändrade koncentrationerna av växthusgaser spelar utgående från emissionsnivåerna. I figur 8.2 ser vi situationen för en ostörd atmosfär, som ger en principiell bild av växthuseffekten. Nettoinstrålningen från solen (NISR) måste balansera från jorden utgående långvågig strålning (OLR). Emissionstemperaturen T_e motsvarar atmosfärens temperatur på optiska djupet $\tau = 1$ för infrarött ljus. Figur 8.3 visar situationen vid en högre halt av växthusgaser. Uppenbarligen har man genom att öka mängden gas (eller växthusgaser) som absorberar infraröd strålning höjt den nivå vid vilken det optiska djupet 1 inträffar. Eftersom temperaturen på sådana nivåer avtar med höjden blir emissionstemperaturen, T_e , nu lägre. (För en fördubbling av koldioxid höjs nivån omkring 50 m.) Den långvågiga utstrålningen balanserar därför inte längre den inkommande solstrålningens netto. För att återställa jämvikten måste temperaturen på den nya höjden z_e höjas så att den uppgår till den ursprungliga emissionstemperaturen.

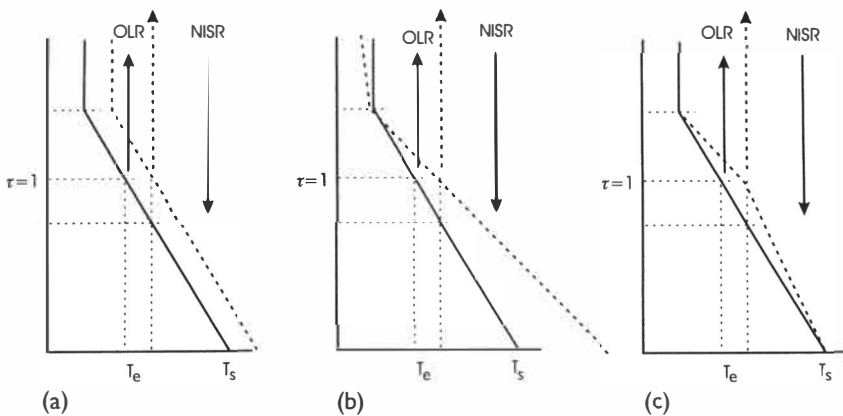


Figur 8.2. Strålningsbalans högst uppe i atmosfären. Se detaljer i texten.



Figur 8.3. Obalansen är ett resultat av att man adderar upp till växthusnivåerna. Se detaljer i texten.

Relationen mellan temperaturförändringen på detta nya z_e och temperaturförändringen vid jordytan är emellertid beroende av den dynamiska kopplingen mellan de två nivåerna. Därför illustrerar vi i figur 8.4 tre olika förändringar i temperaturen, vilka alla tillåter förekomsten av jämvikt. I figur 8.4a behåller vi temperaturprofilen oförändrad samtidigt som vi höj-



Figur 8.4. Denna figur visar några av de sätt på vilka obalansen i figur 8.3. kan korrigeras. Se detaljer i texten.

er temperaturen överallt. Som påpekats av Lindzen (1995) leder detta till en mycket liten temperaturhöjning ($0,3^{\circ}\text{K}$) vid en fördubbling av koldioxidhalten. Problemet med denna ansats är att stratosfären, som ju från början befinner sig i ungefärlig strålningsjämvikt, måste kylas när koldioxidhalten ökas. I figur 8.4b tillåter vi detta genom att ändra det troposfäriska temperaturfallet (med stigande höjd) i syfte att bevara kontinuiteten vid stratosfären. Detta ger en mycket större effekt vid jordytan än i föregående exempel.⁵ Men man kan naturligtvis alltid uppnå jämvikt genom att förändra temperaturen vid z_e utan att alls ändra jordytans temperatur. Detta visas i figur 8.4c. En sådan situation inbegriper möjligheten att jorden reagerar på olika sätt vid förändringar i solinstrålningen (med direkt inverkan på jordytan) och vid förändringar i växthusgasernas halter.

Sammanfattningsvis kan man räkna med att den temperaturförändring som uppstår vid jordytan är kritiskt beroende av den vertikala kopplingens dynamik i troposfären och av dess natur. Användandet av konvektiva anpassningar utgår emellertid från att denna koppling är låst.

Vertikal koppling i naturen och i modellerna

Att det finns ett betydande mått av vertikalt oberoende i atmosfärens värmestruktur är välkänt. Figur 1 i Lee och Mak (1994) visar detta mycket tydligt. Mönstret för variationer i den statiska stabiliteten är tydligt annorlunda i 900–700 mb-skiktet nära jordytan än vad som är fallet i det övre skiktet (500–300 mb). Detta gäller även i modellerna. Men som Sun och Held (1996) visar föreligger det större vertikal koherens i modellerna än som iakttagits i verkligheten – speciellt för vissa regioner. Det innebär att när det gäller de övre lagren är i modellerna temperaturvariationerna i atmosfären hårdare kopplade till temperaturvariationerna vid jordytan än vad som observerats i naturen. I samband med detta har Held och Suarez (1974) funnit att den utgående långvågiga strålningen (OLR) har en långt bättre korrelation med temperaturen vid 500 mb än med temperaturen vid jordytan. Detta skulle naturligtvis vara omöjligt om temperaturerna vid jordytan och på nivån 500 mb (ungefär 6 km över jordytan) följde varandra exakt. Som har visats ovan kan överdriven vertikal koherens också medföra överdriven känslighet för förändringar i växthusgasernas halter.

⁵ Om man insisterar på att tillåta både stratosfärisk avkylning och ett bevarande av oförändrat temperaturfall med höjden kommer responsen att bli mer komplicerad, vilket medför en ytterligare höjning av z_e och en större respons vid jordytan (i typfallet i storleksordning $1,2^{\circ}\text{K}$).

Återkoppling

Med "återkoppling" menas här rent allmänt processer som påverkas av jordytans temperatur på ett sådant sätt att växthuseffektens styrka vid jordytan förändras. Även om man sällan betecknar den som sådan kan en överdriven vertikal koherens i temperaturens fördelning med höjden över jordytan mycket väl utgöra den största positiva återkoppling som förekommit i gängse klimatmodeller. Lägg märke till att sådana processer är specifika för modellerna och inte förhållanden i naturen. Modellernas resultat kan vara rent fiktiva.

Det vanliga är emellertid att termen återkoppling syftar på temperaturberoende processer som antingen ändrar den infallande solstrålningens intensitet vid jordytan eller mängden infrarödabsorberande gas i atmosfären. Förändringar i molnighet och snötäcke ändrar det förstnämnda,⁶ medan förändringar i molntäcke och vattenånga förändrar det sistnämnda.

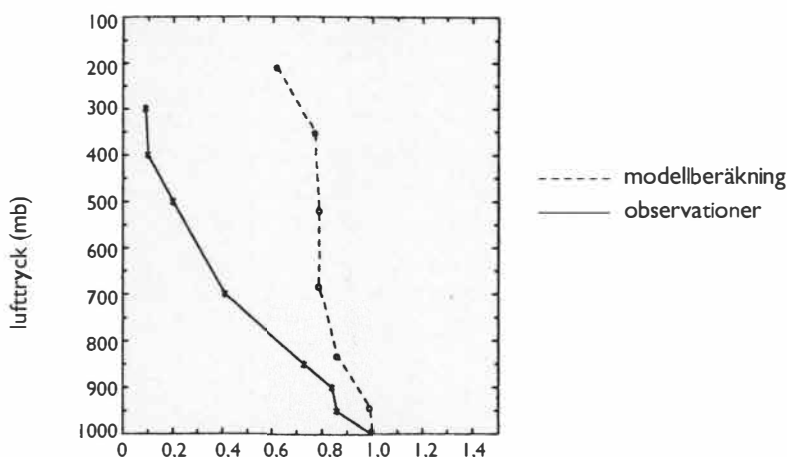
I detta sammanhang bör man komma ihåg att den viktigaste växthusgasen i atmosfären är vattenånga. Ett mått på dess betydelse ges av Lindzen (1997) i figur 1, där det visas att förändringar i den relativa fuktigheten om 5 procent förändrar (om allt annat hålls konstant) den utgående långvågiga strålningen med mellan 2 och 5 Wm^{-2} ,⁷ beroende på den relativa fuktigheten. Högre värden svarar mot en lägre fuktighet i ostört tillstånd. Som jämförelse kan sägas att en fördubblad halt av koldioxid minskar den utgående långvågiga utstrålningen med 4 Wm^{-2} . Det bör noteras att vattenångans halt vid z_e är mycket variabel och att mätningar av den relativa luftfuktigheten i allmänhet är behäftade med minst 10 procents osäkerhet.

Över större delen av jorden (speciellt i tropikerna) strömmar luften nedåt vid z_e och kommer ofta från regioner tusentals kilometer bort (Sun och Lindzen, 1993). Detta står i kontrast till luften närmast jordytan. Atmosfären upp till 2 km bildar ett turbulent skikt där luften är väl blandad och hårt kopplad till markytan; här ger ökande värme verkligen mera vattenånga. Men luften ovanför detta gränsskikt har ett helt annorlunda ursprung. Inte desto mindre är vattenångan i gängse klimatmodeller strikt vertikalt kopplad, så att variationer i halten av vattenånga över gränslagret direkt följer variationer i gränsskiktet.

I modellerna leder en uppvärmning oundvikligen till en ökning av luftfuktigheten på alla nivåer, och således också till den positiva återkoppling som är en nödvändig förutsättning för förutsägelser om en signifikant uppvärmning av jordytan. Men som Sund och Held (1996) visar, figur 8.5, är

⁶ P.g.a. att jordens reflexionsförmåga (albedo) förändras (förf. anm.).

⁷ Wm^{-2} = watt per kvadratmeter, ett mått på strålningens styrka.



Figur 8.5. Den vertikala strukturen av korrelationerna i den specifika luftfuktighetens variationer på alla nivåer utom den lägsta. Efter Sun och Held (1996).

en sådan strikt koppling långt ifrån vad som har observerats. Detta är avgörande för alla prognoser om vad ökade halter av antropogena växthusgaser kommer att föra med sig. Att det föreligger en avsevärd diskrepans mellan modeller och observationer vad gäller vattenånga visas i Spencer och Braswell (1997), Bates och Jackson (1997) och Schmetz och van de Berg (1994). Vi erinrar om att en karaktäristisk diskrepans på 20 procent i relativ fuktighet motsvarar en skillnad på $10\text{--}20 \text{ Wm}^{-2}$ i strålningsflödet.

Det vanliga påståendet att en varmare värld kommer att innefatta mer avdunstning och därmed större luftfuktighet är uppenbarligen inte riktigt. Avdunstningen balanseras av nederbörd. Det innebär i princip att hela den ökade avdunstningen kan gå direkt till nederbörd utan att luftfuktigheten förändras. Fuktigheten i luften beror delvis på nederbördens effektivitet så att högre effektivitet ger lägre fuktighet. I allmänhet ökar nederbördens effektivitet med temperaturen (Rogers och Yau, 1989).

Ett ungefärligt uttryck för återkopplingen är:

$$\text{strålningseffekt med återkoppling} = \frac{\text{strålningseffekt utan återkoppling}}{1 - \sum f_i}$$

där $\sum f_i$ representerar summan (Σ) av de förekommande återkopplingsfaktorerna (f_i). Karakteristiska återkopplingsfaktorer i klimatmodellerna är 0,41 för vattenånga, 0,2 för moln och 0,1 för snöns och isens reflekterande förmåga. Återkopplingen är tydligen störst för vattenånga. Utan den skulle ingen modell kunna leverera några större effekter av en fördubblad koldioxidhalt. Men samtliga återkopplingsfaktorer är mycket osäkra, till och

med med avseende på tecknet. Vattenångans återkoppling beskrevs först utförligt av Manabe och Weatherald (1967). De förutsatte en konstant relativ fuktighet så att uppvärmningen åtföljes av ökad specifik fuktighet överallt. De nuvarande atmosfäriska observationerna ger dock inget stöd för att den relativa luftfuktigheten skulle vara konstant på nivåer över gränsskiktet vid jordytan.

Ytterligare komplexitet

Den ovannämnda diskussionen fokuseras i första hand på en enkel endimensionell bild av världen. Till och med denna bild är betydligt mer komplicerad och subtil än man i förstone är beredd att tro. I verkligheten är världen emellertid inte endimensionell. Som Spencer och Braswell (1997) visar varierar vattenången dramatiskt med det horisontella läget. Mycket torra regioner finns i närheten av extremt fuktiga sådana (se även Lindzen, 1997 figur 3). Den avkylande strålningen kommer främst från torra regioner som har låga, varma emissionsnivåer. I praktiken avgörs den verkliga växthuseffekten till stor del av den relativa förekomsten av fuktiga och torra regioner inom områdena snarare än av medelfuktigheten i områdena. Detsamma gäller för vattenångans återkoppling.

Sammanfattning

Vi har visat att en korrekt beskrivning av växthuseffekten inte innebär att jordytans uppvärmning oundvikligen måste resultera i att jordytan med ökande nivåer av växthusgaser blir varmare. Klimatmodellernas förutsägelser om en betydande uppvärmning är högradigt beroende av återkopplingen i de klimatmodeller där den grundläggande fysiken i bästa fall är diskutabel. Rimligtvis leder detta till slutsatsen att gängse modeller inte är ägnade att på ett övertygande sätt behandla konsekvenserna av de små förändringar i strålningsflödena högst upp i atmosfären som är förenade med en ökning av koldioxidhalten och huruvida detta kan åstadkomma omfattande klimatförändringar vid jordytan.

Vi behöver emellertid inte vara beroende av osäkra modeller för att bedöma klimatpåverkan. Även utan tillgång till förbättrade klimatmodeller kan kanske, direkt eller indirekt, empiriska observationer användas för att bedöma hur klimatet reagerar på ökade halter av koldioxid. Det slags observationer som krävs för en direkt uppskattning är faktiskt sådana som

vi för närvarande har möjlighet att göra. Det är tänkbart att erforderliga data redan existerar. Men kraven på precision måste kanske ställas högre än nuvarande observationer medger.

Med hänsyn till frågans betydelse får sådana vägar inte lämnas oprövade. Eftersom de återkopplingar som beträffande klimatets känslighet ger atmosfäriska förändringar är de förenade med korta tidsskalor. Haven kan vi i detta sammanhang bortse ifrån. Det är de observerade yttemperaturerna som ger de strålningsförändringar vi intresserar oss för. Under hur lång tid observationer måste bedrivas kan endast avgöras empiriskt. Detta diskuteras mer detaljerat i Lindzen (1997). Indirekta uppskattningar, grundade på den inverkan vulkanutbrott haft för jordytans temperatur, tyder på att känsligheten kan vara så liten som 0,3–0,5°C för en fördubbling av koldioxidhalten, vilket ligger väl inom ramen för naturliga variationer (Lindzen och Giannitsis, 1998). Det innebär inte att sådana förändringar inte skulle gå att upptäcka. Vad det betyder är att de är jämförbara med vad jorden alltid har utsatts för.

Referenser

- Arrhenius, S. (1896), On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Phil. Mag.*, 41: 237–276.
- Bates, J. J., Jackson, D. L. (1997), A comparison of water vapor observations with AMIP I simulations. *J. Geophys. Res.*, 102: 21.837–21.852.
- Boehmer-Christiansen, S. A. (1994), A scientific agenda for climate policy? *Nature*, 372: 400–402.
- Emden, R. (1913), *Über Strahlungsgleichgewicht und atmosphärische Strahlung*. Sitz. Bayerische Akad. Wiss., Math.-Phys. Klasse, 55.
- Goody, R. M., Yung, Y. L. (1989), *Atmospheric Radiation, Theoretical Basis*. Andra uppl., Oxford University Press, Oxford.
- Held, I.M., Suarez, M.J. (1974) Simple albedo feedback models of icecaps. *Tellus*, 26: 613–628.
- IPCC (1990), *Climate Change – The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- IPCC (1996), *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Lee, W.-J., Mak, M. (1994), Observed variability in the large-scale static stability. *J. Atmos. Sci.*, 51: 2137–2144.
- Lindzen, R. S. (1994), Climate dynamics and global change. *Ann. Rev. Fl. Mech.*, 26: 353–378.
- Lindzen, R. S. (1995), How cold would we get under CO₂-less sky? *Phys. Today*, 48: 78–80.

- Lindzen, R. S. (1997), Can increasing atmospheric CO₂ affect global climate? *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 94: 8335–8342.
- Lindzen, R. S., Giannitsis, C. (1998), The response to volcanos singly and in sequence as a test of climate models. *J. Geophys. Res.* Under tryckning.
- Manabe, S., Weatherald, R. T. (1967), Thermalequilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity, *J. Atmos. Sci.*, 24: 241.
- Möller, F., Manabe, S. (1961), Über das Strahlungsgleichgewicht der Atmosphäre. *Z. Meteorol.*, 15: 3.
- Rogers, R. R., Yau, M. K. (1989), *A Short Course in Cloud Physics*. Pergamon Press, London.
- Schmetz, J., van de Berg, L. (1994). Upper tropospheric humidity observations from Meteosat compared with short-term forecast fields. *Geophys. Res. Letters*, 21: 573–576.
- Spencer, R. W., Braswell, W. D. (1997), How dry is the tropical free troposphere? Implications for global warming theory. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 78: 1097–1106.
- Sun, D.-Z., Held, I. M. (1996), A comparison of modeled and observed relationships between variations of water vapor and temperature on the interannual time scale. *J. Clim.*, 9: 665–675.
- Sun, D.-Z., Lindzen, R. S. (1993), Distribution of tropical tropospheric water vapor. *J. Atmos. Sci.*, 50: 1643–1660.

9.

Havets roll i klimatsystemet – ett olöst problem

Gösta Walin

För nära hundra år sedan framförde Svante Arrhenius tanken att utvinning och förbränning av fossila bränslen skulle leda till stigande halter av koldioxid i atmosfären. Han uppskattade att en fördubblad koldioxidhalt skulle kunna leda till ca 6 grader högre temperatur vid jordytan. Denna uppskattning ligger anmärkningsvärt nära de uppskattningar som idag diskuteras (dessa har på senare år rört sig nedåt mot 2 à 3°C).

Arrhenius kände till koldioxidens förmåga att absorbera och emittera långvågig strålning. Han hade dock inte tillgång till de imponerande räknemaskiner som idag skänker status och trovärdighet åt uppskattningar rörande framtida klimatförändringar.

Det anmärkningsvärda förhållandet är emellertid att uppskattningar av framtida uppvärmning är lika osäkra nu som då. Det finns många skäl till detta förhållande. Några av de grundläggande problemen som jag skall försöka belysa i detta kapitel sitter i havet.

Atmosfärens sammansättning är till väsentliga delar bestämd av processer i havet. Framför allt syrgas och koldioxid omsätts ständigt av kemiska och biokemiska processer i havsvattnet. Såsom exempel kan påpekas att en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären reduceras till 8 procents höjning efter blandning och behandling i havet. Havet tar dock tid på sig, kanske bortåt 1 000 år, för att fullborda denna bearbetning av atmosfären. Alla inblandade mekanismer är inte klarlagda och det är tänkbart att processen kan vara betydligt snabbare.

Atmosfärens undre rand

Havet täcker drygt 70 procent av jordytan. För atmosfären innebär havsytan ett s.k. randvillkor. I detta randvillkor möter vi ett koncentrat av de svårigheter som klimatforskningen kämpar med.

Atmosfären påverkas vid havsytan av fördelningar av temperatur, salt-halt, isläggning samt flöden av värme, vattenånga m.m. Tillsammans med solens strålning och randvillkoren över kontinenterna bestäms atmosfärens tillstånd huvudsakligen av dessa villkor vid havsytan.

En genväg till en beskrivning av atmosfärens beteende är att använda uppmätta och uppskattade värden för dessa randvillkor vid havsytan. Genom att pröva sig fram med olika fördelningar av temperatur, värme-flöden osv. kan man på detta sätt skapa en modell för atmosfären som i många avseenden efterliknar våra förväntningar. *Problemet med detta arbets-sätt är att den skapade modellen av atmosfären inte duger till prognoser av fram-tida förändringar.*

Detta beror på att de så betydelsefulla villkoren vid havsytan skapas genom växelverkan mellan hav och atmosfär. Om t.ex. atmosfären föränd-ras leder detta till en förändring i havet och därmed till en förändring av villkoren vid havsytan. Denna s.k. återkoppling är av avgörande betydelse för klimatets utveckling på långa tidsskalor. Även relativt snabba förlopp, sådana som de mycket omskrivna svängningarna i Stilla havsområdet (El Niño) eller den s.k. Nordatlantiska oscillationen (NAO) är uttryck för kom-plicerade återkopplingar mellan hav och atmosfär.

Värmeflödet mot polerna

Klimatet på jorden bestäms endast till en mindre del av lokala förhållan-den. Detta innebär att solens instrålning vid en viss latitud normalt inte balanseras av utgående värmestrålning vid samma latitud. Värme omför-delas av komplicerade strömningsprocesser i hav och atmosfär så att tem-peraturen blir jämnare fördelad över jordytan. Ungefär hälften av värme-transporten från tropiska och subtropiska områden mot polerna sker i havet genom att varmt ytvatten företrädesvis rör sig mot högre breddgrader. Det finns därför anledning att titta lite närmare på detta ytskiktets egenskaper.

Havets övre vattenlager

Huvuddelen av havsbassängerna är fyllda av kallt vatten, temperatur 0–4°C, med en salthalt nära havets medelsalthalt, ca 34,7 promille (innebärande att en kubikmeter havsvatten innehåller 34,7 kg salt). Över denna enorma, nästan homogena vattenmassa flyter ett skikt med avvikande egenskaper – havets övre vattenlager. Det är i detta övre skikt som det väsentliga sker. Här ombesörjs värmetransporter, här sker utbyte av värme och vattenånga med atmosfären, kort sagt: Här produceras, i samarbete med atmosfären, de avgörande villkoren vid havsytan.

Det övre vattenlagret är lättare på grund av högre temperatur (max ca 28°C). På grund av nettoavdunstning är även salthalten högre (max ca 37 promille). Den högre salthalten höjer tätheten, vilket kompenserar en del av temperatureffekten. Temperaturen och salthalten kan sägas konkurrera om kontrollen över ytvattnets täthet. Denna konkurrens ger systemet mycket speciella och svårhanterliga egenskaper som vi skall återkomma till.

Resultatet av temperaturens och salthaltens samlade inverkan är att ytskiktet får en täthet som är några tusendelar lägre än tätheten på det underliggande vattnet. Denna ganska obetydliga täthetsskillnad är, tack vare systemens storlek, tillräcklig för att med gravitationens hjälp dominera dynamiken för ytskiktets rörelser.

Ytskiktets dynamik

Havsvattnets temperatur och täthetförändras kontinuerligt mot större djup och med latituden. Denna fördelning kan tillskrivas ett karaktäristiskt djup (H) och en karaktäristisk täthetsavvikelse (D) .

Ytskiktet strävar, på grund av sin lägre täthet, ständigt mot att sprida sig över hela havets yta. Det uppstår en "termohalin" cirkulation innebarande att ytskiktsvatten som produceras i varma områden sprider sig mot högre latituder där det lämnar ytskiktet tack vare avkylning. Denna "termohalina cirkulation" ombesörjer havets andel av värmetransporten mot polerna.

Dynamiken för spridning kompliceras avsevärt av jordens rotation. På grund av jordrotationen sker rörelser i ytskiktet främst längs de gränsområden där ytskiktet blir tunnare. Golfströmmen följer en sådan gränsszon mellan kallt vatten i nordväst och det varma Sargassohavet.

Trots stora komplikationer är dynamiken för rörelser i ytskiktet relativt väl känd. Vi vet t.ex. att värmetransporten i havets ytskikt mot högre latituder är i huvudsak proportionell mot kvadraten på storheterna H och D

som karaktäriserar ytskiktet. Härav följer att dessa måste beräknas med stor noggrannhet om värmetransporten i havet skall kunna rätt uppskattas. Om vi t.ex. skulle räkna fel så att vi överskattar både H och D med 10 procent leder detta till en överskattning av värmeflödet med ca 50 procent.

Dessvärre är beräkningen av ytskiktets struktur, dvs. väsentligen storheterna D och H , förenad med stora svårigheter.

För det första är ytskiktets djup, D , beroende av turbulenta blandningsprocesser som fördjupar ytskiktet genom inblandning av djupvatten. Utan sådana blandningsprocesser skulle uppvärmningen av ytskiktet sträcka sig ned i havet blott några tiotal meter. Ett så tunt ytskikt skulle vara helt odugligt för värmetransport. Tyvärr är våra kunskaper om dessa blandningsprocesser helt otillräckliga.

Den andra stora svårigheten gäller utbyte genom havsytan som bestämmer ytskiktets temperatur och salthalt. Gängse metoder är baserade på empiriska formler som t.ex. utgår från temperaturskillnaden mellan havsytan och atmosfären på viss höjd. Dessa formler är dels ytterst primitiva, dels behäftade med en besvärande osäkerhet.

Slutsatsen av dessa enkla överläggningar är att de kritiska storheterna H och D inte på långa vägar kan beräknas med tillräcklig noggrannhet.

I resonemanget har vi så långt undvikit de allvarliga komplikationer som sammanhänger med salthaltsfältet. Vid första påseende kan man frestas anta att salthaltens fördelning skulle ha ringa betydelse eftersom varken avdunstning eller värmeflöde påverkas direkt av salthalten vid havsytan. Detta är dock en förhastad slutsats såsom framgår av följande exempel.

- Salthalten påverkar den termohalina cirkulationen genom påverkan på tätheten. I vissa områden såsom norra Stilla havet är den termohalina cirkulationen till stor del strypt av salthaltens inverkan på täthetsfältet.
- I kalla havsområden bildas havsis endast om det föreligger ett ytnära skikt med något lägre salthalt. Ett sådant skikt medger att ytvattnet kan kylas ned till fryspunkten och bilda is trots att underliggande havsvatten är betydligt varmare. (Häri ligger skillnaden mellan Arktis och Nordiska haven. I den Arktiska bassängen finns ett ytnära skikt med lägre salthalt och därmed också ett kraftigt täcke med perenn is. I de Nordiska haven är havsvattnet nästan homogent ända upp till ytan vilket omöjliggör isbildning.)

Låt oss därför granska de speciella svårigheter som sammanhänger med beräkning av salthaltens fördelning i havet.

Temperatur versus salthalt – konkurrens med komplikationer

Vi har redan berört den omständigheten att salthalten och temperaturen konkurrerar om kontrollen över havets ytskikt. Om effekten av denna konkurrens inskränkte sig till att salthalten till viss del eliminerar temperaturens inverkan på tätheten vore problemet avsevärt enklare. Den stora utmaningen sammanhänger med bristen på ”lokal styrning” av salthalten.

Ytskiktets temperatur bestäms av komplicerade men godartade utbytesprocesser. Dessa har egenskapen att en höjning av temperaturen ger upphov till ökade värmeförluster, vilket begränsar temperaturstegringen. Denna återkoppling ombesörjs av värmeförluster genom värmeledning, avdunstning, och utstrålning.

När det gäller ytskiktets salthalt är förhållandet helt annorlunda. Salthaltsfördelningen skapas av avdunstning och nederbörd. Om salthalten skulle bli ovanligt hög i ytskiktet så har detta försumbart liten inverkan på de drivande processerna avdunstning och nederbörd. Ett lokalt överskott av färskvatten måste därför balanseras genom transporter till regioner med underskott.

Denna brist på lokalt stabiliserande återkoppling som kännetecknar drivningen av salthaltsfältet innebär en enorm komplikation med långtgående konsekvenser för modelleringen av havet och dess samspel med atmosfären i s.k. klimatmodeller.

En speciellt besvärande slutsats är att havets och därmed klimatets tillstånd inte nödvändigtvis är entydigt – *samma yttre omständigheter kan ge upphov till helt olika tillstånd*. Detta påpekades första gången av Henry Stommel (1961), stor tänkare och pionjär inom havsvetenskapen, med hjälp av en elegant analogi. I diskussionen nedan om de Nordiska haven skall vi belysa Stommels slutsats.

En annan besvärande konsekvens av dynamiken som kontrollerar salthalten är att systemet kan förväntas innehålla mycket långa tidsskalor. Som exempel kan nämnas att det kan ta synnerligen lång tid, åtskilliga tusen år, att utjämna salthalterna mellan världshavens stora bassänger.

Cirkulationen i Nordiska haven

Havsområdet norr om Island – Nordiska haven – är ett utmärkt exempel på ett område där vi kan studera konkurrensen mellan temperaturen och salthalten som motstridiga drivkrafter för cirkulationen.

Alltsedan den senaste istiden, för ca 10 000 år sedan, har området norr om Island dominerats av den nu förhärskande typen av cirkulation. Relativt varmt och salt vatten tränger in mellan Färöarna och Shetland och transporteras vidare norrut längs den norska kusten upp mot Svalbard. Under transporten avkyls vattnet ner till temperaturer nära 0°C. Det sålunda bildade vattnet fyller i huvudsak upp havsbassängen norr om Island innan det tappas av till Nordatlanten.

En förutsättning för att cirkulationen skall fungera är att det bildade bassängvattnet är tyngre än det inträngande vattnet. I samband med avkylningen sker en viss utspädning med färskvatten som sänker bassängvattnets täthet. Det är denna effekt som kan skapa problem för den termohalina cirkulationen.

Anta att cirkulationen under en längre tid bromsades t.ex. av abnorma vindar. Detta skulle innebära att nederbörden fick längre tid att späda ut det inträngande vattnet och därmed sänka salthalten i bassängen. Anta att detta gick så långt att bassängens vatten inte längre vore tyngre än det vatten från Nordatlanten som försöker tränga in. Cirkulationen skulle då upphöra och måhända inte kunna komma igång. Vi står inför möjligheten att systemet fastnar i ett nytt tillstånd med ett slags omvänd cirkulation. Dylika spektakulära möjligheter är mycket lockande för fysiska oceanografer och modellörer. Det är därför inte förvånande att en uppsjö av vetenskapliga artiklar har producerats i detta ämne under det senaste decenniet.

Även paleoceanografiska studier visar att cirkulationen i Nordiska haven har varierat högst väsentligt under t.ex. den senaste istiden och speciellt under istidens avslutning för ca 10 000 år sedan.

Mindre lyckat är att dessa i och för sig spännande förhållanden har trängt ut i massmedia och givit underlag för skräckscenarier kopplade till förmodade klimatförändringar i framtiden.

Golfströmmen i ett varmare klimat

I IPCC:s senaste rapport (1995) har följande formulering smugit sig in: "Examples of such non-linear behaviour include rapid circulation changes in the North Atlantic..."

Här tycks det som om IPCC inte kunnat motstå frestelsen att ta fasta på de ytterst spekulativa funderingarna kring möjligheten att den förväntade uppvärmningen skulle skapa "istidsklimat" i norra Europa. Tanken är att ett varmare klimat innebär mer nederbörd och därmed mer utspädning av ytvattnet i Nordiska haven. Denna utspädning skulle sedermera hejda Golfströmmen från att tränga in i Nordiska haven och därmed skapa betydligt kallare och ogästvänligare klimat i Norden.

Jag vill inte påstå att ett sådant händelseförlopp är omöjligt. Systemet är så komplicerat att man med visst fog kan säga att vad som helst kan inträffa. Som jag skall försöka visa finns det dock större anledning att tro att cirkulationen i Nordiska haven tvärtom skulle stabiliseras av ett varmare klimat.

Strategin bakom nedanstående enkla betraktelse är så här: Anta först att cirkulationen inte drastiskt förändras. Beräkna under denna förutsättning hur drivkraften för den rådande cirkulation påverkas av ett varmare klimat. Om denna beräkning med rimlig säkerhet visar på en förstärkt drivkraft för cirkulationen är det rimligt att anta att cirkulationen kommer att bestå i det varmare klimatet.

Drivkraften bakom inströmningen utgörs av täthetsskillnaden mellan ytvattnet söder om respektive inne i Nordiska haven. Vid beräkning av hur denna täthetsskillnad förändras av det varmare klimatet måste hänsyn tas till såväl förändringar av temperaturer som salthalter.

För närvarande håller det inströmmande vattnet en temperatur omkring 8°C och en salthalt runt 35,3 promille, medan bassängvattnet håller ca 0°C och 34,92 promille. Detta skapar en drivande täthetsdifferens av storleken 0,52 promille. Dessa 0,52 promille byggs upp av 0,82 promille från temperaturen och -0,30 promille från salthalten.

Vid ett varmare klimat tänker jag mig att temperaturerna höjs en grad till 9 respektive 1°C. Rimligtvis kommer mer nederbörd i ett varmare klimat att innebära att salthaltsskillnaden ökar något, men hur mycket?

Vi förväntar oss att en varmare atmosfär innehåller mer vattenånga, närmare bestämt ca 6 procent mer per °C. Jag antar nu att detta leder till ca 6 procent mer nederbörd, vilket med säkerhet är en överskattnings. Om systemets funktion är i huvudsak oförändrad innebär detta att skillnaden i salthalt mellan inströmmande vatten och bassängens vatten också ökar med 6 procent. Med dessa utgångspunkter finner jag att den drivande täthetsskillnaden ökar från 0,52 promille i det nuvarande tillståndet till 0,60 promille. Detta beror på att bidraget från temperaturskillnaden ökar kraftigt från 0,82 promille till 0,92 promille, medan det negativa bidraget från salthaltsskillnaden ändras från -0,30 promille till -0,32 promille.

Dessa enkla överslagsberäkningar visar att om inget oförutsett inträffar så kan vi förvänta oss en förstärkning av Golfströmmens inflöde i Nordiska haven.

Kan vi då lita på Golfströmmens fortbestånd eller finns det andra hotbilder? Ett intressant bidrag till denna frågeställning har lämnats av Anders Stigebrandt (1995), professor i oceanografi vid Göteborgs universitet. Han hävdar att det dominerande cyklonala vindfältet över Nordiska haven är avgörande. Det är nämligen dessa vindar som skyddar bassängvattnet från inblandning av alltför mycket smältvatten från Arktis m.m. Den cyklonala vinden medför nämligen dels att smältvattnet sopas bort från bassängens

inre delar, dels att det drivs ut ur Nordiska haven vid Grönlands sydspets. Det är uppenbarligen av största intresse att klargöra hur vindfältet över Nordiska haven kontrolleras.

Några synpunkter på klimatet och dess modellering

I ovanstående text har jag pekat på några svårigheter:

- De processer som bygger upp havets ytskikt – blandning i havet och utbyte genom havsytan är dåligt kända.
- Salthaltens fördelning i havet kontrolleras på ett sätt som kan ge systemet mycket långa tidsskalor och brist på entydighet.

Dessa problem innebär enligt min uppfattning allvarliga hinder för modellering av klimatet inom överskådlig framtid.

För mig är det självklart att vi först måste förstå hur klimatet "fungerar" innan vi ger oss på prognoser för framtida klimat. En första inblick i klimatets funktion skulle erhållas om vi lyckades producera en klimatmodell som är kapabel att uppsöka det nu rådande klimatet. En sådan modell skulle med nödvändighet innehålla processer som ger klimatet dess grundläggande stabilitet. Dessa processer måste vi ha tag på innan vi försöker förutse framtida klimat. I dessa processer ligger klimatets "känslighet" förborgad.

Att skaffa fram en sådan uppsökande modell kräver enormt långa körningar med de fasansfullt komplicerade datormodellerna. Orsaken är bl.a. de långa tidsskalor som salthaltsfördelningen ger upphov till. Denna väg är inte framkomlig med dagens typ av modeller och datorer.

Vid konstruktionen av klimatmodeller har man därför tvingats söka sig fram på andra vägar som i huvudsak går ut på att "träffa rätt" direkt. I stället för att bygga en modell som uppsöker dagens klimat försöker man konstruera en modell som frivilligt hänger kvar i dagens klimat. Metoden innebär att man startar räkningarna med hav och atmosfär i dagens tillstånd. Om modellen då inte driver bort från dagens klimat har man "lyckats". Framtidens "störda klimat" erhålls sedan genom att låta denna modell utvecklas med förändrade förutsättningar.

Detta arbetssätt väcker inte mitt förtroende. Det är min övertygelse att man åtminstone måste ha elementär kunskap om såväl modellens som det verkliga klimatets dynamiska egenskaper – och då främst mekaniken bakom den stabilitet som ligger i förmågan att uppsöka dagens klimat. Vi mås-

te annorlunda uttryckt förstå hur jordens klimat kunnat fungera under årmiljonerna utan att spåra ur innan vi ger oss på förutsägelser om framtiden.

Slutord

Jag avslutar med tre teser som sammanfattar min egen syn på "klimatfrågan":

1. Vi vet faktiskt inte om det kommer att bli varmare på grund av de antropogena utsläppen av växthusgaser.
2. Vi vet heller inte om en eventuell uppvärmning är till skada eller nytta.
3. Vi har i praktiken inga som helst möjligheter att göra något åt saken.

Punkterna 1 och 2 ovan kan belysas av två citat ur en artikel skriven av professor emeritus Bert Bolin (1996):

1. "Den grundläggande tanken är att samma ofullkomligheter i modellerna som finns med vid beräkning av det naturliga klimatet också påverkar beräkningen av en klimatiförändring. Skillnaden mellan två sådana beräkningar bör därför ändå ge en ganska god bild av klimatsystemets känslighet..."

Min kommentar:

Dessvärre är det nog så att denna "grundläggande tanke" aldrig visats vara hållbar eftersom modellernas "klimatkänslighet" inte har verifierats mot verkliga klimatiförändringar.

2. "Ett varmare klimat medför mer intensiv avdunstning och 4–7 procent mer vattenånga i atmosfären för varje grads temperaturökning. Det blir troligen både ökad torka på en del håll och intensivare nederbörd i andra områden."

Min kommentar:

Kanske kan man i stället spekulera på följande mer positiva sätt: I ett varmare klimat kan atmosfären bära med sig mer vatten in över kontinenterna. Detta bör innebära att större delar av de kontinentala landmassorna kommer i åtnjutande av livgivande nederbörd.

Beträffande möjligheterna att "göra något" finns det stor anledning till oro. Eftersom "klimatfrågan" är så enorm kan vilka vansinnesprojekt som helst segla upp för att "rädda klimatet". Kärnkraftindustrin kommer säkert

att utnyttja situationen för att återigen bli föremål för generös industripolitik – och vad är lite kärnavfall mot en eventuell klimatkatastrof. Kampen om oljetillgångarna kan i framtiden maskeras som korståg med det heliga syftet att lära oljeländerna den rätta klimattron. Ja, nog finns det anledning att oroa sig. Däremot tror jag inte ett ögonblick att exploateringen av fossila bränslen skulle kunna förhindras eller ens påverkas.

Referenser

- Bolin, B. (1996), Ur Naturvetenskapliga forskningsrådets årsbok, s. 14 resp. 17.
- IPCC (1996), *IPCC Second Assessment – Climate Change 1995*, punkt 2.12, s. 6. IPCC, Genève.
- Stigebrandt, A. (1985), On the hydrography and ice conditions in the northern North Atlantic during different phases of a glaciation cycle. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 50: 303–321.
- Stommel, H. (1961), Thermohaline convection with two stable regimes of flow. *Tellus*, 13: 224–230.

Energi och miljöpolitik

10.

Ekonomisk analys av klimatpolitiken

Marian Radetzki

Ännu för tio år sedan var det få som intresserade sig för mänskligt orsakade klimatändringar. Frågan diskuterades blott av meteorologer, med fåtaliga inpass från fysiker, kemister och andra naturvetare. Sedan dess har också miljöaktivister engagerats av frågeställningen, och debatten har blivit i hög grad inflammerad. Påståenden om att mänskliga utsläpp av s.k. växthusgaser kommer att leda till dramatiska och katastrofala klimatändringar på jorden, har under 1990-talet fångat medias och politikers öron. Förslag till drastiska och kostsamma åtgärder för att eliminera växthuset duggar tätt, trots att hotets konturer och skilda motåtgärders ändamålsenlighet fortfarande är mycket oklara. Konferensen i Kyoto i december 1997 illustrerar detta förhållande.

Den tills nyligen dominerande attityden i pågående meningsutbyten om växthuseffekten har varit att mänsklig klimatpåverkan är något i grunden negativt, och måste stoppas oavsett kostnader. Ekonomiska överväganden och argument har spelat en underordnad roll vid frågans hantering.

Situationen håller dock snabbt på att förändras. En växande grupp ekonomer har under de senaste åren hoppat in i debatten och "hyfsat" de ekonomiska ställningstagandena kring frågan. Liksom naturvetarna har ekonomerna delat upp sig i läger. En minoritetsfalang ser den kommande klimatändringen som ett ödesdigert hot och anser att omedelbara omfattande åtgärder är ekonomiskt motiverade. En annan falang menar att klimatändringen, om den nu verkligen inträffar, får begränsade ekonomiska konsekvenser, medan kostnaderna för att minska utsläppen av växthusgaser blir stora. Följaktligen vore det dålig ekonomi, menar den falangen, att nu bekämpa utsläppen av växthusgaser i stor skala.

FN:s Klimatpanel har fångat upp och sammanfattat mycket av den aktuella debatten bland ekonomerna kring klimatfrågan. Frågeställningarna och analyserna sammanfattas i en volym som bär panelens signum (IPCC,

1996), men många andra viktiga bidrag har publicerats både före och efter panelens utgåva. IPCC (1996) i är hög grad ett samlingsverk med många författare inblandade. Resultatet är att detta opus i många fall presenterar skilda ståndpunkter och ställningstaganden, med bristande konsistens mellan, och ibland även inom, de olika kapitlen.

Själv har jag inte gjort några vetenskapliga bidrag till klimatfrågans ekonomi, men jag har varit en mycket flitig läsare av befintlig litteratur. Syftet med föreliggande kapitel är att nyttja vad jag lärt mig för att identifiera klimatfrågans ekonomiska frågeställningar, att diskutera de analytiska ansatser som ekonomerna använt, och att presentera en del av resultaten från de ekonomiska övningarna. I dessa avsnitt lutar jag mig mycket tungt mot IPCC-volymen. Jag avslutar med att formulera en del egna slutsatser kring den vitala frågan om vilket slags klimatpolitik som med dagens kunskapsläge kan motiveras på ekonomiska bevekelsegrunder.

Osäkerheterna

Frågan om hur människans aktiviteter påverkar klimatet är omgärdad med många osäkerheter. Av mina kollegers bidrag till denna antologi framgår med all tydlighet att naturvetenskapen idag har ett mycket ofullständigt grepp om rådande samband, och att den följaktligen har svårt att göra förutsägelser. Två naturvetenskapliga osäkerhetssteg staplas sålunda på varandra: (a) Det är långt ifrån klarlagt hur mycket av utsläppen som i sista hand hamnar i atmosfären och hur länge de sedan blir kvar där; och (b) Trots allt mera sofistikerade klimatmodeller, kvarstår stor oklarhet om vilken effekten blir på klimatet av ökande halter av växthusgas i atmosfären.

De ekonomiska effekterna kommer, så att säga, sist i kedjan. Den ekonomiska analysen måste utgå från de naturvetenskapliga osäkerheter som meteorologer, fysiker och kemister tvistar om, och ovanpå dessa tillkommer de ekonomiska. Det råder sålunda delade meningar om hur mycket växthusgaser som verkligen kommer att släppas ut ifall inga särskilda klimatåtgärder vidtas. Den ekonomiska analysen av klimatstabiliseringens nytta är fylld av oklarheter vad avser nyttokategorierna och deras respektive värden. Mycket stora variationer föreligger också i beräkningarna av samhällskostnaden för att reducera utsläppen av växthusgaser över tiden, den främsta åtgärd som diskuterats för att stabilisera klimatet. Både nytta och kostnad inträffar i framtiden, men oenighet råder om exakt när. Hur som helst måste effekterna diskonteras till nutid för att vara jämförbara. Missämja präglar debatten om den diskonteringssats som bör tillämpas. Resultaten av den ekonomiska analysen skiljer sig dramatiskt, beroende på valet av diskonto.

Det oerhört vida spann av möjliga ekonomiska utfall som följer av dessa osäkerheter ger ett extremt stort utrymme för varierande uppfattningar om den lämpliga klimatpolitiken. De som förordar en långtgående klimatstabilisering får stöd för sin syn genom att peka på extrema utfall som i frånvaro av åtgärder riskerar att leda till svårartad klimatförsämring. Uppfattningen att inget bör göras får likaledes stöd från andra utfall där det visas att förväntade klimatändringar inte är särskilt skadliga och möjligen rentav nyttiga, samtidigt som kostnaden för klimatstabilisering är hög. Agnostikerna, till vilka jag räknar mig själv, pläderar för behovet av ytterligare analyser som förhoppningsvis minskar spannet av utfallsmöjligheter. Till dess är agnostikerna blott beredda att förorda en klimatpolitik som inte kostar så mycket.

Två utgångspunkter

Nytto-kostandsanalys och diskontering

En ekonomisk utvärdering av klimatpolitiska projekt måste ha en jämförelsepunkt. Tillståndet i frånvaro av klimatpolitiska åtgärder, vid "business as usual" (BAU), utgör en sådan jämförelsepunkt.¹ Syftet med klimatpolitiken är att skapa *nytt*a genom att förhindra klimatskador, dvs. oönskade klimatändringar som förväntas uppstå vid BAU. Nyttans värde motsvarar sålunda den klimatskada som annars hade inträffat, men som undviks med hjälp av klimatpolitiken. Men genomförandet av ett klimatpolitiskt projekt medför också *kostnader* av skilda slag. Såväl nyttan som kostnaderna måste beaktas i en meningsfull utvärdering.

Det naturliga ekonomiska verktyget för utvärderingen utgörs av *nyttokostandsanalys*. Ett investeringsprojekt som avkastar en ström av framtida nyttor men som kräver kostnader över tiden för sitt genomförande, är ekonomiskt motiverat endast om nuvärdet av den sammanlagda nyttan är större än nuvärdet av kostnaden. Klimatstabilisering kan betraktas som just ett sådant investeringsprojekt, och bör bedömas på detta sätt. Det praktiska tillvägagångssättet bland ekonomer är att välja en naturvetenskapligt gedigen klimatmodell och att integrera den med en modell för hur ekonomin fungerar, i syfte att kvantifiera nyttan av klimatstabilisering, och kostnaden för de nödiga stabiliseringsåtgärderna. Klimatpolitik skall föras endast i den

¹ BAU är ett inte helt lättdefinierat begrepp. IPCC har under åren laborerat med flera olika BAU-scenarier. I följande diskussion refererar jag till det scenario som IPCC benämnt IS92a, även om det synes som om också detta scenario mera nyligen övergivits av Panelen.

utsträckning som nuvärdet av *nyttan* överstiger nuvärdet av *kostnaden*, med hänsyn tagen till bredast möjliga omständigheter. Tillvägagångssättet är enkelt och redigt och ovedersägligt i princip. Som framgår av följande sidor lämnar dock praktiken mycket övrigt att önska i vad avser entydighet och klarhet.

Min uppfattning att nytto-kostnadsanalys är ett nödvändigt verktyg för utvärdering av klimatpolitiska projekt är inte särskilt kontroversiell, även om den inte delas av alla ekonomer som arbetar med frågan. IPCC själv skriver: "Trots sina aktuella begränsningar, utgör modern nytto-kostnadsanalys (brett definierad) det bästa sättet att identifiera de centrala frågeställningar som beslutsfattare måste ta ställning till vid klimatfrågans hantering ... det största värdet med nytto-kostnadsanalysen är ... att den tvingar fram underlag för beslut baserade på noggranna, kvantitativa resonemang" (IPCC, 1996, s. 170–171). Det är visserligen sant att IPCC också presenterar alternativ till nytto-kostnadsanalysen, t.ex. den s.k. *hållbarhetsmetoden* som förordas av vissa ekonomer. Någon rationell ekonomisk analys är dock knappast möjlig med denna metod, eftersom den axiomatiskt utgår från att klimatskadorna kommer att bli överväldigande, och dess anhängare ofta hävdar att stabilisering av klimatet är nödvändig, utan hänsyn till kostnad (IPCC, 1996, s. 184–185).

När ett projekt är långsiktigt, och särskilt då nyttan inträffar mycket senare än kostnaderna, blir dess ekonomiska utfall starkt beroende av den *diskonteringssats* som väljs för att beräkna projektets nuvärde. Normalt nyttjas en räntesats som återspeglar marknadens långsiktiga värdering av kapital. Om diskonteringen leder till att nuvärdet av nyttan blir mindre än nuvärdet av kostnaderna, betyder det att projektet inte kan bära sina kapitalkostnader. Detta utgör en signal om att projektet är olönsamt, och att det är ekonomiskt fördelaktigare att investera pengarna i andra projekt där förväntad avkastning på kapitalet är högre. Dessa principer tillämpas av majoriteten av de ekonomer som analyserar klimatpolitiken.

Det finns dock avvikande uppfattningar. Vissa ekonomer menar att klimatproblemen är så långsiktiga och av en så avgörande betydelse att räntesatsen skall sättas särskilt lågt, kanske rentav lika med noll, vid utvärdering av klimatstabilisering. Detta skapar problem. Knapphet på investeringsresurser kräver alltid besvärliga val mellan många angelägna ändamål. Andra ekonomer kan på goda grunder hävda att klimatproblemet inte är unikt i vad avser långsiktighet och betydelse, och kräva motsvarande förmån för det som de anser vara särskilt angeläget.

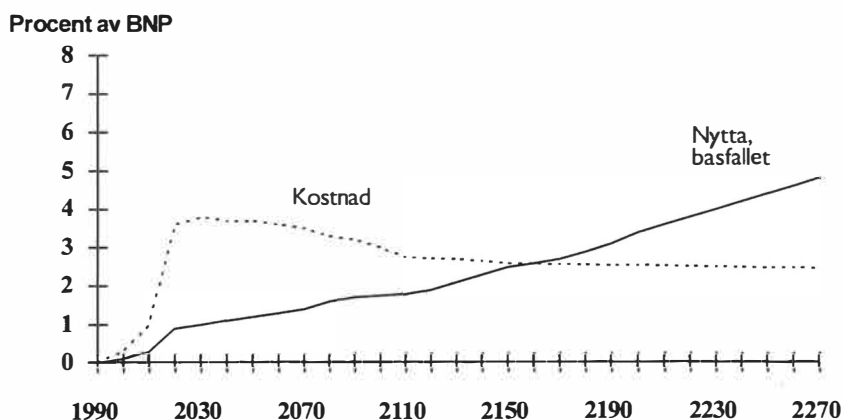
Diskonteringssatsen utgör en disciplin och ett kriterium för val, när inte alla angelägna ändamål kan tillgodoses. Det kan gå mycket snett när den disciplinen sätts ur spel. Sovjetunionens ledare negligerade avkastningen på kapital vid investeringsbesluten. De var övertygade om att de visste bäst

var de tillgängliga kapitalresurserna gjorde störst samhällsnytta, och handlade därefter. Så här i efterskott är det tydligt att deras beslut inte alltid var de bästa. Bevisbördan vilar tungt på dem som hävdar att klimatproblemen är så speciella att de inte behöver utsättas för kapitalmarknadens disciplin.

Val av diskonteringssats utgör inget problem ifall klimatproblemets speciella karaktär utgörs av en rimligt sannolik potentiell katastrof som helt ödelägger den mänskliga civilisationen. Skadan av en sådan klimatkatastrof medför oändligt stora kostnader för mänskligheten, och nuvärdet av denna kostnad förblir oändligt, oavsett när katastrofen inträffar och oavsett diskonteringssats.

Ett exempel på nytto-kostnadsanalysens tillämpning på klimatfrågan illustreras i figur 10.1, som visar beräkningar av den globala nyttan och kostnaden över 280 år av ett aggressivt program för att stabilisera klimatet (Cline, 1992). Programmets årliga nytta förväntas stiga kontinuerligt, från drygt 1 procent av världens BNP omkring 2050 till nästan 5 procent år 2270. Dessa siffror återspeglar det oreglerade klimatets successiva och allt större försämring. Programmet drar tidigt en total årlig kostnad på 3–4 procent av BNP, men denna kostnad faller, beroende både på ekonomisk anpassning och på stigande BNP. Från omkring år 2160 beräknas den årliga nyttan överstiga den årliga kostnaden.

En första okulär utvärdering av klimatpolitiken i detta exempel kräver föga raffinemang. Det är helt tydligt att summan av klimatprojektets nytta blir lägre än kostnaden även när diskonteringssatsen sätts till noll. Efter-som nyttan kommer sent, medan kostnaden inträffar tidigt, blir projektets nuvärde kraftfullt negativt redan vid mycket låga diskonteringssatser. Det



Figur 10.1. Global nytta och kostnad av ett aggressivt program för att stabilisera klimatet.

aggressiva programmet kan inte motiveras ekonomiskt. Om programmets nytta och kostnad rätt återspeglar mänskliga värderingar, är det uppenbarligen mindre mödosamt att anpassa sig till klimatförsämringen än att betala för att slippa ifrån denna försämring.

Det finns egentligen bara två sätt att motivera det exemplifierade programmet på ekonomisk grund. Det *första* är att förlänga tidshorisonten ytterligare, samtidigt som en extremt låg diskonteringsats tillämpas. Om den årliga kostnaden fortsätter att sjunka bortom år 2270, medan nyttan utvecklas enligt tidigare trend, når man till slut en punkt där nuvärdet av den totala nyttan överstiger nuvärdet av den totala kostnaden. Det *andra* är att ersätta basfallet för beräkning av programmets klimatnytta, med ett där nyttan av klimatstabilisering (dvs. skadan på klimatet vid BAU) blir högre än i figuren.

Exemplet i figur 10.1 är just inget annat än ett exempel, men det är instruktivt genom belysning av hur nytto-kostnadsanalys tillämpas, och hur denna analysmetod ger underlag till ekonomiskt rationella beslut. Det går att variera antaganden och förutsättningar i det oändliga, och att ta hänsyn också till faktorer som är svåra att värdera. Men utan nytto-kostnadsanalys är det helt enkelt inte möjligt att hantera klimatfrågan med bibehållen ekonomisk rationalitet.

Fördubbling av atmosfärens koldioxidhalt

Klimatpolitiska diskussioner har ofta fördubbling av atmosfärens koldioxidhalt som en benchmarkvariabel.² Den dominerande uppfattningen under senare hälften av 1990-talet är att en sådan fördubbling kommer att leda till en global temperaturhöjning på 2,5°C, inom ett brett konfidensintervall. Många klimatpolitiska projekt sätter målet för utsläppsbegränsningarna så att koldioxidhalten och temperaturökningen inte överskrider dessa värden. Syftet med tabell 10.1 är att ge en referensram till denna benchmark och detta mål, och att sätta in Kyoto-konferensens exerciser med utsläppsbegränsningar i ett bredare sammanhang.

Den "förindustriella" koldioxidhalten i atmosfären uppgick till 280 miljondelar (ppm), men har genom människans utsläpp ökat till 360 ppm på

² Andra växthusgaser svarar för omkring en tredjedel av den totala mänskligt orsakade växthuseffekten, men i syfte att förenkla behandlas i fortsättningen blott CO₂ explicit. Resultaten av de totala analyser av nyttan för att stabilisera klimatet och av kostnaden för att begränsa utsläppen, som presenteras på följande sidor, inkluderar dock även andra växthusgaser genom att räkna om siffrorna till CO₂-ekvivalenter.

1990-talet. De årliga koldioxidutsläppen grund av mänskliga aktiviteter har expanderat stadigt, och uppgår i slutet på århundradet till omkring 7,3 miljarder ton kol, varav 1,6 miljarder till följd av avskogning, och resten som resultat av fossil förbränning. Det är oklart hur mycket temperaturen har höjts till följd av hittillsvarande utsläpp, men många gissar på omkring 0,5°C. I frånvaro av klimatpolitik kan en fördubbling av koldioxidhalten inträffa någon gång efter mitten av nästa århundrade, samtidigt som de årliga mänskliga utsläppen stigit till 16 miljarder ton kol.

En vanlig ståndpunkt i slutet av 1900-talet är att utsläppen inte får överstiga ett årligt snitt på omkring 7 miljarder ton kol mellan 2000 och 2100, och att de måste hamna betydligt under 5 miljarder ton per år under det därpå följande seklet, för att hindra koldioxidhalten från att öka till mer än 560 ppm. Med en successiv åtstramning av utsläppen i proportion till nivån vid BAU, som tabellens siffror belyser, skall dessa utsläpp redan om 25–30 år ligga 40–50 procent lägre än i frånvaro av klimatpolitik. Detta innebär en mycket strängare åtstramning än vad som uppnås vid en linjär förlängning av Kyoto-besluten.

Tabell 10.1. CO₂-halt i atmosfären, utsläpp och temperatureffekt.

	Halt ppm	Utsläpp mdr t C	Temp.ökning, °Celsius
"Förindustriell"	280	—	—
1990-talet	360	7,3	0,6?
2050 (BAU)	560	16	2,5
Mål			
2000–2100	<560	7 (snitt)	<2,5
Delmål			
2020–2030		7 (40–50% lägre än BAU)	

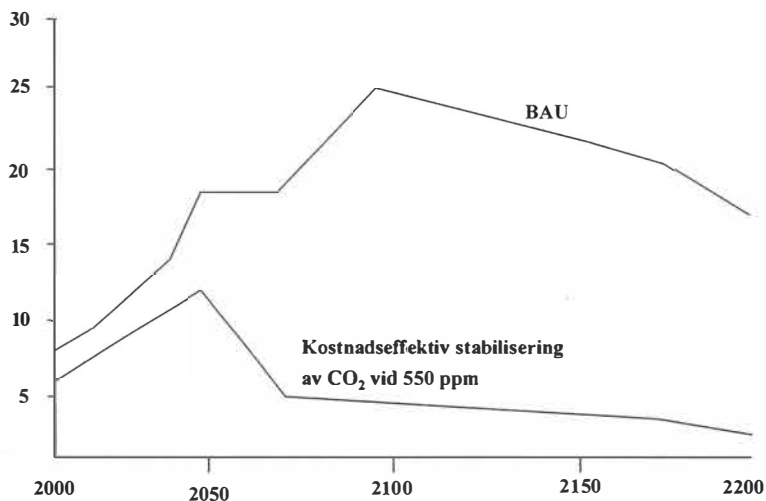
Källa: Cline (1992); SOU (1995).

Figur 10.2 (IPCC, 1996, s. 388) jämför förväntade utsläpp fram till år 2200 vid BAU,³ med ett annat projekt för utsläppsbegränsningar, som ändå når målet att hålla koldioxidhalten under den dubbla "förindustriella" nivån. Utsläppen får öka i denna plan under de närmaste 50 åren, men måste sedan

³ Notera att IPCC:s BAU-scenario IS92a blott sträcker sig till år 2100. Minskningen i utsläppen under de följande åren baserar sig på en extrapolering som gjorts av IPCC vid ett senare tillfälle, under antagandet att fossila bränslen successivt töms ut.

dras ned drastiskt, så att de understiger 5 miljarder ton redan år 2075. Ett sådant projekt kan möjligen vara mera kostnadseffektivt, och ligger förmodligen bakom uppgörelsen i Kyoto. Man skjuter helt enkelt upp de besvärliga och kostsamma besluten. Om Kyoto-uppgörelsen fullföljs kommer industriländerna, som f.n. svarar för omkring hälften av de globala utsläppen (World Bank, 1997), att marginellt minska den absoluta utsläppsnivån under de närmaste decennierna, medan övriga länder fortsätter sin snabba utsläppsexpansion. Först kring mitten av seklet kommer drastiska och synnerligen kostsamma begränsningar att sättas in, med en stor börda också för tredje världen som då måste medverka fullt ut, om det skall finnas en möjlighet att nå det uppsatta målet.

Miljarder ton C.



Figur 10.2. Utsläpp av växthusgaser under 200 år.

Klimatstabiliseringens nytta

Klimatstabiliseringens nytta motsvarar, som jag tidigare noterat, de klimatskador som hade inträffat vid BAU men som undviks med hjälp av klimatpolitiken.

En rad beräkningar har gjorts av de skador som förväntas inträffa ifall koldioxidhalten når 560 ppm, och världens snittemperatur stiger med 2,5°C. De flesta avser enskilda nationer, men ett par har utvidgats till att gälla hela världen (IPCC, 1996, s. 203–205). Globala uppskattningar av Fankhauser (1995) och Tol (1995), som IPCC citerar, pekar på en årlig ska-

dekostnad av storleksordningen 270–320 miljarder dollar, 1,4–1,9 procent av världens BNP i slutet av 1980-talet. En regional fördelning visar, föga överraskande, att rika ekonomier är mindre känsliga för klimatförändringar, men att klimatskadorna blir högre i fattiga länder. Särskilt små skador redovisas för FSU (f.d. Sovjetunionen), där klimatet i utgångsläget är mycket kallt.

De beräknade skadorna synes basera sig på den BNP och de ekonomiska strukturer som existerar kring 1990. I själva verket inträffar dessa skador under senare hälften av 2000-talet, ty det är först då som koldioxidhalten hunnit fördubblas i frånvaro av klimatåtgärder. Med hänsyn till att en successiv uppvärmning ger tydliga förvarningar om annalkande problem, med god tid till anpassning, och till att global BNP hunnit växa betydligt under de kommande 50 åren, bör den *framtida* klimatskadan utgöra en betydligt mindre andel av BNP. Tol själv gör bedömningen att en global uppvärmning på 2,5°C som inträffar i mitten av 2000-talet, kommer att orsaka skador på blott 0,55 procent av världens BNP (IPCC 1996, s. 209), vilket är endast en tredjedel av det som angivits ovan.

Om utsläppen av växthusgaser utvecklas enligt BAU (figur 10.2), och om temperaturen stiger i proportion till den ökande koldioxidhalten i atmosfären, blir klimatskadorna försumbara under de närmaste decennierna. I mitten på seklet kommer de att uppgå till omkring 0,5 procent av BNP, ifall vi sätter tilltro till de beräkningar som just diskuterats. Men uppvärmningen kommer att fortsätta. I ett extremfall har det sålunda hävdats att den globala temperaturökningen kan uppgå till 10°C om 300 år. Även vid betydande anpassningsförmåga kommer skadorna rimligen att öka exponentiellt, med stigande absoluta tillägg till den totala skadesumman för varje grads ytterligare temperaturökning. Men eftersom världens ekonomiska aktivitet samtidigt också förväntas expandera exponentiellt, är det inte säkert att skadan, mätt som andel av BNP, kommer att öka.

Det går inte heller att utesluta att utsläppen av växthusgaser kan leda till en klimatkatastrof, med mångdubbelt större skador än de som hittills diskuterats. IPCC (1996, s. 208–209) nämner tre möjliga katastrofscenarier:

- En skenande växthuseffekt, där den ursprungligt beräknade temperaturuppgången ger sekundära, förstärkande uppvärmningskonsekvenser, t.ex. genom stora metanutsläpp från tinande tundra.
- En omfattande avsmältning av Antarktis som höjer oceanytan med 5–6 meter.
- Ett stopp för Golfströmmen, med dramatiska sänkningar av temperaturen i norra Europa.

Klimatpanelen är dock mycket kortfattad i sin diskussion av dessa katastrofer. Den gör ingen ansats att bedöma sannolikheten för att någon av katastroferna inträffar, eller att beräkna deras ekonomiska följder. Den visar inte ens någon tydlig sambandsrelation mellan utsläppen av växthusgaser och dessa katastrofer. Det är sålunda inte ens klart att sannolikheten för dylika katastrofer ökar på grund av förväntad klimatändring. Det är följaktligen inte heller klart att åtgärder för att stabilisera klimatet kommer att minska risken för att katastroferna inträffar.

Trots rådande osäkerheter har ett antal försök gjorts att identifiera konturnerna av den samhällsoptimala klimatpolitiken över långa tidsperioder. Tillvägagångssättet har varit att integrera värdet av förväntade totala klimatskador vid varierande utsläppsnivåer över tiden, och att beräkna nuvärdet av denna integral. I beräkningarna har skadan av potentiella framtida klimathändelser justerats med hänsyn till dessa händelsers förväntade sannolikhet. Utfallet av skadeberäkningarna har sedan relaterats till utsläppen av koldioxid över tiden, för att få fram samhällskostnaden på marginalen av ytterligare ett ton kol som släpps ut. Om den som släpper ut kol i atmosfären beläggs med en skatt som motsvarar denna samhällskostnad, ersätter han samhället för den skada han förorsakar. Kolskatter beräknade på detta sätt utgör ett sammanfattande, integrerat mått på klimatpolitikens marginella nytta.

Fem oberoende beräkningar för den samhällsoptimala klimatpolitiken presenteras av Klimatpanelen (IPCC, 1996, s. 215). Resultaten sammanfattas i vänstra kolumnen av tabell 10.2. Nyttan av att minska utsläppen stiger, som synes, över tiden. Detta beror på att skadorna bedöms öka mer än proportionellt för varje grads temperaturökning. Nyttan av att hejda klimatändringar, beräknad per ton kol som inte blir utsläppt, blir följaktligen större år 2095, när det redan blivit varmare, än år 1995.

Med ett undantag (se nedan) redovisar studierna relativt låga siffror för fossil beskattning. Utsläppsminskningen på grund av beskattningen blir följaktligen liten. I den optimala klimatpolitiken hamnar utsläppsnivåerna blott 5–10 procent under den nivå de skulle ha nått vid BAU i slutet av 1900-talet, och 10–30 procent under BAU hundra år senare (Fankhauser, 1994; Nordhaus, 1994; Tol, 1994). Det förefaller uppenbarligen vara lättare att anpassa sig till klimatförändringar än att bära kostnaden för klimatstabilisering.

Kolskatterna gör det möjligt att beräkna total årlig nytta av den optimala klimatpolitik som identifierats i studierna. Jag gör det i kolumnerna 2 och 3 i tabell 10.2. Av två skäl utgör de värden jag presenterar en överskattning av nyttan. För det *första* har jag för enkelhetens skull antagit att den marginella nyttan av utsläppsbegränsningar är lika med den genomsnittliga. Detta överdriver klimatpolitikens nytta. Om utsläppen redan min-

skats kraftfullt, bör nyttan av ytterligare reduktioner vara väsentligt mindre än vid reduktioner från ursprungsläget. För det *andra* har jag genomgående antagit en global BNP-tillväxt på 2,5 procent per år. I 1900-talets perspektiv är detta är en mycket låg siffra. Om BNP-tillväxten blir snabbare kommer klimatstabiliseringens nytta att bli mindre, uttryckt i procent av BNP.

Tabell 10.2. Klimatstabiliseringens nytta.

År	\$ per ton C utsläpps- minskning	Totalt, mdr \$	Procent av global BNP
1995	5–20	37– 146	0,1–0,5
2025	10–28	120– 336	0,2–0,6
2095	21–90	500–2 200	0,2–0,7

Undantaget i de redovisade bedömningarna utgörs av Cline (1992) som presenterar två värden, varav det ena faller inom intervallen ovan, medan det andra hamnar långt ovanför, nämligen \$ 124 per ton utsläppt kol för år 1995, \$ 221 för år 2025 och \$ 243 för år 2095. Först om kolskatterna hamnar på sådana nivåer, kan man realistiskt förvänta sig utsläppsbegränsningar i nivå med det som behövs för att hejda ökningen av koldioxidhalten i atmosfären, när den nått 560 ppm.

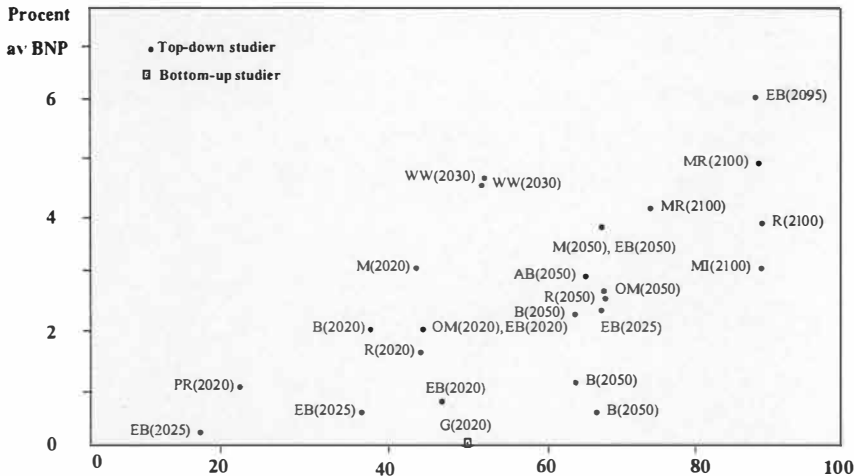
Grunden för den stora avvikelser i Clines andra sifferserie är inte att han har en radikalt annorlunda syn på klimatets utveckling, utan en artificiellt låg diskonteringssats vid nuvärdesberäkningen. På bas av dessa extremvärden kan nyttan av den dramatiska klimatpolitiken beräknas till 3,2 procent av global BNP år 1995, 4,5 procent år 2025 och 1,8 procent år 2095.

Klimatstabiliseringens kostnad

Kostnader för klimatstabilisering uppstår främst för att billiga fossila bränslen måste ersättas med dyrare icke kolbaserade alternativ, men delvis också därför att den totala energiförbrukningen tvingas ned. Introduktion av kolskatter leder till betydande och utsträckta omställningskostnader. Den globala ekonomins smärtsamma och utdragna anpassning till högre oljeprisnivåer under 1970-talet illustrerar de problem som måste bemästras i samband med mera djupgående försök att stabilisera klimatet. Dessa kost-

nader skall ställas mot nyttan, identifierad i föregående avsnitt, när klimatpolitiken utvärderas i en nytto-kostnadsanalys.

Resultaten från en rad beräkningar av den globala årliga kostnaden för klimatpolitiska projekt med varierande ambition redovisas i figur 10.3 (Richels och Sturm, 1996. IPCC, 1996, redovisar ett flertal snarlika resultat från delvis samma studier.) För varje beräkning visar figuren det år som avses, begränsningens ambitionsnivå, och kostnad, uttryckt i procent av global BNP. Föga överraskande stiger kostnaden med ökande ambitionsgrad.



Figur 10.3. Globala kostnader för att minska utsläppen av CO₂. Resultat av 24 studier. Procentuell utsläppsminskning från BAU vid angiven tidpunkt.

Resultaten har en vid spridning även vid likartad ambition. För år 2050 t.ex., redovisas kostnader för utsläppsbegränsningar på mellan 60 och 70 procent från BAU-nivån i sex av studierna inom ett brett intervall mellan 0,5 och 4 procent av global BNP. Särskilt i de debatter som föregick konferensen i Kyoto, har förespråkarna för en djupgående klimatpolitik tagit fasta på den stora variationen, och hävdade att omfattande utsläppsbegränsningar inte alla behöver vara särskilt kostsamma. Vissa har till och med menat att klimatpolitiken inte bara är kostnadsfri, utan avkastar ekonomisk nytta helt vid sidan av den som följer av förbättrat klimat.

Underlaget för sådana påståenden granskas i en nyttkommen skrift från *World Resources Institute* (WRI), och återges här i ett sammandrag (Repetto och Austin, 1997). WRI-studien konstaterar att huvuddelen av de redovisade kostnadsskillnaderna för klimatpolitiken inte beror på de använda modellernas struktur, utan på alternativa antaganden för ett fåtal faktorer av kritisk betydelse för kostnadsnivån. Med utgångspunkt från inte mindre

än 16 modellansatser analyserar WRI-forskarna sedan hur kostnaderna för en djupgående klimatpolitik i USA år 2020 varierar beroende på de antaganden som gjorts. Slutsatserna torde i modifierad form vara tillämpliga också på global nivå. Tabell 10.3 redovisar resultaten, i procent av USA:s BNP.

Med "pessimistiska" antaganden för alla kritiska faktorer överstiger kostnaden 7 procent av USA:s BNP. Men med allt fler positiva antaganden kommer klimatpolitiken att kosta allt mindre, för att till slut i stället ge ett positivt bidrag på hela 4,5 procent till BNP. På flera punkter kräver den successivt allt större optimismen en kritisk granskning.

Tabell 10.3. USA, BNP-utfall år 2020 vid 60 procents utsläppsreduktion, jämfört med BAU, under allt mera "optimistiska antaganden."

	Utfall för aktuell faktor, %	Kumulativt utfall, %
"Pessimistiska" antaganden för alla kritiska faktorer		-7,2
1. Handel med utsläppsrätter nationellt och internationellt	+1,4	-5,8
2. Alternativ till fossiler finns i obegränsad mängd till konstant kostnad (backstop)	+1,8	-4,0
3. Anpassningsförmågan på makro- och mikronivå mycket större än historisk	+3,6	-0,4
4. Fossilskatten finansierar eliminering av tillväxt- hämmande skatter	+2,6	+2,2
5. Positiv hälsoeffekt av minskade luftföroreningar när fossilanvändningen reduceras	+2,3	+4,5

Optimisterna antar, för det *första*, att klimatpolitiken medför att såväl hushållen som samhällsekonomin i stort beter sig mycket flexiblare än vad de gjort under gångna decennier. Den större smidigheten minskar kostnaden för anpassning till klimatåtgärderna. Viktigare är dock att ökad flexibilitet får ekonomin att fungera effektivare, så att BNP ökar snabbare än vad den annars hade gjort.

Optimisternas *andra* antagande är att den omfattande skatten på fossila

bränslen kommer att ersätta en rad existerande skatter som är ineffektiva och tillväxthämmande. Denna reform av skattesystemet släpper loss produktivkrafterna, och lyfter BNP ytterligare ett snäpp.

Det *tredje* antagandet är att ersättningen av fossila bränslen med andra energiformer resulterar i dramatiskt minskade luftföroreningar, med betydande nytta i form av bättre hälsa.

Kombinationen av dessa tre antaganden får en positiv BNP-effekt på sammanlagt 8,5 procent. Från att ha utgjort en tung belastning, förvandlas klimatpolitiken, simsalabim, till en åtgärd som är positiv för samhällsekonomin, och detta redan innan vi tagit hänsyn till nyttan av stabila klimat. Klimatpolitiken befrämjar tillväxten, och BNP blir flera procentenheter högre än vad den annars hade varit.

En närmare granskning visar att denna slutsats utgör ett luftslott utan någon grund i klimatpolitiken. Det finns all anledning att vidta åtgärder för att öka samhällsekonomin flexibilitet, men inga som helst skäl att tro att denna flexibilitet skulle bli större *på grund av* klimatpolitiska interventioner. Det finns också all anledning att rationalisera skattesystemet, men inga som helst skäl att tro att sådan rationalisering underlättas av nya skatter på fossil förbränning. De positiva effekter som entusiasterna identifierar är i högsta grad önskvärda, men har inget med klimatpolitik att göra.

För att klimatpolitiken skall leda till bättre luftkvalitet måste kol, olja och gas ersättas av energiformer som ger mindre utsläpp av svavel, kväveoxider, stoft och annat med menlig hälsopåverkan. Kärnkraften uppfyller detta villkor. Solenergin är också ren, men såväl tekniken som ekonomin talar mot dess massiva utbyggnad under de närmaste 20 åren. Biobränslen har större förutsättningar att expandera i stor skala. Luftföroreningarna vid förbrukning av biobränslen är dock betydligt större per energienhet, än från de fossila bränslen som blir ersatta. De gynnsamma hälsoeffekterna av klimatpolitiken framstår i detta perspektiv som en chimär.

Det finns följaktligen ingen grund för optimisternas uppfattning att klimatpolitiken är kostnadsfri. Om målet är att stoppa atmosfärens koldioxidhalt vid 560 ppm, två gånger den "förindustriella" nivån, måste de globala utsläppen redan år 2050 begränsas till omkring hälften av den nivå de skulle haft vid BAU, och mycket mera därefter. En sådan politik kommer, konservativt räknat, att dra en permanent årlig kostnad på åtminstone 2 procent av global BNP, och kanske betydligt mera. Det är fråga om mycket stora summor. 1995 uppgick världens BNP till 28 000 miljarder \$. Med 2,5 procents årlig tillväxt hamnar den på 100 000 miljarder år 2050. 2 procent av global BNP blir lika med 560 miljarder år 1995 och 2 000 miljarder år 2050. Så mycket kommer det att kosta, per år, att uppfylla det här uppsatta klimatmålet. Stor eftertanke erfordras för beslut om att spendera så stora summor.

Syntes och slutsatser

Min diskussion av klimatpolitikens nytta och kostnad baserar sig i huvudsak på Klimatpanelens egna analyser och forskningsresultat. Den bild som avtecknas talar inte till förmån för en ambitiös politik att stabilisera klimatet. Stabiliseringens ekonomiska nytta framstår som begränsad, medan kostnaden för stabiliseringsåtgärderna är betydande. Det går inte att räkna hem en sådan politik med hjälp av nytto-kostnadsanalys.

Beskattning av kolutsläpp i atmosfären som motsvarar den beräknade samhällsnyttan av sådana utsläpp leder till relativt små reduktioner av utsläppen. Samhällsnyttan maximeras vid en klimatpolitik med betydligt lägre ambitionsnivå än den som eftersträvar att hejda atmosfärens koldioxidhalt på dubbel "förindustriell" nivå. Föreliggande analyser pekar på att det är ekonomiskt fördelaktigare att anpassa sig till förestående klimatändring än att vidta åtgärder så att den inte inträffar.

Ett tydligt hot om en överväldigande klimatkatastrof kunde utgöra motiv för vidlyftig klimatstabilisering med höga kostnader. Med dagens kunskapsläge är arten av och sannolikheten för en klimatkatastrof inte identifierade. Dessutom är sambanden mellan BAU och klimatpolitik med olika inriktningar, å ena sidan, och en framtida klimatkatastrof, å den andra, inte klarlagda. Det går följaktligen inte att identifiera en klimatpolitik som ändamålsenligt minskar risken för klimatkatastrof.

Klimatfrågan är av utomordentlig vikt för mänskligheten, men det djupa och kostsamma klimatprogrammet bör anstå tills vi har bättre grepp om sambanden. Till dess bör klimatåtgärderna begränsas till de mindre ambitiösa aktiviteterna med lägre kostnader, som identifierats i IPCC:s underlagsstudier. Fortsatta ambitiösa satsningar för att öka kunskapen om de naturvetenskapliga och ekonomiska sambanden mellan utsläpp av växthusgaser, klimatförhållandena och samhällskonsekvenserna, framstår som mycket angelägna.

De som pläderar för omedelbara, djupgående och kostsamma klimatåtgärder, finns nästan genomgående i den rika världen. De stöder ofta sin argumentation på etiska grunder. De menar bl.a. att nytto-kostnadsanalysen underskattar immateriella värden, att den inte tar nödig hänsyn till tredje världen som väger lätt i den globala ekonomin, och att den genom diskontering av nytta och kostnad till nuvärdet negligerar framtida generationer.

Följande tablå stiliserar konsekvenserna av klimatåtgärder mellan länder och generationer. Den utgår, realistiskt, tror jag, från att rika länder får svara för huvuddelen av klimatpolitikens kostnader, men att huvuddelen av nyttan tillfaller framtida generationer i tredje världen. Ivern att genast iklä-

da sig stora kostnader för klimatstabilisering kan i detta schema ses som ett bistånd från nuvarande generation i rika länder till framtida generationer i den fattiga världen (Schelling, 1995). Inställningen synes inte så lite paternalistisk. Den fattiga världens nuvarande generation borde få uttrycka sin mening om hur de potentiella anslagen skall utnyttjas, särskilt som stor oklarhet råder om klimatpolitikens nytta. Det är osannolikt att den nu levande generationen i u-länderna skulle välja klimatstabilisering framför åtgärder för att få bukt med flera svårartade aktuella gissel.

	<u>Rika länder</u>		<u>Fattiga länder</u>	
	<u>Nytta</u>	<u>Kostnad</u>	<u>Nytta</u>	<u>Kostnad</u>
Nuvarande generation	Ingen	Stor	Ingen	Liten
Framtida generationer	Liten	Stor	Stor	Liten

Antal räddade liv är nog den mest basala, om än mycket ofullständiga, metoden att värdera mänsklig nytta. Detta påstående lär vara svårt att ifrågasätta på etiska grunder. Jag bortser för ögonblicket från alla andra nyttor, och studerar utfallet i vad avser överlevnad, när resurser alternativt avsätts för klimatstabilisering eller för det otvetydigt angelägna ändamålet att rädda människor från ond, bråd död.

Det ambitiösa klimatprogrammet som avser att stabilisera atmosfärens koldioxidhalt på dubbel "förindustriell" nivå beräknas tidigt dra en kostnad på uppåt 2 procent av BNP, åtminstone 500 miljarder \$ per år. Det är oklart om och när och i vilken omfattning detta program kommer att rädda liv, men effekten lär bli måttlig, och inträffa långt in i framtiden.

Anta att den rika världen i stället avsätter samma årliga summa på ett program för att förhindra ond, bråd död. Tio-tals miljoner människor, i huvudsak i tredje världen, dör årligen av malaria och tuberkulos, ännu fler, mest barn, dör av dysenteri som orsakas av infekterat vatten i kombination med undernäring. Frikostigt räknat skulle 5 000–10 000 \$ räcka för att förhindra varje sådant för tidigt dödsfall, och ett årligt utlägg på 500 miljarder \$ kunde därför rädda 50–100 miljoner liv, säkert och nu!

Förespråkare av en omedelbar, djupgående och kostsam klimatpolitik vill som regel inte acceptera de ekonomiska argumenten mot en sådan klimatpolitik. Men kan de då, ens på etiska grunder, förordna klimatstabiliseringen framför livräddningsalternativet?

Referenser

- Cline, W. (1992), *The Economics of Global Warming*, Institute for International Economics, Washington D.C.
- Fankhauser, S. (1994), The Social Costs Of Greenhouse Gas Emissions: An Expected Value Approach, *Energy Journal*, Vol 15, nr 2.
- Fankhauser, S. (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*, Earthscan, London.
- IPCC (1996), *Climate Change 1995 – The Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Nordhaus, W. D. (1994), *Managing the Global Commons, The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge Mass.
- Repetto R., Austin, D. (1997), *The Costs of Climate Protection: A Guide for the Perplexed*, World Resources Institute, Washington D.C.
- Richels, R., Sturm, P. (1996), The Costs of CO₂ Emission Reductions, *Energy Policy*, Vol 24, nr 10–11.
- Schelling, T. (1995), Intergenerational Discounting, *Energy Policy*, Vol 23, nr 4–5.
- SOU (1995), *Jordens klimat förändras*, Klimatdelegationen SOU 1995:96, Stockholm.
- Tol, R. (1994), The Damage Costs of Climate Change: A Note on Tangibles and Intangibles Applied to DICE, *Energy Policy*, Vol 22, nr 5.
- Tol, R. (1995), The Damage Costs of Climate Change: Towards More Comprehensive Calculations, *Environmental and Resource Economics*, Vol 5, s. 353–374.
- World Bank (1997), *World Development Report 1997*, Washington D.C.

11.

Den svenska klimatpolitiken

Karl-Axel Edin

Om storleken på koldioxidskatten är ett mått på de klimatpolitiska ambitionerna skulle Sverige vara världsledande. Sverige är det land i världen som har den högsta koldioxidskatten. Av alla världens länder är det bara Sverige och på senare tid våra grannländer som över huvud taget har gjort något konkret för att minska sina koldioxidutsläpp. Svenskarna betalar varje år över 10 miljarder kronor i koldioxidskatt. Vad gör skatten för nytta? Kan Sverige med bara några få promille av de globala utsläppen påverka jordens klimat?

Klimatfrågan i svensk politik

Klimatfrågan aktualiserades på allvar i svensk politik 1988. Bakgrunden var den dåvarande socialdemokratiska regeringens planer på att två kärnreaktorer skulle avvecklas. Moderata samlingspartiet motsatte sig detta, bland annat med hänvisning till att en avveckling skulle leda till ökad användning av kol och olja och till ökade utsläpp av koldioxid. Man föreslog därför att riksdagen skulle besluta om att utsläppen av koldioxid i Sverige skulle begränsas. Riksdagen beslutade sedan i enlighet med Moderaternas förslag. Beslutet att sätta upp mål för de svenska koldioxidutsläppen stöddes av Miljöpartiet eftersom minskade koldioxidutsläpp skulle kunna bana vägen för förnybara energikällor i Sverige. Också Centern stödde förslaget.

Nästa steg var när koldioxidskatten infördes i Sverige. Energiskatter infördes i Sverige redan i början av 1980-talet. Motivet var att öka statens inkomster för att minska det då stora budgetunderskottet. En stor höjning gjordes 1991 för att minska de stora statliga budgetunderskotten. Det var

i samband med detta som man införde en särskild koldioxidskatt som ett tillägg på den tidigare energiskatten.

I verkligheten hade därför införandet av koldioxidskatten lite att göra med klimatfrågan. Skatten kom till för att minska statens budgetunderskott. I förslaget om skattehöjningen kunde emellertid regeringen hänvisa till riksdagsuttalandet från 1988 om att utsläppen av koldioxid i Sverige skulle begränsas.

Det fanns alltså flera politiska drivkrafter bakom klimatpolitiken och koldioxidbeskattningen. De som var emot avveckling av svensk kärnkraft kunde utnyttja klimatpolitiken för att försvåra en kärnkraftavveckling. Finansdepartementet såg chansen att utnyttja klimatfrågan för att höja skatterna. Miljöpartiet och miljögrupper inom de andra partierna såg möjligheterna att främja förnybara energikällor genom höjda skatter på olja och kol. Centerpartiet såg möjligheterna för skogsägarna att få avsättning för torv och ved.

Olika politiska grupperingar har alltså haft olika motiv för att staten skulle bedriva en aktiv klimatpolitik. En utvärdering av svensk klimatpolitik kan därför göras utifrån flera mål, varav det officiella målet att minska koldioxidutsläppen bara är ett. Jag skall emellertid koncentrera mig på det officiella målet för klimatpolitiken, nämligen att begränsa utsläppen av koldioxid.

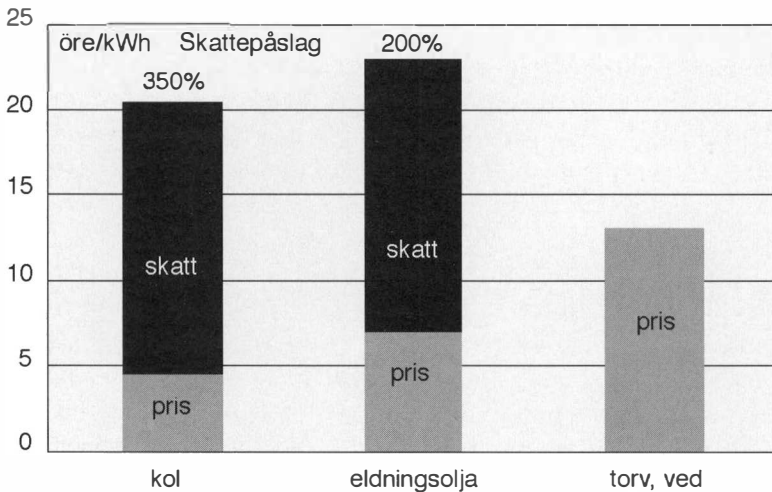
Koldioxidskatten

Av de statliga åtgärder som staten har infört inom ramen för klimatpolitiken är koldioxidskatten den som kostar mest pengar och som har den största effekten på koldioxidutsläppen i Sverige.

Den första frågan man kan ställa sig är hur man kommit fram till att koldioxidskatten skall vara just 37 öre per kg kol, som den är idag. Grundförutsättningen för att en miljöskatt skall vara effektiv är att den svarar mot den skada som utsläppen orsakar. Den svenska koldioxidskatten saknar helt anknytning till skadan, eftersom vi inte vet vilken skada koldioxiden orsakar. Man vet ju inte ens om den orsakar någon skada. Det är för att få svar på den frågan som hundratals forskare har engagerats världen över. Ännu har de inte kommit fram till något svar. Storleken på koldioxidskatten har i verkligheten bestämts av behovet att höja skatterna.

Effekterna på koldioxidutsläppen

Utsläppen av koldioxid i Sverige är runt 60 miljoner ton per år. Det motsvarar knappt 0,3 procent av de globala utsläppen. De svenska energi- och koldioxidskatterna har uppskattningsvis lett till att de årliga utsläppen av koldioxid i Sverige blivit 10 miljoner ton lägre.



Figur 11.1. Energi- och koldioxidskatterna på olja och kol är mycket höga i Sverige.

Minskningen har åstadkommit stora kostnader. Den fråga man bör ställa sig är om man fått största möjliga valuta för de pengar som satsats på att minska utsläppen.

En värdering av den svenska klimatpolitiken bör beakta att Sverige i stort sett är det enda land som har infört åtgärder mot koldioxidutsläpp. Detta innebär att effekten av den svenska politiken reduceras. En politik som är rationell om den samordnas med klimatpolitiken i andra länder kan vara ineffektiv om ett enskilt land gör saker på egen hand.

Retorik och praktik

När man tittar på vad andra länder gör måste man skilja mellan retorik och praktik. Många länders regeringsrepresentanter och politiker har uttalat sig för kraftfulla åtgärder för att minska utsläppen av koldioxid. Efter den sto-

ra klimatkonferensen i Rio har också många regeringar skrivit under det internationella klimatavtalet. Både uttalandena och avtalen är emellertid vaga.

För att en regering skall kunna påverka hushåll och företag att begränsa sina koldioxidutsläpp fordras konkreta åtgärder i form av skatter eller lagar. Det räcker inte med uttalanden. Av industriländerna är det förutom Sverige bara Danmark, Finland och Norge som har koldioxidskatt. Inga andra länder har infört några verkningsfulla åtgärder för att begränsa sina koldioxidutsläpp.

Det är alltså än så länge stor skillnad mellan retorik och praktik. Exempelvis nämns ofta Nederländerna som ett föregångsland genom att man där ger subventioner i syfte att begränsa koldioxidutsläppen. Subventionerna är emellertid ganska små. De motsvarar bara någon procent av de totala energikostnaderna. Detta kan jämföras med Danmark och Sverige där energi- och koldioxidskatten motsvarar ett energiprispåslag på mer än 100 procent.

Inom EU diskuterades för några år sedan att införa en skatt på tre öre per kg koldioxid, mindre än en tiondel av den svenska skatten. Förslaget föll emellertid därför att kostnaden ansågs vara för stor. EU ville invänta konkreta åtgärder från andra industriländer.

Vid sitt tillträde som president i USA 1993 försökte Clinton införa en koldioxidskatt i USA på motsvarande två öre per kg koldioxid. Liksom i flera andra länder där man diskuterat införande av en koldioxidskatt var syftet med presidentens förslag framför allt att minska budgetunderskottet. Clintons förslag föll emellertid, bl.a. för att kongressen ansåg att skatten skulle skada USA:s industri.

Trots många politiska uttalanden från olika staters regeringar som gjorts om behovet av att minska koldioxidutsläppen har alltså nästan inga länder gjort något konkret. De stater som infört koldioxidskatt, dvs. de nordiska länderna, svarar för mindre än 1 procent av de globala utsläppen. Över 99 procent av de globala utsläppen är alltså obeskattade.

Koldioxidskatt anses allmänt vara ett effektivt politiskt instrument för att begränsa koldioxidutsläppen. Genom att Sverige agerat på egen hand förtas emellertid en stor del av effekten eftersom skatten leder till att en del av utsläppen i Sverige flyttar utomlands där utsläppen inte beskattas.

När man värderar effekten av den svenska klimatpolitiken är det därför inte utsläppsminskningen i Sverige som skall räknas utan den minskning av de globala utsläppen som den svenska politiken lett till.

Import av obeskattade bränslen

En effekt av den svenska koldioxidskatten är att det kan vara mycket lönsamt att importera ved, torv, avfall och annat som går att elda med till Sverige i stället för att importera olja.

Vi kan ta ett par exempel. Tallbeckolja är en biprodukt från skogsindustrin och är obeskattad. Den används ofta som bränsle. På grund av att skatten på vanlig eldningsolja nu är så hög i Sverige har det blivit mycket lönsamt att elda med tallbeckolja. Eftersom tillgången i Sverige inte räcker till importeras stora mängder beckolja, främst från USA.

Effekten av den svenska energi- och koldioxidskatten är i detta fall att man transporterar beckolja många hundra mil från USA över Atlanten till Sverige för att elda den i Sverige i stället för i USA. De som tidigare eldade med beckolja i USA eldar nu med vanlig eldningsolja sedan Sverige börjat importera beckoljan. Sverige tar på sig en extra kostnad på nästan 100 miljoner kr per år för detta. Koldioxidutsläppen minskar inte, tvärtom orsakar den onödiga transporten över Atlanten extra utsläpp av koldioxid. Effekten av den svenska klimatpolitiken är i detta fall att man tar på sig en stor extra kostnad utan att man vinner något.

Ett annat exempel är att svenska värmeverk på grund av den svenska koldioxidbeskattningen importerar olivkärnor från Tunisien och Spanien. Där används olivkärnor som ersättning för kol. Effekten av den svenska politiken är i detta fall att man transporterar olivkärnor från Tunisien och Spanien till Sverige för att där kunna elda olivkärnor i stället för kol, och att Tunisien och Spanien får börja elda kol i stället för olivkärnor. Sverige tar på sig en kostnad på 50 miljoner kr per år vars enda effekt är att koldioxidutsläppen flyttar från Sverige till Tunisien och Spanien.

Flera andra exempel finns på import av obeskattade bränslen till Sverige, som är meningslös från koldioxidsynpunkt. Vad som har hänt är en bra illustration till de problem som uppkommer när ett enskilt land på egen hand försöker vidta åtgärder för att minska sina koldioxidutsläpp. För en öppen ekonomi som den svenska är effekter av det här slaget oundvikliga.

Utflyttning av industri från Sverige

En annan effekt av den svenska koldioxidskatten gäller industrin. Den svenska industrin är i genomsnitt mycket energiintensiv och därför känslig för höjningar av energipriserna. Om koldioxidskatten är högre i Sverige än i omvärlden kommer en del av den energiintensiva industrin att konkurre-

ras ut av företag i andra länder som inte har koldioxidskatt. Det innebär att produktionen av energikrävande produkter flyttar från Sverige till utlandet. Koldioxidutsläppen minskar i Sverige men ökar i motsvarande grad i andra länder. Till den del koldioxidskatten drabbar den energiintensiva industrin har den därför liten effekt på de globala koldioxidutsläppen även om utsläppen från svensk industri skulle minska.

Grovt kan man uppskatta att "läckaget" av koldioxid till utlandet är över 50 procent. Samtidigt som koldioxidutsläppen i Sverige minskat med 10 miljoner ton per år har de ökat med mer än 5 miljoner ton i omvärlden som en följd av den ensidiga svenska energibeskattningen. Resultatet av den svenska klimatpolitiken skulle då vara att de globala utsläppen minskat med högst 5 miljoner ton per år. Det motsvarar 0,015 procent av de totala globala utsläppen.

Vad kostar energibeskattningen?

Nästa fråga blir då vad det kostar Sverige att åstadkomma denna minskning av de globala utsläppen.

Kostnaderna för koldioxidskatten består bl.a. i att företag och hushåll använder dyra bränslen, som exempelvis torv och ved, i stället för billiga bränslen som olja och kol. Det blir snart stora extrakostnader eftersom torv och ved kostar tre gånger så mycket som kol, som är det konkurrerande bränslet. Man har också investerat flera miljarder kronor för att bygga om sina anläggningar så att man kan elda med ved, torv och andra obeskattade bränslen.

Totalt kan man uppskatta att energi- och koldioxidskatterna har lett till att kostnaderna för energiförsörjningen blivit 6 miljarder kr per år högre genom att vi använder dyrare bränslen i stället för billigare.

De åtgärder i Sverige som kostar minst är ofta att ersätta olja eller kol med ved i värmeverk. Här är kostnaden ofta 50 öre per kg koldioxid. Vi skall använda detta som riktmärke för att värdera andra typer av åtgärder.

Om den svenska klimatpolitiken begränsades till koldioxidskatt skulle kostnaderna anpassas till denna nivå, dvs. runt 50 öre per kg koldioxid. Den stora fördelen med en koldioxidskatt är just att företag och hushåll får intresse av att begränsa koldioxidutsläppen på ett kostnadseffektivt sätt. De som kan minska sina utsläpp till en kostnad på runt 50 öre per kg koldioxid vinner själva på att göra det. Staten behöver inte lägga sig i några detaljer om vad hushåll och företag skall göra. Den effektivaste klimatpolitiken skulle därför vara att begränsa sig till en viss enhetlig koldioxidskatt.

Onödigt dyra åtgärder

Men klimatpolitiken har inte nöjt sig mig detta. Vid sidan om koldioxid-skatten gör staten punktinsatser på flera områden. Ett sådant är vedeldade kraftverk. Staten ger stora investeringsbidrag som lett till att många miljarder kronor har satsats på att bygga sådana kraftverk. Tillsammans har staten och flera kommuner satsat flera miljarder kronor av skattemedel. Att producera elektricitet i vedkraftverk är emellertid ett mycket dyrt sätt att minska koldioxidutsläppen. Det kostar ofta mer än 1 kr per kg. Samma sak gäller vindkraftverk som staten också ger bidrag till.

Ett viktigt inslag i den svenska klimatpolitiken har varit att med riktade åtgärder minska koldioxidutsläppen från vägtrafiken. Eftersom både bensin och dieselolja är belagda med koldioxidskatt skulle man emellertid inte behöva vidta några ytterligare åtgärder. Koldioxidskatten dämpar automatisk vägtrafiken. Att vidta särskilda åtgärder för vägtrafiken är dessutom extra dyrt därför att bensinen redan tidigare är så högt beskattad. Den används ju sedan länge som en skattkälla för staten. Att minska koldioxidutsläppen från vägtrafiken utöver vad som blir en automatisk följd av koldioxidskatten kostar mer än 1 kr per kg koldioxid.

Ännu dyrare är det att ersätta bensin med etanol. Här satsar staten och kommuner också mycket skattemedel. För det första är etanol mycket dyrare att tillverka än bensin, fyra gånger. För det andra går det åt ganska stora mängder kol, olja och naturgas när man tillverkar etanol. Därför får man inte så stor minskning av koldioxidutsläppen.

Etanol tillverkas vanligtvis av spannmål. Odling av spannmål fordrar gödsling. Gödsel tillverkas med stor insats av naturgas och kol. Det går åt dieselolja i jordbruksmaskinerna och i de lastbilar som transporterar spannmålen till fabriken där den omvandlas till etanol. Vid jäsning och destillation av spannmålen till sprit går det åt olja, kol och elektricitet. Tittar man närmare på det här visar det sig att det går åt så mycket kol, olja och naturgas när man tillverkar etanol av spannmål att det är osäkert om koldioxidutsläppen över huvud taget blir mindre med etanol än med bensin. En utredning från OECD har kommit fram till att utsläppen av koldioxid till och med blir större med etanol än med bensin. En svensk statlig utredning har kommit fram till att ersättning av bensin med etanol kostar mer än 3 kr per kg koldioxid.

Ett annat inslag i klimatpolitiken är att ersätta lastbilstransporter med tågtransporter. Här har man dock glömt bort att tågen tar en stor del av sin energi från koleldade kraftverk. Tar man med det i beräkningen visar det sig att tåg och lastbil ger ungefär lika stora koldioxidutsläpp. Att ge järnvägstrafiken statliga bidrag för att den skall ta över lastbilstransporter är ett mycket dyrt sätt att minska koldioxidutsläppen.



Figur 11.2. De svenska klimatåtgärderna spänner över ett brett kostnadsfält, från en kostnad på ett par ören till över 3 kr per kg.

Staten och kommunerna kastar varje år flera hundratals miljoner kronor i sjön på ineffektiva åtgärder för att minska koldioxidutsläppen. Man kan tycka att om Sverige skall minska sina koldioxidutsläpp borde man satsa på de åtgärder som ger mest valuta för pengarna. För vissa åtgärder kan effekten av åtgärderna bli att de globala koldioxidutsläppen blir högre, exempelvis ersättning av bensin med etanol.

Varför skall svenskar ta på sig en större börda än andra?

En mera grundläggande fråga som svenska medborgare kan ställa sig är varför Sverige, som i stort sett enda land i världen, skall ta på sig en extra årlig kostnad på flera miljarder kronor för att minska de globala koldioxidutsläppen. Om det skulle visa sig att utsläpp av koldioxid utgör ett reellt hot mot klimatet kommer inte medborgarna i Sverige att drabbas mer än medborgarna i andra länder. Tvärtom hör Sverige till de länder som skulle drabbas minst.

Den minskning på 0,015 procent som den svenska klimatpolitiken åstadkommit är alldeles för liten för att ha någon betydelse för jordens klimat. Utsläppsminskningen är för liten för att över huvud taget kunna mätas. Ingen kommer att tacka svenskarna för att de tagit på sig denna börda.

Sverige – det goda exemplet

Ett ofta anför mot för den svenska klimatpolitiken är att Sverige genom sitt agerande skall påverka de andra staterna att följa Sveriges exempel. Efter den stora klimatkonferensen i Kyoto i slutet av 1997 vet vi att den svenska klimatpolitiken har misslyckats på denna punkt. Det internationella avtal som man kom överens om innebär ganska små och vaga åtaganden. Att införa en internationell koldioxidskatt på svensk nivå var aldrig på dagordningen. Propåer om att införa någon form av internationell koldioxidskatt hade fallit långt före konferensen. De åtaganden som deltagarstaterna gjorde motsvarar en koldioxidskatt som är en bråkdel av den svenska.

Sveriges tidigare strategi att övertyga andra stater att följa Sveriges exempel har inte bara varit misslyckad, den riskerar också att bli kostsam för Sverige. Ett resultat kan nämligen bli att Sverige genom Kyoto-avtalet tvingas minska sina koldioxidutsläpp mer än andra länder.

Den svenska förhandlingsstrategin skilde sig från de flesta andra länders. De förklarade sig vara beredda att medverka i internationellt samfälliga åtgärder, men bara under förutsättning att ett tillräckligt stort antal länder är med och delar på kostnaden. Detta borde också ha varit Sveriges strategi.

Svensk industri gynnas

Ytterligare ett ofta framfört mot för den svenska klimatpolitiken är att Sverige genom att genomföra omställningen till en mera koldioxidfri ekonomi kommer att ha ett bättre ekonomiskt utgångsläge när andra stater om några år tvingas minska sina koldioxidutsläpp.

Också på denna punkt vet vi efter Kyoto-konferensen att den svenska klimatpolitiken varit missriktad. Kyoto-avtalet innebär långt svagare åtgärder mot koldioxidutsläpp än som tillämpats i Sverige. Den förda klimatpolitiken innebär därför att svensk industri har anpassats till en mycket högre koldioxidskatt än industrin i andra länder kommer att få betala i framtiden. Följden blir att svensk industri fått ett sämre konkurrensläge, inte ett bättre som varit avsikten.

Varför åtgärder i Sverige?

Det grundläggande problemet för Sverige att begränsa de globala koldioxidutsläppen är att det är dyrt för ett litet land som Sverige att minska kol-

dioxidutsläppen så mycket att det har någon betydelse för den globala situationen. Sverige svarar ju bara för 0,3 procent av de globala utsläppen. Inte ens om Sverige kunde reducera sina utsläpp till noll skulle det ha någon betydelse för den globala situationen. Det skulle däremot kosta Sverige större delen av medborgarnas välfärd.

Om nu Sverige är berett att satsa 6 miljarder kr per år för att minska de globala utsläppen, kan man då inte göra det på ett effektivare sätt?

Jo, om man betalar andra länder för att minska sina utsläpp. På grund av den höga svenska energibeskattningen har man drivit upp kostnaderna att ytterligare minska utsläppen i Sverige till mycket hög nivå, till 50 öre per kg koldioxid eller mer. Eftersom flertalet länder inte har någon koldioxidskatt kan man där minska utsläppen till en avsevärt lägre kostnad än i Sverige. I de flesta EU-länder kan man minska utsläppen av koldioxid för mindre än 10 öre per kg. I Östeuropa, USA och flertalet andra länder i världen kan man minska koldioxidutsläppen till en kostnad på några få öre per kg koldioxid, dvs. en tiondel av kostnaden i Sverige.

Sverige behöver inte, som man gör idag, begränsa sig till att "köpa" koldioxidminskningar i Sverige där priset är så högt. Man kan i stället köpa utsläppsminskningar utomlands där priset är mycket lägre. Sverige gör också vissa sådana insatser i Baltikum, men de har liten omfattning.

I och med Kyoto-avtalet har denna möjlighet blivit internationellt sanktionerad. Också på denna punkt framstår den svenska klimatpolitiken som ett misslyckande, eftersom den nästan enbart har varit inriktad på att minska utsläppen i Sverige. Sverige har tagit på sig mycket stora omställningsinvesteringar för att minska sina utsläpp. Dessa investeringar är nu i det närmaste bortkastade eftersom det är möjligt att få samma effekt till mycket lägre kostnad genom att köpa utsläppsminskningar utomlands.

Slutord

Slutsatsen av detta är egentligen att Sverige inte har haft någon klimatpolitik. Hela frågan fick en felaktig start genom att klimatpolitiken initierades för att användas som slagträ i kärnkraftfrågan. Sedan användes klimatpolitiken som förevändning för att höja skatterna i samband med budgetkrisen i början på 1990-talet. Jordbruksintressena och andra särintressen såg också chansen att utnyttja klimatfrågan för egen vinning.

Hade Sverige tagit klimatfrågan på allvar hade man som de andra industriländerna inriktat sig på att nå en internationell överenskommelse och avvaktat med kostsamma åtgärder till dess. Detta hade besparat skattebetalarna flera miljarder kronor per år i kostnader för åtgärder som inte har

någon effekt på de globala utsläppen.

Om Sverige ville manifestera en beredvillighet att ta på sig kostnader för att minska de globala utsläppen innan en internationell överenskommelse nåtts, borde man ha inriktat sig på bekosta utsläppsminskningar i andra länder.

Om man skall se något positivt i den svenska klimatpolitiken är det kanske att man fått en mycket tydlig demonstration av de problem som uppkommer om ett enskilt land eller grupp av länder agerar på egen hand. Den svenska klimatpolitiken uppvisar en rik provkarta på vad som då kan gå fel. Detta kan andra länder dra lärdom av.

Möjligen är turerna kring den svenska koldioxidskatten också en tankeställare för dem som ser en internationellt harmoniserad koldioxidskatt som lösningen på klimatfrågan. Erfarenheten från Sverige visar att när en skatt kommer in i bilden blandar sig andra intressen in. Några ser möjligheterna att använda koldioxidskatten för att öka statens skatteinkomster. Olika intressegrupper kommer att försöka utforma skatten så att den främjar den egna gruppens intressen. Hyenor och gamar känner vittringen av ett nytt skattevillebråd. Det globala hotet är kanske inte en klimatförsämring utan en global koldioxidskatt.

Kommentarer till kapitlen

Kunskap och kontroverser i klimatfrågan

Bert Bolin

SNS:s initiativ att ge ut denna bok kan stimulera till en vidare diskussion av farhågorna om att jordens klimat kommer att förändras på grund av människans utsläpp av växthusgaser i atmosfären. Detta är värdefullt, men kräver att redovisningen av aktuell kunskap i denna fråga är balanserad.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) har genomfört en omfattande vetenskaplig utvärdering av frågan (IPCC, 1996), vilken i sin tur har varit basen för de mellanstatliga förhandlingar om eventuella motåtgärder som kulminerade vid Klimatkonventionens möte i Kyoto i december 1997.

IPCC:s slutsatser har ifrågasatts av ett relativt fåtal forskare. Deras synpunkter har anammats av bl.a. en del företag med intresse av att användningen av fossila bränslen inte minskar i framtiden och även av länder med stora tillgångar på olja och kol. Dessa har i sin tur påverkat debatten, framför allt i USA. SNS:s strävan har uppenbarligen varit att i första hand engagera författare som av en eller annan orsak just är kritiska till IPCC:s arbete och dess slutsatser. Kommentarer till de olika bidragen i denna bok på basis av IPCC:s utvärderingar är därför en förutsättning för att boken skall nå sitt syfte. Endast ett fåtal läsare har troligen sett IPCC:s rapport. Få har kanske ens läst hela sammanfattningen (IPCC, 1996d), vars inledning återges i kapitel 1.

Min analys kan i huvudsak ses som ett uttryck för den uppfattning som omfattas av den stora kader forskare som deltagit i IPCC:s arbete. Jag har också använt mig av senare publicerade arbeten och hänvisar då till dessa originalarbeten. Slutsatserna är emellertid i dessa fall osäkrare, eftersom de representerar enskilda forskares uppfattningar och inte är infogade i ett försök att ge en övergripande analys av hela den aktuella vetenskapliga litteraturen. Det kommer givetvis att ske i IPCC:s tredje utvärderingsrapport, som beräknas vara färdig 2000/2001.

Jag kommer i det följande ge mina kommentarer av de synpunkter och den kritik som förs fram i kapitlen 2–11 i anslutning till korta sammanfattningar av de viktigaste slutsatser som IPCC har presenterat.

Den grundläggande naturvetenskapliga basen

Jordens medeltemperatur har ökat under 1900-talet med 0,5–0,6 grader, varav ca 0,3 grader under de senaste tre decennierna.

Slutsatsen är inte ifrågasatt.

Jordens klimat bestäms av ett samspel mellan solstrålningen å ena sidan och atmosfärens och jordytans strålningsegenskaper å den andra. Ett antal växthusgaser i atmosfären, av vilka vattenånga är den viktigaste, förhöjer jordens medeltemperatur med tiotals grader.

Lindzen (8) ger en utmärkt översikt av växthuseffekten helt i överensstämmelse med den uppfattning som ligger bakom IPCC:s analys. Han har också rätt när han påpekar att antaganden om jordens albedo (reflexionsförmåga) spelar stor roll vid beräkning av storleken av denna temperaturförhöjning, vilket förklarar varför de värden man finner i den vetenskapliga litteraturen varierar mellan 15 och 35°C.

Människan har genom sina utsläpp ökat mängden av ett flertal andra växthusgaser i atmosfären. Den viktigaste av dessa är koldioxid, vars koncentration ökat med nästan 30 procent sedan början av 1800-talet. Den totala effekten hittills av samtliga dessa gasers ökade koncentration motsvarar en ökning av luftens koldioxid med ca 50 procent. En dubbling av mängden koldioxid i luften utan samtidiga förändringar av mängden andra växthusgaser leder till att jordens medeltemperatur ökar med drygt 1°C.

Mängden vattenånga i luften, och därmed dess växthuseffekt, bestäms av luftens temperatur. Det finns därför en betydelsefull återkopplingsmekanism som förorsakas av att en ökad mängd andra växthusgaser påverkar luftens temperatur och därmed dess halt av vattenånga.

Vid överslagsberäkningar av temperaturförändringar som ett resultat av ökande mängder växthusgaser på grund av människans utsläpp, antas i allmänhet att den *relativa* fuktigheten i luften förblir konstant, vilket innebär att mängden vattenånga ökar med 2–5 procent för varje grads ökning av temperaturen. Växthuseffekten förstärks därigenom. I mer komplexa klimatmodeller som beskriver atmosfärens tredimensionella struktur, och likaså avdunstning, molnbildning och nederbörd, bestämmer modellen själv förändringarna av mängden vattenånga i luften. På grund av olika antaganden om dessa fysikaliska processer i modellerna ger dessa olika resultat, men praktiskt taget utan undantag ökar mängden vattenånga. Klimatmodellernas känslighet för en ökad mängd koldioxid i luften, med hänsyn tagen till denna återkoppling, anger IPCC som att den globala medeltemperaturen förväntas öka med 1,5–4,5 (medianvärde 2,5) °C om mängden koldioxid i luften fördubblas. Större delen av den angivna osäkerheten betingas just av svårigheterna att ta hänsyn till vattenångas roll i klimatsystemet, men

där inryms också exempelvis den positiva återkoppling som förorsakas av att mindre is och snö på en varmare jord ökar absorption av den inkommande solstrålningen. Sammanfattningsvis: Den positiva återkopplingen på grund av luftens vattenånga kan förenklat uttryckas som en förstärkning av koldioxidens uppvärmning med mellan 50 och 250 procent, med ett medianvärde på ca 100 procent.

Lindzen (8) har invändningar på denna punkt. Han har visat att denna återkoppling påverkas av vattenångans vertikala fördelning i den övre delen av troposfären (3–10 km). Han menar att beskrivningen av relevanta processer är alltför enkel för att beräkna hur fördelningen med höjden kan förändras. Lindzen har visat vikten av att verkligheten beskrivs väl i detta avseende. Det finns emellertid varken beräkningar med klimatmodeller eller direkta observationer som bekräftar att hans idéer förändrar de slutsatser som IPCC dragit om klimatsystemets känslighet för människans utsläpp av växthusgaser. Det av IPCC angivna osäkerhetsintervallet inrymmer också en relativt svag positiv återkoppling. Det finns därför inte anledning att ändra det intervall som IPCC har angivit för klimatsystemets känslighet för ökande mängder växthusgaser i luften. IPCC:s tredje rapport kommer säkerligen att behandla frågan utförligt.

I sin andra rapport (IPCC, 1996a) drar IPCC slutsatsen att "tillgängliga observationer antyder en skönjbar mänsklig påverkan på det globala klimatet" ("...the balance of evidence suggests a discernable human influence on the global climate"). IPCC:s försiktiga formulering beror på att förväntade temperaturförändringar på grund av människans utsläpp beräknas att ha vuxit till samma storlek som observerade naturliga variationer först under de senaste decennierna.

Underlaget för denna slutsats redovisas ingående av IPCC (IPCC, 1996, s. 411–443). Den är baserad på att observerade förändringar av temperaturmönstret upp till ca 20 km och från pol till pol under den senare delen av 1900-talet har jämförts med de förändringar som beräknats med hjälp av klimatmodeller. Santer har tillsammans med forskare från sammanlagt sex institutioner senare behandlat frågan mer ingående (Santer et al., 1996). Denna centrala slutsats har diskuterats flitigt under de senaste två åren och har otvivelaktigt spelat en viktig roll också i de politiska förhandlingarna före Kyoto-konferensen.

Det är viktigt att skilja mellan IPCC:s omsorgsfullt formulerade slutsats å ena sidan och vad som sägs av miljöorganisationer och politiker å den andra. **Böttcher (3)** hänvisar ofta till de senare, men det är inte IPCC:s uppgift att delta i den debatten. Jag har vid en rad tillfällen sammanfattat IPCC:s slutsatser vid muntliga presentationer inför Klimatkonventionens vetenskapliga kommitté, SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice), och även några gånger vid Konventionens konferenser och då just sökt upprätthålla denna distinktion. Det kan också noteras att Bött-

cher citerar ett antal uttalanden från en klimatkonferens i Villach 1985 (Bolin et al., 1986), men denna forskardominerade konferens föreslog inte åtgärder, utan fördjupad forskning och samverkan mellan forskare och politiker för att bättre förstå den problematik som vuxit fram.

Det är anmärkningsvärt att **Karlén (4)** inte accepterar den metodik som IPCC funnit så viktig för att ta ställning till frågan om människans påverkan på klimatet kan observeras redan i dag. Hans utgångspunkt för sin analys är i stället följande: "För att kunna avgöra om den senaste klimatförändringen är unik och ett resultat av människans utsläpp av växthusgaser ... måste klimatets variationer under en lång tid vara kända." Det är omöjligt att besvara denna fråga genom att endast studera förändringarna av den globala medeltemperaturen, men Karlén har givetvis rätt i att det är viktigt att ha god kännedom om klimatsystemets naturliga variationer.

Karlén (4) och **Ahlbeck (5)** hänvisar till att den globala medeltemperaturen på höjderna mellan ca 2 och 10 km inte har stigit sedan 1979, medan en svag ökning, ca 0,1°C, har kunnat uppmätas vid jordytan. De menar dels att denna skillnad mellan olika observationsserier innebär att en temperaturökning kan ifrågasättas, dels att den mänskliga påverkan är liten. Men just på grund av de naturliga temperaturvariationerna är dessa observationsserier alltför korta för att kunna ifrågasätta om människan har bidragit eller ej till en utveckling mot ett varmare klimat. Det är exempelvis svårt att avgöra hur mycket två vulkanutbrott, 1983 och 1991, kan ha bidragit till de totala observerade förändringarna.

Ahlbeck har också fel när han påstår att den korrelation som Santer et al. (1996) har beräknat inte är signifikant. Han anför vidare, utan närmare analys, att en bättre överensstämmelse mellan observerade och beräknade klimatförändringar beror på "adaptering till mätdata". Han visar därmed att han inte känner till hur nya insikter om viktiga processer i atmosfären fogas in i en modell och hur denna sedan testas.

Som nämnts inledningsvis påverkas givetvis jordens temperatur av variationer i solstrålningen (IPCC, 1996a). Den viktiga frågan är emellertid om den uppvärmning som vi har sett under 1900-talet, och framför allt under de senaste 50 åren, beror på intensivare solstrålning eller ej. Lassen och Christensen (1995) har funnit ett samband mellan temperaturvariationer ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) och solstrålningen under de senaste 400 åren. Laut och Gundermann (1998) har emellertid visat att en eventuell trend mot ett varmare klimat under 1900-talet påverkar den beräknade korrelationen obetydligt. Denna bestyrker därför inte slutsatsen att den successivt högre temperaturen under 1900-talet skulle vara ett resultat av förändringar i solstrålningen. Lean et al. (1995), anser vidare att en ökad solstrålning skulle kunnat ha bidragit med högst en tredjedel av den uppvärmning som ägt rum sedan 1960-talet.

Karlén och Ahlbeck vederlägger inte påståendet att ”en mänsklig påverkan av det globala klimatet nu är skönjbar”.

Även om klimatmodellerna fortfarande är osäkra, utgör de synteser av nuvarande kunskaper vad gäller samspel mellan en mångfald processer och bidrar till att ge intern konsistens i analysen. De är överlägsna de kvalitativa resonemang som ibland ges som svar på frågan om successiva förändringar av klimatet är ett resultat av människans aktiviteter. Jämförelser med observationer ger stöd för uppfattningen att de också kan användas för att ge en översiktlig bild av framtida klimatförändringar som ett resultat av olika emissionsscenarier. Modeller kan dessutom vidareutvecklas successivt, allt eftersom vår kunskap om klimatsystemets dynamik förbättras.

Walin (9) hävdar å andra sidan att våra kunskaper om havens roll i det klimatiska systemet är så rudimentära att inga trovärdiga slutsatser kan dras om framtida klimatförändringar på grund av människans emissioner. Han beskriver allmänt ett antal viktiga processer som vi ännu inte förstår särskilt väl. Detta förhållande är väl känt bland de oceanografer som har byggt de oceanmodeller som är i bruk. Hans kritik är alltför oprecis som stöd för uppfattningen att dessa modeller är värdelösa.

IPCC har påpekat att bättre modeller behövs, men de som finns kan ändå reproducera flera viktiga drag av oceanernas cirkulationssystem. Observerade fördelningar av exempelvis de radioaktiva isotoperna kol-14 och tritium kan också härledas i sina huvuddrag. Ledande oceanografer accepterar IPCC:s slutsatser, även om ingen ser hittills uppnådda resultat som slutgiltiga. Det marina systemets icke-linjära karaktär innebär också att relativt snabba förändringar kan inträffa och betydelsen av dessa fenomen diskuteras intensivt. Det innebär att, som IPCC uttrycker det, ”överraskningar aldrig kan uteslutas”. Men detta bör ändå inte hindra oss att ta vara på den kunskap som vi har.

Några kommentarer till Walins slutord:

1. En helt övervägande majoritet av klimatforskarna anser att det troligen blir varmare på grund av ökande mängder växthusgaser i luften, men vi vet ännu inte särskilt väl hur känsligt klimatsystemet är för fortsatta utsläpp. Data från den antarktiska inlandsisen visar emellertid att det kalla klimatet under den senaste istiden till en del berodde på en betydligt lägre koldioxidhalt i luften än idag.

2. Enligt IPCC kan en klimatförändring vara ”till nytta” på vissa delar av jorden, men skadorna kommer att vara dominerande. En förhållandevis snabb höjning av världshavens vattennivå (en halv till en meter på 100 år) skulle exempelvis vålla betydande skador inom befolkningstäta kustområden.

3. Att Walin har uppfattningen att vi inte kan göra något åt en klimatförändring är väl mest ett bekymmer för honom själv, men han ger inga sak-

liga skäl för sin förmodan. IPCC:s uppfattning återges i rapporterna IPCC (1996c, 1997).

Skillnaden mellan min (dvs. IPCC:s) och Walins kommentarer vad gäller ökad risk för torka in över kontinenterna är att IPCC baserar sin uppfattning på resultaten av analyser med hjälp av klimatmodeller, medan Walin inte har studerat närmare de skäl han anför som stöd för sin uppfattning.

De modeller av kolets globala kretslopp som idag används för att beräkna hur koldioxidhalten i luften ökar för givna utsläpp har testats mot en mängd ekologiska och marinkemiska data. IPCC anger också osäkerheten i redovisade resultat (IPCC, 1996a). Den är relativt liten jämfört med osäkerheten i uppskattningen av människans framtida utsläpp.

Ahlbeck (7) har genomfört en rent statistisk analys av sambandet mellan globala utsläpp av koldioxid och ökningen av luftens koldioxidhalt under åren 1970–1996. Han finner att detta är linjärt. I verkligheten är problemet betydligt mer komplext och kan inte enkelt approximeras på detta sätt.

De kolcykelmodeller som har utvecklats på basis av vår kunskap om fysikaliska, kemiska och biologiska processer i havet visar att sambandet mellan emissioner och ökningen av koldioxidens koncentration i luften är beroende av hur snabbt emissionerna ökar. Fram till år 1945 var ökningen ca 2 procent per år, mellan 1945 och 1970 ca 6 procent per år för att under tiden 1970–1996 ha sjunkit till ca 3 procent per år. Emissionsscenariet fram till år 2100 innebär att den framtida tillväxten av emissionerna väntas bli ca 0,14 Gt per år, dvs. mellan ca 1 och 2 procent per år.

Ahlbecks analys visar att atmosfärens koldioxidhalt i jämvikt skulle ha varit 277 ppm, vilket stämmer väl med observerade förhållanden, innan människans utsläpp började ta fart i mitten på 1800-talet. Detta ger emellertid inte underlag för ett antagande om att det samband mellan emissioner och koncentrationer som han härleder kan användas för beräkning av framtida koncentrationer. Han påpekar också att resultaten är känsliga för högre ordningens termer. Dessa kan emellertid inte fastställas med hjälp av data från endast 25 år. De skulle ändå inte vara giltiga för beräkning av framtida koncentrationer.

Det värde på luftens halt av koldioxid år 2100 som IPCC anger, ca 700 ppmv (under antagande av att utsläppen då vuxit till ca 20 Gt C per år) är det troligaste som vi idag kan ange, men är givetvis fortfarande osäkert. Högre värden är emellertid lika sannolika som lägre. Ahlbecks beräkningar, som ger ett betydligt lägre värde, är inte trovärdiga.

Ekonomiska frågeställningar

Vi behöver bilder, scenarier, av troliga framtida utsläpp av växthusgaser för att kunna beräkna möjliga klimatförändringar, dvs. scenarier av världens framtida ekonomiska utveckling. Det är givetvis inte möjligt att förutsäga denna utveckling. IPCC har därför (1992) konstruerat sex basscenarier som inrymmer avsevärda skillnader i fråga om antaganden om befolkningsutveckling, tillväxt av BNP i världen, hur användningen av energi kan effektiviseras, tillgångar på fossila bränslen (såväl kända fyndigheter som uppskattningar av nya upptäckter), och kostnaderna för att ta i bruk alternativa (flödande) energikällor som vattenkraft, vindkraft, bioenergi och solenergi. De olika framtider som åskådliggörs på detta sätt innebär givetvis en ökad osäkerhet om vilka klimatförändringar vi kan vänta oss om inga motåtgärder vidtas. IPCC redovisar genomgående innebörden av denna osäkerhet.

Gerholms (6) huvudtes är att vi, på grund av osäkerheten om framtiden, ingenting vet om vilket klimat vi kommer att ha om hundra år. Vi bör därför vänta minst tio år med åtgärder för att motverka en befarad klimatförändring. IPCC menar å andra sidan att vi vet att jorden troligen blir varmare. Om klimatsystemet är relativt okänsligt dröjer det innan uppvärmningen blir hotande, men förändringarna kan lika väl bli betydande och komma relativt snabbt. Detta talar för att inledningsvis bör en princip om försiktighet tillämpas.

Gerholm är kritisk mot IPCC:s scenarier, kanske för att han lever i villfarelsen att huvudsakligen meteorologer har ansvarat för IPCC:s utvärderingar. Detta är fel. Underlaget för 1992 års scenarier var begränsat, men 1995 års utvärdering av socioekonomiska frågor (IPCC, 1996c) omfattar å andra sidan ca 450 sidor och bland författarna finns en rad ledande experter. Visst kan IPCC:s scenarier kritiseras, men beslut fattades redan 1996 om att nya scenarier skall utarbetas. Energy Forum vid universitetet i Stanford (USA) spelar en viktig roll i detta arbete.

De totala tillgångar på fossila bränslen som antas i IPCC:s arbete är ungefärligen desamma som används av WEC (World Energy Council) och av Gerholm, men Gerholm ignorerar i sin analys att det finns stora kolresurser utöver kända reserver (IPCC, 1996c, s. 87). Det är troligt att de kommer att exploateras in på 2000-talet, när u-ländernas befolkning förväntas bli dubbelt så stor som idag.

IPCC:s presentationer har inte varit vilseledande, som Gerholm hävdar. Men han lever inte själv som han lär, när han beräknar innebörden av att de årliga utsläppen år 2100 skulle uppgå till 14,4 miljarder ton kol jämfört med IPCC:s centrala värde på 20,3 miljarder ton. Hans scenario ligger inom IPCC:s osäkerhetsintervall. Om hänsyn tas till olika värden på kli-

matsystemets känslighet ger dessa två scenarier år 2100 en temperaturförändring på 1,0–2,9°C, respektive 1,2–3,5, dvs. en minskning med 0,2–0,6°C. Den är alltså liten jämfört med osäkerheten i temperaturförändringens storlek.

IPCC slutsatser innebär att vi idag ser kanske mindre än hälften av de förändringar som utsläppen av växthusgaser hittills så småningom kommer att leda till. Skälen för detta är dels att klimatsystemet är trögt, dels att en uppvärmning motverkas av aerosoler som bildas av svavelutsläpp när vi bränner kol och olja. Men när koldioxidhalten i luften stabiliseras, med eller utan vår medverkan, försvinner också aerosolerna, medan växthusgaserna (utom metan) blir kvar i mer än 100 år på grund av klimatsystemets tröghet.

Motåtgärder som sätts in tidigt kan skapa ökad flexibilitet. IPCC framhåller att "den utmaning som vi står inför är inte att hitta den bästa energipolitiken för de närmaste 100 åren, utan att välja en klok strategi och att anpassa den successivt i belysning av ny kunskap". Vid val av motåtgärder gäller det att söka balansera den ekonomiska risken av att vidta åtgärder för tidigt, t.ex. i form av kapitalförluster, mot risken att senarelägga åtgärder, vilket kan kräva snabbare åtgärder senare och därmed ökade kostnader.

Möjligheterna att använda traditionell nyttokostnadsanalys för att kunna ta ställning i frågan om åtgärder diskuteras ingående av IPCC. Svårigheterna är stora på grund av osäkerheterna i uppskattningen av såväl kostnader för åtgärder, som värdet av minskade framtida skador. Medan de förra kan beräknas någorlunda väl idag, vet vi föga om hur de, kan komma att ändras (troligen minska) med tiden på grund av teknisk utveckling. Det är ännu mycket svårare att uppskatta kostnader för skador långt in i framtiden och det finns inte accepterade metoder för att beräkna värdet av exempelvis ekologiska eller kulturella förändringar, och inte heller av effekter på människors hälsa. Risken är betydande att kostnader för motåtgärder överskattas medan skadornas betydelse underskattas.

Gerholms (6) beräkning att det inte spelar någon nämnvärd roll om vi väntar kanske tio år med beslut om åtgärder är missvisande. Han tar inte hänsyn till, att högre utsläpp om tio år än vad ett mer långtgående åtgärds-paket idag skulle medföra, kommer att innebära högre utsläpp långt in på nästa sekel, om inte användningen av fossila bränslen då minskas snabbare.

Radetzki (10) diskuterar klimatfrågan helt och hållet i perspektivet av en nyttokostnadsanalys. Det är värdefullt att få en sådan på bordet för en mer precis debatt. Den bygger på utvärderingen som IPCC publicerat och illustrerar svårigheterna att nå fram till meningsfulla resultat och likaså varför IPCC i sin sammanfattning är tveksam till att bedöma behovet av åtgärder på basis av nyttokostnadsanalyser. Befarade skador i u-länderna vid en fördubbling av koldioxidmängden i luften beräknas till 4–9 procent av BNP, till ca 1,5 procent i i-länderna. Men u-ländernas ekonomier är i det internationella perspektivet små och det globala medelvärdet blir därför

bara ca 2,5, vilket döljer u-ländernas situation. Dessutom är beräkningsmetoden för u-länder baserade på de som utvecklats för OECD-länder, vilket i hög grad kan ifrågasättas. Det är slutligen inte meningsfullt att utsträcka beräkningar av detta slag över ett helt sekel. I framtiden kommer en mångfald både positiva och negativa dynamiska återkopplingar att generas, som vi inte vet någonting om idag.

IPCC har visat att det finns betydande möjligheter att minska energianvändningen och därmed också utsläppen av koldioxid. Kostnaderna är till en början små och i vissa fall kan det till och med vara vinstgivande (IPCC, 1997). Radetzki noterar detta när han refererar till arbetet av Repetto och Austin (1997). För detta krävs framför allt: 1) att öka flexibiliteten i samhällsekonomin, vilket minskar kostnaderna för anpassning till klimatåtgärder, 2) att reformera skattesystemet och/eller att införa handel med utsläppsrättigheter, och 3) att fokusera på åtgärder som är värdefulla också av andra skäl (exempelvis för att minska luftföroreningar). Detta är vad som brukar kallas "win-win situations". Det är i detta sammanhang intressant att under 1990-talet Tyskland minskat sina utsläpp genom att effektivisera det östtyska näringslivet och England genom att använda mer naturgas i stället för kol. Frankrikes utsläpp per capita är lägst i EU på grund av kärnkraftens dominerade ställning för elproduktionen. Det är märkligt att Radetzki avfärdar dessa möjligheter med att det finns "ingen grund för optimisternas uppfattning att klimatpolitiken är kostnadsfri". Men det är ju viktigt att ta vara på alla de möjligheter som finns. Givetvis är åtgärder i ett längre perspektiv inte kostnadsfria. De alternativa energikällorna är ännu i allmänhet dyrare än fossila bränslen, men teknisk innovation pågår ständigt och kostnaderna sjunker därigenom.

De flesta ekonomer räknar med att i-länderna under överskådlig framtid kommer att ha en årlig tillväxt på ca 2 procent (kanske mer). Det betyder mer än en fördubbling av BNP fram till mitten på 2000-talet. Visst finns det mycket att göra, inte minst för att skapa bättre välfärd och ett mer jämlikt samhälle, som det krävs ökade ekonomiska resurser för. Det vore märkligt om inte en relativt liten del, ganska få procent, skulle kunna satsas på de globala miljöproblemen. Frågan är i verkligheten inte *om* åtgärder skall vidtas eller ej, utan *hur*.

Vad **Gerholm (6)** slutligen föreslår stämmer i många avseenden med IPCC:s senaste rapport. Men om inga åtgärder vidtas nu, kommer de låga priserna på olja, gas och kol fortfarande att förhindra att nya energikällor successivt tas i bruk. Marknaden fungerar i denna fråga på givna ekonomiska premisser kortsiktigt. Sverige bör inte agera på egen hand utan en nära samverkan inom EU och globalt inom Klimatkonventionens ram är en nödvändighet. Av erfarenhet vet vi också att politiska förhandlingar tar tid. Just därför är det viktigt att åtgärder börjar vidtas, och rätt utformade

åtgärder kommer inte att behöva kosta mycket i ett initialskede.

Edin (11) hävdar med emfas uppfattningen att Sverige inte bör utveckla en separat klimatpolitik. Det har onekligen också funnits en hel del oformligheter i den politik som har förts under det senaste årtiondet. IPCC har hävdat att ekonomiska styrmedel har klara fördelar framför regleringar och administrativa åtgärder, men det troliga är att det krävs en lämplig kombination.

Det behövs en mycket mer öppen attityd till den internationella situationen och problemets allvar än Edin visar. Förutom den säkerligen viktigaste internationella frågan att skapa samarbetsformer mellan u- och i-länder, blir nu utformningen av metoder för att kunna använda ekonomiska styrmedel internationellt en viktig fråga. Den står högst på dagordningen för nästa möte inom Konventionen i Buenos Aires 1998. Hur skall Sverige agera?

Jag vänder mig också kraftigt mot Edins uppfattning att Sveriges utsläpp betyder så litet i ett internationellt perspektiv att det inte spelar någon roll vad vi gör. Så länge våra utsläpp per capita är större än u-ländernas (det är f.n. tre gånger större) har vi av solidariska skäl ett ansvar att minska våra. Klimatfrågan kan inte lösas utan ett visst mått av solidaritet mellan världens länder.

Vetenskap och politik – IPCC:s trovärdighet

IPCC:s roll i det utvärderingsarbete som legat grund för Klimatkonventionens tillkomst och senare arbete har kommit upp för diskussion.

IPCC är en mellanstatlig panel som har inrättats av FN:s miljöprogram (UNEP) och Meteorologiska Världsorganisationen (WMO), vilka har utarbetat och fastställt dess uppgifter. Den är fristående från Klimatkonventionen, men sedan dennas tillkomst har en vetenskaplig-teknisk samverkan utvecklats mellan IPCC och Konventionen. IPCC:s arbete finansieras genom en fond (trust fund) med frivilliga bidrag från intresserade länder, nästan uteslutande i-länder. De tre arbetsgruppernas sekretariat finansieras av respektive värdländer, under perioden 1992–97 England, USA och Kanada.

IPCC har haft väl utformade procedurregler för sitt arbete (för en sammanfattning se IPCC, 1997, insidan av pärmen). Beslut om huvuddragen av en IPCC-rapport fattas av de nationella delegaterna till IPCC, varefter arbetet bedrivs inom tre arbetsgrupper, vars arbetsutskott, på förslag från deltagande länder, väljer ut författarna till enskilda kapitel (det var sammanlagt ca 300 författare som skrev de 49 kapitlen i den senaste IPCC-rapporten). I varje författarteam skall ingå minst en forskare från ett u-land. IPCC:s rapporter skall vidare baseras på publicerade arbeten.

Utkast till de olika kapitlen granskas, en första gång av forskare som inte deltagit i skrivandet, en andra gång av forskare som representerar respektive länders expertis i aktuella frågor. Författarna har ansvar för att framförda synpunkter beaktas, om de är vetenskapligt motiverade, och att uppfattningar i kontroversiella frågor redovisas. Sammanfattningar av arbetsgruppernas rapporter (Summary for Policy Makers) godkänns vid ett IPCC-sammanträde, där forskarna har rätt att avvisa förslag som inte är vetenskapligt underbyggda, och huvudrapporten förblir ett ansvar för författarna till de olika kapitlen.

Enligt min uppfattning har IPCC:s arbete fungerat bra och de forskare som har deltagit i arbetet har gjort det med engagemang och entusiasm. För många av huvudförfattarna har det inneburit flera månaders arbete. Givetvis har det hela tiden funnits en spänning mellan å den ena sidan forskarnas strävan att genomföra ett objektivt arbete och å den andra risken att nationella intressen skall påverka slutsatserna. Detta gäller i synnerhet vid slutbehandlingen av sammanfattningarna. Det har varit min främsta uppgift som ordförande att hävda forskarnas integritet, att minimera konflikter och bygga upp ett förtroendefullt samarbete mellan forskarsambället och respektive länders representanter till IPCC. Det ankommer på andra att bedöma om detta arbete har varit framgångsrikt.

Mobergs (2) studie av samspelet mellan vetenskap och politik är mycket allmänt hållen men av principiellt intresse. De möjliga samband som han beskriver visar på nödvändigheten av att se klimatfrågan i ett vidare samhälleligt och politiskt perspektiv än som vanligtvis är fallet.

Moberg anför i sin sista mening: "Är dessa bedömningar riktiga måste vi också räkna med möjligheten av att växthushotet är överdrivet, och med att stora resurser satsas i onödan på att avvärja det." Denna fråga har behandlats utförligt av IPCC (IPCC, 1996c). Han pekar också på svårigheterna att nå fram till gemensamt agerande när det gäller kollektiva nyttigheter och att åtgärder kan bli otillräckliga även om en klimatiförändring och därmed hotet är reellt. Hans bidrag bör därför snarare ses som en uppmaning att uppmärksamma de många faktorer som spelar en roll för hur individer, grupper av människor och länder agerar inför en hotande klimatiförändring.

Moberg påstår vidare att "med reservation för konstaterandet att hotet är allvarligt är inga värderingsfrågor inblandade". I verkligheten karaktäriseras klimatfrågan av en rad värderingsfrågor som påverkas av ländernas geopolitiska läge, utvecklingsnivå och inte minst av människors upplevelser av detta hot.

Visst spelar prestige, status och ekonomiska intressen en roll för de flesta människors agerande och det gäller även forskarna (och likaså författarna av denna bok). Men Moberg har inga belägg för påståendet "att forskarna till stor del är i händerna på staten". De ledande forskarna, exempelvis vid Princeton-universitet i USA, Max Planck-institutet i Hamburg och

forskningsavdelningen vid Meteorological Office i England, där det mest avancerade modellarbetet sker, agerar som forskare, annars skulle de snart förlora sin ställning i forskarvärlden. Moberg är uppenbarligen okunnig om den öppenhet som krävs av forskarsamhället vid presentation av forskningsresultat i tidskrifter och vid konferenser, vilket väsentligt reducerar risken för snedvridning av forskningens resultat.

Böttchers (3) kommentarer i dessa frågor är tydligen till en väsentlig del baserade på arbeten av Boehmer-Christiansen (1997 och tidigare). Han har inte själv analyserat IPCC:s samhälleliga och politiska roll mer ingående. Det är ännu relativt få som hittills givit sig i kast med klimatfrågan som en samhällsvetenskaplig fråga. Boehmer-Christiansen är ändå bara en av dem. Flera liknande studier pågår. Jag är skeptisk till flera av hennes och därmed också Böttchers påståenden.

Boehmer-Christiansen anser att forskarna huvudsakligen strävar efter pengar, makt och status. Hennes avsikt är ”att visa att IPCC skall studeras som en politisk institution som agerar för att försvara vetenskapens och forskningsorganisationers intressen snarare än för att skydda miljön”, men detta påstående kvarstår efter hennes analys som en i stort sett obekräftad hypotes. Formuleringen antyder också partiskhet i hur hon tagit sig an uppgiften. Hon behärskar knappast de naturvetenskapliga frågorna och har intet underlag för påståendet att de ledande forskningsinstitutionerna inriktar sina arbeten på att i första hand tillgodose politiska syften. Hennes uppfattning att forskare som arbetat inom IPCC styrs av internationella organisationer som ICSU, WMO och UNEP är absurt för var och en med kännedom om hur arbetets bedrivits.

Några ytterligare kommentarer kan vara av intresse. Böttcher nämner inledningsvis att farhågor för ett kallare klimat på grund av ökande mängder luftföroreningar stod på dagordning i början av 1970-talet. Detta återspeglades i ringa grad i den vetenskapliga litteraturen. Betydelsen av ökande mängder växthusgaser i luften var redan då i centrum för forskarnas intresse, vilket framgår av den konferens som anordnades inom ramen för Global Atmospheric Research Program (GARP, 1974). Den engagerade en betydande del av de ledande forskarna på klimatområdet.

Böttcher citerar också ett antal uttalanden från Villach (1985). Som framgår av citaten, liksom av hela sammanfattningen från konferensen, rekommenderade denna forskardominerade konferens inte åtgärder, utan fördjupad forskning och samverkan mellan forskare och politiker för att bättre förstå den nya problematik som växt fram. Det var behovet av en bättre översikt av kunskapsläget som var ett av skälen till att jag engagerade mig i IPCC:s arbete. Jag ansåg det vara viktigt att forskarna inte agerar som aktivister. Att den varma och torra sommaren i USA 1988 förorsakades av den förstärkta växthuseffekten, som några forskare några år senare

hävdade, var exempelvis inte vetenskapligt underbyggt.

Men när Böttcher påstår att IPCC innebar ”mer av samma sak” visar det att han inte läst IPCC:s rapporter. Hans egna lösa påståenden saknar förankring i vetenskapliga analyser av IPCC:s slutsatser.

Anklagelsen från Böttcher att ”vetenskaplig enighet (inom IPCC) uppnås genom votering” är obestyrkt. Osäkerhet speglas i form av vida osäkerhetsintervall. Men jag instämmer ändå i uppfattningen som Hansson och Johanneson (1997) fört fram och som Böttcher citerar, att avvikande uppfattningar skall redovisas bättre. IPCC:s nye ordförande delar denna min uppfattning. Jag anser ändå inte som Böttcher, att IPCC har snedvridit debatten. Få vetenskapliga studier stöder denna hans uppfattning.

Varken Mobergs eller Böttchers kapitel ger stöd för den kritik av IPCC:s utvärderingar som framkommit.

Vad blev resultatet av förhandlingarna i Kyoto?

Förhandlingarna i Kyoto om ett tilläggsprotokoll till Klimatkonventionen var i vissa avseenden framgångsrika, men nådde inte långt vad gäller begränsningar av utsläppen av växthusgaser (Bolin, 1998). Vetenskapliga frågor diskuterades knappast alls, utan IPCC:s utvärderingar låg fast som grund för de vetenskapliga bedömningarna. Politiska och tekniska frågor stod i stället i centrum. Parternas delegater sökte positionera sig så att utfallet av förhandlingarna inte skulle bli ofördelaktigt för det egna landet. Hotet om en klimatförändring erkänns av praktiskt taget alla länder, men upplevs ändå inte så hotande att mer långtgående åtgärder krävs nu. Politikerna inser uppenbarligen inte betydelsen av de klimatiska och samhällsliga systemens tröghet som allvarliga komplikationer med konsekvenser som ett närmare studium av IPCC:s rapporter visar tydligt.

EU, USA och Japan åtog sig att fram till omkring 2010 minska sina utsläpp av växthusgaser med 8, 7 respektive 6 procent jämfört med 1990, vilket för USA:s del innebär en minskning av nuvarande utsläpp med 15–20 procent. Samtidigt gavs emellertid Ryssland och Ukraina rätten att återgå till de utsläpp som gjordes 1990, vilket innebär en ökning av nuvarande utsläpp med mer än 30 procent. Det bör också noteras att i-länderna har minskat sina utsläpp under tiden 1990–1995 med ca 5 procent just på grund av denna minskning i öststaterna och att detta också blev målsättningen för dem fram till 2010. Överenskommelsen innebär därför huvudsakligen en omfördelning av utsläppen mellan dessa länder.

I-länderna enades också om att internationellt använda utsläpps rättigheter som ett ekonomiskt styrmedel. En omfördelning av utsläppen mel-

lan i-länderna kommer troligen att baseras på sådan handel, vilket medför en förmånlig sits för östländerna, i synnerhet Ryssland och Ukraina. U-länderna kan å andra sidan fortfarande öka sina utsläpp fram till 2010, och når kanske upp till i-ländernas nivå till 2010, men deras utsläpp per capita väntas ändå fortfarande bara vara ca en fjärdedel av i-ländernas, vilket beror på en fortsatt relativt snabb, men avtagande, ökning av befolkningen i dessa länder.

Dessa begränsade åtaganden innebär att luftens halt av koldioxid kan väntas öka i oförändrad takt under 2000-talets första decennium till 380 miljondelar, dvs. till mer än 35 procent över den förindustriella koncentrationen. Det blir intressant att se om mer påtagliga skador av en fortsatt klimatförändring kommer att kunna identifieras under denna tid och om då förhandlingar om mer långtgående åtgärder kommer att krävas.

Referenser

- Boehmer-Christiansen, S. (1997), Uncertainty in the Service of Science: Between Science Policy and the Politics of Power. I G. Fermann (red.) *International Politics of Climate Change*, 53–82. Scandinavian University Press, Oslo
- Bolin, B. (1998), The Kyoto Negotiations on Climate Change: A Science Perspective. *Science*, 279: 330–331.
- Bolin, B., Döös, B., Jäger, J., Warwick, R. (1986), *The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems*. John Wiley & Sons, Chichester.
- GARP, 1974, *The Physical Basis of Climate and Climate Modelling*. GARP Publications series, nr 16. ICSU och WMO, Genève.
- IPCC (1996), *Climate Change 1995*, Cambridge University Press.
- IPCC (1996a), *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC (1996b), *Climate Change 1995 – Impact, Adaptation and Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC (1996c), *Climate Change 1995 – Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Cambridge University Press.
- IPCC (1996d), *IPCC Second Assessment – Climate Change 1995*. IPCC, Genève.
- IPCC (1997), Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change. Technical Paper I. World Meteorological Organisation, Genève.
- Lassen, K., Friis-Christensen, E. (1995), Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate. *J. Atm. and Terr Phys.*, 57: 835–845.
- Laut, P., Gundermann, J. (1998), Does the correlation between solar cycle lengths and Northern Hemisphere land temperatures rule out any significant global

- warming from greenhouse gases? *J. Atm. and Terr. Phys.* 60: 1–3.
- Lean, J., Beer, J., Bradley, R. (1995), Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geoph. Res. Letters*, 22: 3195–3198.
- Repetto, R., Austin, D. (1997), *The Costs of Climate Protection: A Guide for the Perplexed*. World Resources Institute, Washington DC.
- Santer, et al. (1996), A search for human influence on the thermal structure of the atmosphere. *Nature*, 282, juli 4.

Författarpresentationer

Jarl Ahlbeck är docent i miljövardsteknik vid Åbo Akademi sedan 1993. Han fick teknologie doktorsexamen 1989, var medlem av Finlands riksdags sakkunnigorgan "Energipolitiska rådet" 1983–1988 och ordförande för rådets energibesparingskommitté. Han har publicerat ett flertal vetenskapliga arbeten angående rökgasreningsteknik samt processanalys med statistiska metoder. Ahlbeck undervisar i miljövardsteknik vid Åbo Akademi och är månadskolumnist i dagstidningen Åbo Underrättelser. Han har deltagit i diskussionen om växthuseffekten i Finland genom medverkan i TV-program och tidningsdebatter.

Bert Bolin, professor i meteorologi vid Stockholms Universitet 1961–1990, har varit engagerad i uppbyggnaden av Global Atmospheric Research Program från 1965 (föregångare till World Climate Research Program) och International Geosphere Biosphere Program från 1985. Han var ordförande i Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, från dess bildande 1988 till 1997. Bolin är rådgivare till regeringen i forsknings- och miljöfrågor sedan 1983, erhöll WMO-priset 1981, Tyler-priset (USA) 1988 och Blue Planet-priset (Japan) 1995. Han är ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien, KVA, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA, och US National Academy of Sciences.

Frits Böttcher, professor i fysikalisk kemi vid universitetet i Leiden 1947–1980, är ordförande i styrelsen för Global Institute for the Study of Natural Resources i Nederländerna. Han var den förste ordföranden i Nederländernas vetenskapspolitiska råd 1966–1974 och innehade ledande befattningar i flera av landets vetenskapliga råd. Han var ordförande eller ledamot i styrelser för flera företag och en av grundarna till den 1968 bildade Romklubben, i vilken han blev hedersmedlem 1986. Han har publicerat över hundra artiklar i vetenskapliga tidskrifter och föreläst i Europa, USA och Japan.

Karl-Axel Edin, fil. dr i teoretisk fysik, arbetar som konsult i sitt företag Tentum Energi AB. Han var utredningschef vid det tidigare Statens energiverk och därefter under några år VD för Kraftsam, en branschorganisation för kraftindustrin. Edin har varit engagerad som utredare i flera energipolitiska utredningar från mitten av 1970-talet till slutet av 1980-talet. Han har också varit engagerad i den energipolitiska debatten och har bl.a. författat ett par böcker om kärnkraft och politik. Numera arbetar han med energi-, miljö- och trafikpolitiska frågor.

Tor Ragnar Gerholm, professor i fysik vid Stockholms Universitet 1962–1990, är seniorkonsult vid KREAB AB sedan 1990. Gerholm har haft

en rad uppdrag som styrelseledamot i statliga och privata svenska företag och stiftelser och internationellt arbetat för World Energy Council, WEC, bl.a. i Conservation Commission 1975–80 och för International Chamber of Commerce, ICC, från 1980. Han har flitigt deltagit i samhällsdebatten i Sverige bl.a. som författare till flera böcker. Gerholm är ledamot av Kungl. Vetenskapakademien, KVA, och Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA.

Wibjörn Karlén är professor i naturgeografi vid Stockholms Universitet sedan 1985. Han erhöll en "master degree" i kvartärgeologi vid University of Maine 1972 och disputerade i naturgeografi vid Stockholms Universitet 1976. Han har studerat främst förändringar i det holocena klimatets förändringar i bl.a. Skandinavien, Afrika, Alaska, Antarktis och Arktis. Karlén är ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien, KVA.

Richard S. Lindzen är sedan 1983 Alfred P. Sloan Professor i meteorologi vid Massachusetts Institutet of Technology, M.I.T., USA. Dessförinnan var han bl.a. chef för Center for Earth and Planetary Physics vid Harvard University. Han fick sin doktorsgrad där 1964 och forskade 1965–1966 i Oslo. Han är ledamot av bl.a. National Academy of Sciences, Norska Vetenskapsakademien och World Institute of Sciences, och medlem i flera vetenskapliga sammanslutningar som American Association for the Advancement of Science, AAAS. Hans specialområden är dynamiken i atmosfärens allmänna cirkulation och jordens klimat. Han har fått flera vetenskapliga utmärkelser, skrivit flera böcker och över 180 vetenskapliga artiklar.

Erik Moberg är fil.lic. i statskunskap. Som fristående forskare utvecklar han sedan 1990 en statsvetenskaplig teori om demokratiska författningars egenskaper. Han publicerade 1994 läroboken "Offentliga beslut – en introduktion till den ekonomiska teoribildningen inom statsvetenskapen". Till sammans med ledande amerikanska samhällsforskare medverkar han i volymen "A Not-so-dismal Science: A Broader View of Economies and Societies", som kommer ut på Oxford University Press 1998. Från 1972 till 1990 var Moberg energikonsult och publicerade 1988 boken "Svensk energipolitik – en studie i offentligt beslutsfattande". Tidigare var Moberg bl.a. sekreterare i Havsresursutredningen och Energiprogramkommittén.

Marian Radetzki är chef för forskningsinstitutet SNS Energy och professor i nationalekonomi vid Luleå tekniska universitet. I sin forskning har Radetzki specialiserat sig på energins och mineralernas internationella ekonomi. Inom detta område har han publicerat ett drygt dussintal böcker och mer än femtio artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter. I sin ämnesmässigt mycket bredare roll som kritisk samhällsdebattör i Sverige har Radetzki påvisat svagheter och vanetänkande inom de områden han behandlat.

Gösta Walin är professor i oceanografi vid Göteborgs universitet sedan

1972. Genom sin bakgrund – docent i teoretisk fysik, forskarstudier vid Internationella Meteorologiska Institutet i Stockholm och bred verksamhet inom oceanografi – har Gösta Walin förutsättningar att överblicka klimat- och energifrågor. Han har bl.a. publicerat "Energikrisen en bluff", Prisma 1973.



I december 1997 hölls i Kyoto i Japan den senaste i en rad uppmärksammade FN-konferenser om jordens klimat. Som underlag för överläggningarna fanns ett omfattande material som framtagits genom en internationell klimatpanel, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Efter långa diskussioner beslutade Kyotomötet om den konvention som rekommenderar industriländerna att minska utsläppen av koldioxid och fem andra växthusgaser. Konventionen skall godkännas av deltagande länder för att börja gälla. En livlig debatt kring frågorna pågår redan i många länder, inte minst i Sverige.

Det vetenskapliga underlaget för konventionen uppfattas på många håll som om det entydigt påvisar att klimatförändringar kommer att inträffa om inte koldioxidutsläppen minskas kraftigt. Men det vetenskapliga underlaget är i själva verket inte alls entydigt. Det finns en omfattande kritik både av tolkningen av de vetenskapliga resultaten och av sättet att utnyttja dem som underlag för politiska beslut. Denna kritik har svårt att få plats i den offentliga debatten. Syftet med denna bok är att redovisa invändningar mot och andra tolkningar av det vetenskapliga underlag som IPCC publicerat.

Boken inleds med ett centralt avsnitt i IPCC:s grunddokument översatt till svenska. Därefter utvecklar nio forskare och samhällsdebattörer skälen för sina invändningar från olika utsiktspunkter. Slutligen kommenteras invändningarna av professor Bert Bolin, som var ordförande för IPCC under den tid när huvuddelen av det aktuella materialet arbetades fram.

Författare är *Jarl Ahlbeck, Bert Bolin, Frits Böttcher, Karl-Axel Edin, Tor Ragnar Gerholm* (red.), *Wibjörn Karlén, Richard S. Lindzen, Erik Moberg, Marian Radetzki* och *Gösta Walin*

ISBN 91-7150-710-8



9 789171 507105