

## En varmare värld? Konsekvenser av globala och regionala klimat- förändringar

### NATIONAL- EKONOMISKA FÖRENINGENS FÖRHANDLINGAR

2007-03-29

Sammanfattade av  
Birgi Filppa och  
Karin Sirén

*Gabriel Urwitz*

Jag hälsar välkommen till föreningens möte och är glad över att så många har kommit hit. Vi har ett högaktuellt ämne i dag: En varmare värld – konsekvenserna av globala och regionala klimatförändringar.

Inledare är Erland Källén. Sedan kommer Martin Persson och Bengt Kriström att lämna kommentarer. Efter detta får Erland kommentera kommentarerna och så småningom är det självfallet publikens tur att ställa frågor.

*Erland Källén*

Tack så mycket för att jag har fått komma hit och berätta om global uppvärmning och jordens klimat. Jag ska dels berätta om vad som har hänt med jordens klimat, dels säga någonting om vatten och vad som händer när vattnet blir varmt. Slutligen ska jag säga något om vad som kan hända i framtiden om uppvärmningen fortsätter.

Låt oss först titta på hur jordtemperaturutvecklingen har sett ut under de senaste 150 åren. Kurvan i figur 1 visar den globala medeltemperaturen vid jordytan från mitten av 1800-talet fram till om förra året. Den visar alltså medeltemperaturen runt hela jorden och medeltemperaturen för varje år. Varje punkt i figuren anger medeltemperaturen för ett visst år. Den svarta kurvan är en utslätad sammanbildning mellan alla kurvorna.

Temperaturskalan till höger visar den absoluta medeltemperaturen nere vid jordytan. Den ligger någonstans kring 14 grader. Här ser vi relativskalan

– ett nollvärde som är medelvärdet mellan 1960 och 1990.

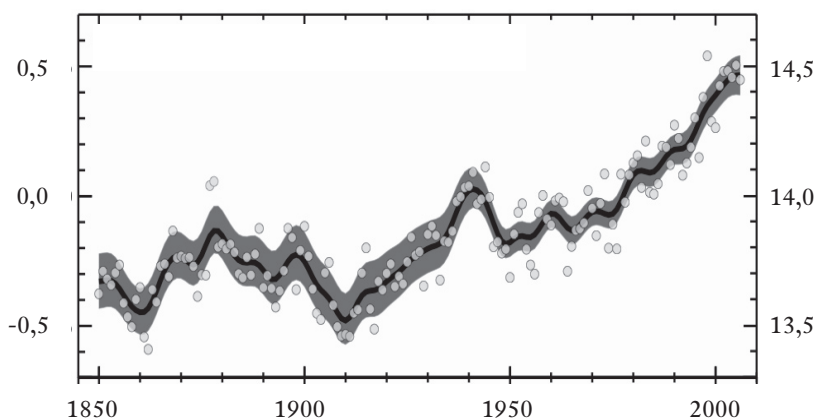
Från mitten av 1800-talet fram till ungefär år 1900 gick temperaturen lite upp och ned, men den låg på en relativt låg nivå. Från 1900 och fram till 1950 hade vi en markerad uppgång i den globala medeltemperaturen. Därefter följde en plåtå. Men sedan någon gång mellan 1960 och 1970 har temperaturhöjningen fortsatt, och den ser ut att fortsätta även in i framtiden.

Temperaturen har under de senaste 100 åren ökat med någonstans mellan 0,7 och 0,8 grader i den globala medelvärdet. Det låter inte mycket, men det är faktiskt en hel del. Vi kan titta ännu längre tillbaka i tiden med hjälp av paleoklimatologiska data. Vi kan se till exempel 1 000 år tillbaka, då ser vi också temperaturfluktuationer. Men även i ett tusenårsperspektiv framstår det som har hänt under åtminstone de senaste 50 åren som exceptionellt. För 1 000 år sedan var jorden förmodligen också ganska varm. Men de temperaturer vi har i dag överstiger ändå klart dem som rådde för 1 000 år sedan.

Ännu längre tillbaka – vid slutet för den senaste istiden för 10 000 och 20 000 år sedan – var det betydligt kallare än i dag. Förmodligen var det ungefär 5 grader kallare när det var som mest is för 20 000 år sedan. Om vi går ytterligare längre tid tillbaka, 100 000 år, hade vi en värmeperiod mellan två istider. Då hade vi förmodligen ungefär samma temperaturer som i dag. Sedan har istiderna oscillerat fram och tillbaka med 100 000-årscykler.

Så visst har klimatet varierat tillbaka i tiden. Men det viktiga är tidsskalan. Om vi tittar på istider handlar det om 10 000, 20 000 och 100 000 år. Här pratar vi om en temperaturökning på knappt 1 grad under 100 år, och det är ganska exceptionellt.

Temperaturökningen har åtföljts



Figur 1  
Medeltemperatur  
vid jordytan,  
1850–2006. °C

Anm: Temperaturändring (vänster skala), absolut temperatur (höger skala).

av andra effekter. En tydlig effekt är att världshavsnivån har stigit under de senaste 100 åren. Sedan slutet på 1800-talet fram till i dag har havsytan stigit med någonstans mellan 10 och 15 centimeter globalt.

Stigningen av havsytans nivå sker helt i takt med temperaturökningen. Om det blir varmare på jorden blir havsvattnet också varmare. Varmare havsvatten tar mer plats än kallt vatten. Därför stiger havsytans nivå. Dessutom har vi en avsmältning av de stora landisarna. Vi har haft stora glaciärvsmältningar i Alperna. Samma sak gäller i de nordiska fjällområdena. Även i Nordamerika, Nya Zeeland, Sydamerika och t o m i Afrika har vi en avsmältning av glaciärer. Det bidrar också till höjningen av havsytans nivå. Räkna man på detta ser man att det stämmer väl överens med temperaturökningen och höjningen av havsytan.

Det finns också en rad andra faktorer. Minskningen av den arktiska havsisen är ett tydligt tecken. Speciellt under de senaste 50 åren har det varit fler tillfällen med intensiv nederbörd runt hela jorden. När det har regnat har det regnat kraftigare och oftare. Men samtidigt har det blivit vanligare med torrperioder

och värmeböljor över vissa områden under vissa tidsperioder.

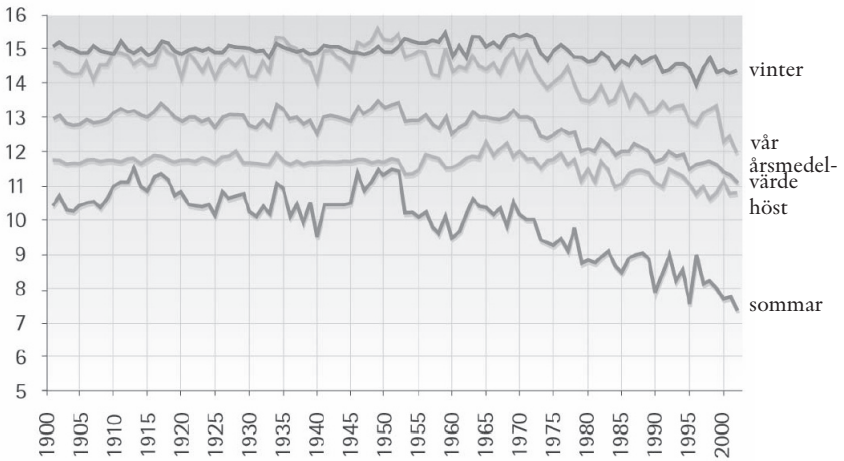
Slutligen har de kalla vinternätterna blivit färre och något varmare. Det hänger också ihop med den globala uppvärmningen. Det finns alltså en rad tecken som entydigt pekar i samma riktning: Någoting håller på att hända med jordens klimat.

Just i Arktis är detta extra tydligt. 1979 hade vi havsis över en stor del av den arktiska havsbassängen. Det fanns lite öppet vatten norr om Ryssland och även i Berings sund, vid Sibirien, vid Alaska och norr om Kanada. Men den kanadensiska skärgården var helt istäckt. Sedan finns förstås istäcket på Grönland som också ligger kvar.

2003 var det mycket mer öppet vatten i delar av havsbassängen. Det har alltså skett en rejäl minskning av utsträckningen av de arktiska havsisarna. Men vid Arktis finns det en säsongsvariation i havsisen. På vintern, då det är kallt i Arktis, är nästan hela den arktiska bassängen istäckt. På sommaren, när det blir varmare, smälter en del av isen och det blir allt mindre is tills dess att vi når ett minimum någonstans i september månad. Sedan ökar den igen.

Det intressanta är att just under slu-

Figur 2  
Utbredning av Arktis  
havsis, 1900–2003.  
Miljoner kvadrat-  
kilometer



tet av sommaren, när istäcket är som minst, har det gradvis blivit allt mindre under de senaste 50 åren. Detta ser man tydligt om man gör en kurva över utsträckningen av den arktiska havsisen. Figur 2 visar hur mycket havs is det finns i den arktiska bassängen räknat i miljoner kvadratkilometer. Det sträcker sig från början av 1900-talet fram till 2003. Den understa kurvan visar utsträckningen på sommarisen. Det går lite upp och ned, men från ungefär 1950-60 är det en klart nedåtgående trend. Detta har fortsatt även under de senaste åren. Det är fråga om en nästan 30-procentig minskning av utsträckningen av den arktiska havsisen under de senaste 50 åren. Det sker helt i takt med den globala uppvärmningen.

Uppvärmningen globalt motsvarar 0,7 grader under de senaste 100 åren. Om man tittar enbart på Arktis och det arktiska området handlar det om ungefär 1,5 grader under de senaste 100 åren. Uppvärmningen i Arktis är alltså ungefär dubbelt så kraftig som den globala medelvärdet.

Den översta kurvan i figur 2 visar utsträckningen på vinterhavsisen, då det är som mest is. Sedan ser vi hur det ser ut under våren, och så kommer årsmedel-

värdet. Den näst understa kurvan visar senhösten.

På vintern händer det naturligtvis inte lika mycket. Då kan inte isen gå längre än till kusten. Men det hindrar inte att det även på vintern har blivit mycket varmare än det var tidigare.

Det är svårare att säga någonting om isens tjocklek. Det finns observationer som pekar på att det har skett en viss uttunnning av mark- och havsisen, men detta är mycket osäkert. Vi har bra data när det gäller utsträckningen. Satelliter har sedan 1970-talets början fotograferat havsisen.

Vi har en annan stor ismassa i Arktis, nämligen Grönland. Men Grönland består inte av havs is, utan isen ligger på land – på en stor ö. Grönlandsisens volym bestäms av en balans mellan två processer: Dels snöar det över Grönland, vilket fyller på istäcket, dels sker det en avsmältning längs kanterna på Grönland. Under vinterhalvåret snöar det över hela Grönland. Då byggs isen på. Under sommarhalvåret, då det blir varmare, sker en avsmältning längs kantzonen på Grönland.

Grönlandsisens avsmältningszon har blivit allt större från år till år. Det hänger direkt ihop med uppvärmningen

över Arktis. De områden på Grönland som har avsmältning under sommarhalvåret blir allt större.

Därmed är det inte självklart att Grönlandsisen minskar. Det finns en balans mellan hur mycket det snöar på vintern och hur mycket som smälter på sommaren. Det är inte förrän de senaste 5–6 åren man verkligen har kunnat bestämma den totala massbalansen på Grönland. Under senare år ser det ut som om det netto sker en viss avsmältning. Det är inte mycket det handlar om; det bidrar kanske till någon millimeters höjning av havsytans nivå. Men det är i alla fall en nettoavsmältning av Grönlandsisen som förefaller ha påbörjats. Detta hänger också ihop med uppvärmningen.

Varför har vi då denna uppvärmning? Jag är ganska övertygad om att en stor del av uppvärmningen kan förklaras med en ökad växthuseffekt som beror på ökande halter av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären. Koldioxidhalten i atmosfären har ökat under de senaste 150 åren. Vi är nästan fullständigt övertygade om att ökningen till den allra största delen beror på människans aktiviteter. Det hänger ihop med att vi har bränt kol och olja sedan industrialismens början. Detta spår på koldioxidhalten i atmosfären.

Koldioxiden är en växthusgas. En växthusgas har den egenskapen att den släpper igenom solstrålningen som kommer ned mot jorden och värmer upp jordytan. Men den släpper inte igenom värmestrålningen som går tillbaka till rymden. Växthusgaserna i atmosfären gör att vi får ett mycket varmare klimat vid jordytan än vi skulle ha haft om det inte hade funnits några växthusgaser. Det finns flera växthusgaser. Den viktigaste är vattenånga. Den finns naturligt i systemet. En annan viktig komponent som ger växthuseffekt är moln. Koldioxiden ger också ett betydelsefullt tillskott

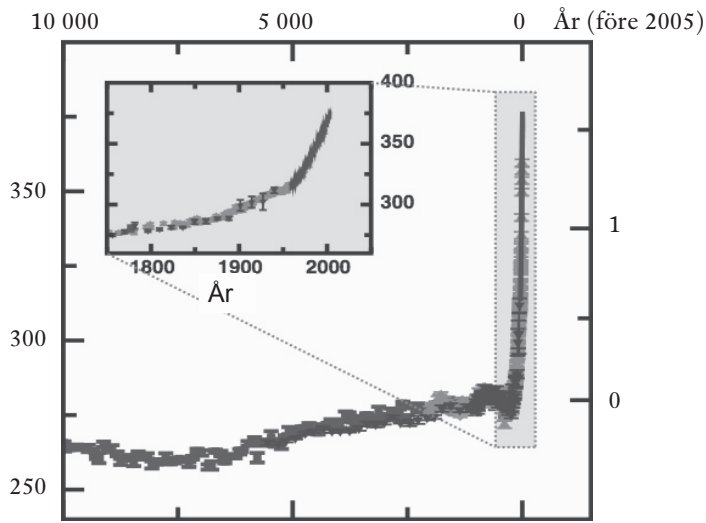
till den naturliga växthuseffekten. Utan de här växthusgaserna hade jordytan varit drygt 30 grader kallare än vad den är i dag. Växthusgaser är en förutsättning för liv på jorden. Men nu har vi spätt på halten av koldioxid och därmed ökat återstrålningen ned mot jordytan. Det är en rimlig förklaring till en stor del av temperaturökningen.

Givetvis är det inte bara ökningen av växthusgaser som är viktig. Figur 3 visar koldioxidhalten i atmosfären under 10 000 år tillbaka i tiden. Nollpunkten är dagens värden. För 10 000 år sedan var det lite lägre halter – runt 270 ppm, dvs miljondelar. Det var i slutet av den förra istiden. Sedan har det gått långsamt uppåt fram till en nivå runt 280 ppm i början på 1800-talet. Sedan början på 1800-talet ser vi en klar och tydlig exponentiell uppgång av koldioxidhalten i atmosfären. Dagens nivå ligger runt 380 ppm. Det är en ökning med mer än 35 procent. Den hänger direkt ihop med människans aktiviteter. I ett tiotusenårsperspektiv ser det ut som en spik – rakt uppåt. I ett lite kortare tidsperspektiv ser vi den exponentiella ökningen.

Vi kan med hjälp av iskärnor gå ännu längre tillbaka än 10 000 år. Om vi ser 600 000 år tillbaka i tiden har koldioxidhalten varierat i takt med de stora istiderna. Men dagens värden ligger klart över dem vi har haft åtminstone under de senaste 600 000 åren. Att människan har påverkat koldioxidhalten i atmosfären är otvetydigt.

Men det finns som sagt också andra skäl än koldioxiden till att klimatet varierar. Samtidigt som vi släpper ut koldioxid när vi bränner kol och olja släpper vi ut små partiklar – svavelpartiklar och kolpartiklar. De påverkar också klimatet och de verkar i huvudsak avkylande. Alla de små partiklar vi har släppt ut reflekterar solstrålning och ger viss avkylnings-effekt på jorden.

Figur 3  
Koldioxidökning i  
atmosfären de senaste  
10 000 åren



Ann: Koldioxidhalt, ppm (vänster skala), strålningsdrivning,  $W m^{-2}$  (höger skala).

Partiklarna påverkar också molnigheten. Molnen blir lite vitare när det finns fler partiklar i atmosfären. För att det ska bli en molndroppe krävs att det finns en liten partikel från början. Ju fler partiklar, desto fler små molndroppar blir det i förhållande till stora. Fler små molndroppar ger vitare moln. Smutsiga moln är alltså vita moln, paradoxalt nog. Detta ger också en viss avkylande effekt. Vitare moln reflekterar mer av solstrålningen och kyler av jordytan.

Sedan finns också effekten av avskogning, som även den beror på människan. Man hugger ned eller bränner skog för att skapa odlingsbar mark. Det minskar upptagningen av solstrålningen lite grann. Mer solstrålning reflekteras när vi får fler öppna och lite ljusare ytor. Detta har också en liten avkylande effekt.

Människan har alltså inte bara åstadkommit en uppvärmning med hjälp av växthusgaser utan även de här tre effekterna som ger en viss avkylning. Netto – om man lägger samman allt – blir det

helt klart en uppvärmning. Den ökade växthuseffekten dominerar över avkylningseffekterna.

Slutligen har också ändringar i solstrålningen en viss effekt. Under de senaste 150 åren är det sannolikt att solen blivit lite starkare – inte mycket, men lite grann. Ändringen i solstrålningen har också påverkat jordens klimat. Men om man jämför effekterna är den uppvärmningseffekten klart mindre än 10 procent av nettot av alla de andra effekterna. Endast ändringar i solstrålningen kan inte förklara den observerade uppvärmningen. Det måste vara någonting annat också.

Hur kan vi då sluta oss till vad som kan förklara uppvärmningen? Våra klimatmodeller – matematiska och fysikaliska beräkningsmodeller – beskriver balansen i klimatsystemet med hjälp av fysikens grundlagar. Det handlar om balansen mellan inkommande solstrålning som värmer upp jorden och värmestrålning som går ut mot världsrymden. Med hjälp av klimatmodellerna kan vi göra

kontrollerade experiment. Vi kan t ex göra ett experiment där vi föreskriver att växthusgaserna är konstanta och att partikelhalterna inte ändras, men där vi tillåter variationer i solstrålningen och andra förändringar. Vi gör sådana simuleringar och tittar på hur temperaturutvecklingen borde ha varit under de senaste 150 åren. Om vi inte hade haft en ökning av växthusgashalterna och partikelhalterna borde temperaturen under de senaste 50 åren snarare ha sjunkit än ökat på det sätt vi har observerat.

Om vi däremot tar med människoskapade effekter, ökad växthuseffekt och ändrad partikelhalt får vi i stället resultat som mycket väl överensstämmer med det vi har observerat. Det säger inte att det här måste vara den enda förklaringen. Men det säger att det är en tillräcklig förklaring – en rimlig förklaring till det vi har observerat. Det kan givetvis finnas effekter vi inte känner till. Men med den kunskap vi har om klimatsystemet och med de modellverktyg vi har tillgängliga är den rimligaste förklaringen till den observerade uppvärmningen att det är människans utsläpp av koldioxid i samband med förbränning av kol och olja som har skapat den uppvärmning vi ser fram till i dag.

Man ser klart och tydligt att oceanerna värms upp mycket långsammare än resten av systemet. Det handlar alltså om den värmemängd som tillförs jordytan. Oceanerna är en trögare komponent och därmed värms de upp långsammare medan landytan värms upp snabbare. Över land ser vi en uppvärmning som är större än den uppvärmning som sker över haven. Både observationer och modellsimuleringar visar tydligt detta.

Resultaten på en kontinental skala av klimatmodellsimuleringar för Nordamerika, Europa, Asien, Australien, Afrika och Sydamerika visar att det är samma mönster överallt. Det är ett tydligt mönster som klimatmodellerna kan

reproducera på ett fullt tillfredsställande sätt.

Allt detta sammantaget – de observationer vi gör och den förståelse vi har för hur systemet fungerar – gör att FN:s klimatpanel (IPCC) i den senaste rapporten drar slutsatsen att huvuddelen av den observerade uppvärmningen sedan mitten av 1900-talet mycket sannolikt beror på ökningen av människoskapade växthusgaser i atmosfären. Det står ”mycket sannolikt”, inte att det är säkert. Det kommer vi aldrig att kunna säga. Men vi kan faktiskt nu säga att det är mycket sannolikt.

Det är en samlad bedömning utifrån den klimatforskning som har bedrivits under de senaste 20 åren som gör att vi kan dra den slutsatsen. Hur kommer våra fortsatta utsläpp att påverka det framtida klimatet? Det första som bestämmer det är förstas hur stora de framtida utsläppen blir. Vad händer med vår användning av fossila bränslen på tidsskalen 100 år? Det är en av de svårare prognoserna att göra. Det beror på ekonomin och sådana saker som är mycket mer svårförutsägbara.

Det har ändå gjorts allvarliga försök att åtminstone skatta vad som händer med utsläppen under de närmaste 100 åren. Baserat på befolkningsutveckling, ekonomisk utveckling, teknikutveckling och en rad andra faktorer har man ställt upp modeller för hur utsläppen kan tänkas bli. Man har gjort ett antal scenarier för möjliga framtida utvecklingar. Utifrån dessa kan man sedan med hjälp av de fysikaliskt baserade klimatmodellerna beräkna temperatur, nederbörd och andra fysikaliska konsekvenser. Slutligen kan man göra effektstudier och titta på vad detta betyder för vegetationen och för samhället.

Det basala är ändå vad som händer med koldioxidhalterna i atmosfären. Jag sade att koldioxidhalterna i dag ligger på ungefär 380 ppm. Om ökningstakten



fortsätter att hålla i sig, dvs om den exponentiella tillväxt vi har sett sedan mitten av 1800-talet fortsätter nu och in i framtiden, hamnar vi på nivåer strax under 1 000 ppm om 100 år. Det är drygt tre gånger så mycket som vi hade före industrialismens början.

Den koldioxid vi släpper ut stannar kvar ganska länge i atmosfären. Om vi tvärt skulle hejda utsläppen skulle ändå de nivåer vi har i dag bibehållas under hundratals år framåt. Det tar lång tid för systemet att absorbera koldioxid. Även om vi minskar utsläppen i dag kommer ökningstakten i halterna att fortsätta. Om vi i slutet av det här århundradet har minskat utsläppen med 80-90 procent kan vi börja stabilisera växthusgashalterna och koldioxidhalterna. Men vi ligger ändå på en nivå runt 550 ppm, vilket är ungefär dubbelt så mycket som före industrialismens början.

Det intressanta är förstås vad det här innebär i fråga om klimatförändringar. Hur stora temperaturökningar blir det i framtiden med de här scenarierna av växthusgaskoncentrationsändringar? Klimatmodellerna kan användas för att göra den typen av skattningar. Om den exponentiella tillväxten fortsätter visar modellerna en temperaturökning på runt 4 grader under de närmaste åren. 4 grader är väldigt mycket! Vid en stabilisering runt 500 ppm hamnar vi i stället på strax under 2 grader i temperaturökning jämfört med dagens klimat. Även om vi lyckas stabilisera koncentrationerna på 550 ppm får vi en temperaturökning under de närmaste 100 åren som är mer än dubbelt så kraftig som under de senaste 100 åren. Det innebär alltså att uppvärmningen skulle fortsätta, men vi skulle stabilisera oss kring 0,5 grader högre temperatur än i dag.

Trögheten i klimatsystemet är viktig att känna till. Vad vi gör nu bestämmer förutsättningarna för mycket lång tid framöver, dels på grund av trögheten i

koldioxidsystemet – att det ligger kvar länge – dels på grund av trögheten i själva klimatsystemet. Det tar särskilt lång tid att värma upp haven.

De här nivåerna på uppvärmningen är de som klimatmodellerna visar som en i längden inte helt osannolik utveckling framåt i tiden. Och det är rejäla klimatförändringar! Man kan jämföra med den senaste istiden, när det var 5 grader kallare. Vi pratar nu om ungefär lika mycket fast åt andra hållet – varmare.

Givetvis är dessa modellsimuleringar behäftade med stora osäkerheter; det vill vi inte på något sätt sticka under stol med. Det undre scenariot går från allt ifrån drygt 1 grad till upp mot 3 grader. Det övre scenariot går från 2,5 grader ända upp till drygt 6 grader. Vi vet inte var på skalan vi hamnar. Det viktiga budskapet är att det finns en ganska rejäl osäkerhet, främst uppåt. En del av osäkerheten, speciellt i de övre scenarierna, är också kopplad till ändringar i vegetationen. Om det blir varmare försvinner skogsområden över stora delar av jordklotet. Kolet som ligger bundet i skogen går då upp i atmosfären och spår på koldioxidhalten ytterligare. Det leder till de övre osäkerhetsgränserna i scenariot.

Allt jag har diskuterat nu är globala medelvärden. Med modellerna kan vi också titta på den globala fördelningen av temperaturökningen. 20 år framåt spelar det faktiskt inte så stor roll vilket scenario vi tar; vi hamnar på ungefär samma uppvärmningsnivåer. Vi ser däremot ett mönster: Uppvärmningen uppe i de arktiska delarna och över land är betydligt större än uppvärmningen över det södra halvklotet och Medelhavet. Det mönstret går igen överallt. Vi har sett det hittills och simuleringarna inför framtiden visar det också.

Magnituden på uppvärmningen är ca 2 grader i Arktis under de närmaste 20 åren. Men globalt sett handlar det om ca 0,5 grader under den här tidsperioden.

Om vi tittar 100 år framåt ser det hela betydligt varmare ut. Det är fortfarande samma mönster, men med en väldigt kraftig uppvärmning i det arktiska området. Den blir mindre med det lägre utsläppsscenarioet och större med ett högre utsläppsscenario. Temperaturökningen ligger på 6, 7 eller 8 grader i Arktis. Då är den arktiska sommarisen helt borta. Det finns ingen havsis där. På vintern återbildas den, men på sommaren blir det ingen is.

Över hav är uppvärmningen svagare än över land. Vi ser exempelvis att uppvärmningen är svagare i ett område strax söder om Grönland och Island. Det hänger ihop med havet. Det sägs att Golfströmmen ska stanna av och att vi får en ny istid när den gör det. Så blir det inte.

Men i ett varmare klimat kommer förmodligen Golfströmmen att försvagas. Det beror dels på att Arktis får en avsmältning av Grönlandsisen och glaciärerna, dels på en ökning av vattenflödet i de ryska och kanadensiska floderna. Det spår på med färskvatten i ytskiktet uppe i Norska havet. Golfströmmen är en varm havsström som kommer nedifrån Karibien, går upp längs med USAs ostkust och transporterar varmt vatten ända upp till Norska havet. Om färskvatten lägger sig över Norska havet verkar det som ett lock på cirkulationen. Då kan inte vattnet i Golfströmmen sjunka ned lika effektivt längre, utan det hindras lite grann söderut och sjunker ned tidigare. Det gör att värmetransporten norrut blir mindre. Därmed minskar uppvärmningen. Det blir fortfarande en uppvärmning i området, men den blir mindre än vad den blir i omgivande områden. Det är en reell effekt att Golfströmmen försvagas, men det leder inte till några dramatiska klimatförändringar i just vårt område.

Det finns också en rad andra effekter som man kan se i simuleringarna. Det

regnar mer där det regnar. Samtidigt blir det mindre regn i torra områden. Ökenområdena sprider ut sig, speciellt i Afrika. Vi får en fortsatt höjning av havsytans nivå – det handlar om en halv meter på 100 års sikt – i takt med uppvärmningen. Vi får en fortsatt avsmältning av havsisen och minskande områden med permafrost. Detta är potentiellt en allvarlig sak. I permafrosten, som i dag finns över stora delar av Ryssland, Sibirien och norra Kanada, ligger ganska stora mängder metangas bundna. Om permafrosten smälter kan metangasen gå ut i atmosfären och om den gör det spår det på växthuseffekten ytterligare. Metan är en kraftfull växthusgas.

Vi kan också få fler intensiva tropiska cykloner. Det är lite mer skakigt och osäkert, men de senaste 30 åren har man sett fler intensiva tropiska cykloner. Katrina var ett exempel på det. Simuleringarna visar att med varmare havsvatten är det större sannolikhet att vi får fler intensiva tropiska cykloner, vilket ju också påverkar mänskligheten.

Hur ser det ut i vårt område och hur blir medeltemperaturen i Europa? I Stockholm är årsmedeltemperaturen runt 4 grader. I Paris ligger den strax under 10 grader. Södra Spanien har uppmot 15 grader och nere i Sahara är årsmedeltemperaturen 20 grader. Det är dagens klimat.

Med en global temperaturhöjning på 3–4 grader får Stockholm en årsmedeltemperatur som är densamma som den man i dag har i Paris. I Frankrike får vi årsmedeltemperaturer som motsvarar dem som råder i södra Spanien i dag. Runt Medelhavet hamnar man på årsmedeltemperaturer runt 20 grader. Det är alltså vad man i dag har nere i Sahara.

För södra Europa är det här en katastrof. Det innebär alltså ett ökenliknande klimat runt Medelhavsområdet. Det hänger också ihop med en kraftig minskning av nederbörden. Det blir allt-



så ännu torrare i området. För vår del är det ingen katastrof på det viset. Att vi får ett klimat som motsvarar det man i dag har i Frankrike är fullt överlevnadsbart. Men det är en stor förändring och det är det viktiga budskapet. Det är en rejäl klimatförändring som simuleringarna visar. Med hjälp av den här typen av bedömningar kan vi förbereda oss på ungefär hur stor förändringen blir och vad den innebär.

Årsmedeltemperaturen är någonting man inte riktigt känner av. Vad vi människor egentligen är mest känsliga för är max- och minimitemperaturen – de kallaste vinternätterna och de varmaste somrardagarna. Detta får vi också ut från klimatmodellerna.

Vinternätterna i Centraleuropa kan bli 15 grader varmare. I stället för minus 5 blir det plus 10 grader under den kallaste vinternatten. Det är ju inga större problem. Däremot blir det problem med sommartemperaturerna. Över Frankrike visar simuleringarna ganska entydigt att vi kan få en höjning med uppemot 10 grader under de varmaste somrardagarna. I stället för drygt plus 40 grader blir det drygt plus 50 grader mitt på sommaren – och det är en rejäl ökning.

Just ökningen av maxtemperaturer och en eventuell ökning av tropiska cykloner är några av de allvarliga effekter klimatförändringen kan föra med sig.

Vad händer efter år 2100? Uppvärmningen stannar inte av efter 100 år, utan det är bara det tidsperspektivet vi har valt att titta på lite mer detaljerat. Koldioxiden ligger kvar. Höjningen av havsytan fortsätter. Uppvärmningen över havet fortsätter. Avsmältningen av Grönlandsisen, som jag tidigare sade verkar ha börjat, fortsätter. Om hela Grönland skulle smälta bort höjs havsytans nivå med totalt 7 meter. Det sker inte över 100 eller 200 år, utan det tar tusentals år för Grönland att smälta. Men om uppvärmningen ligger kvar på de här

nivåerna med en global medeltemperaturhöjning på någonstans mellan 2 och 4 grader kommer Grönland att fortsätta smälta. På tidsplanen 400–500 år kan det handla om flera meter i höjning av havsytans nivå. Det sker successivt.

Jag pratade tidigare om en halvmeters höjning på 100 års sikt. För Sverige har det inte så stor betydelse. Men för länder som t ex Bangladesh innebär det att stora delar av floddeltan blir översvämmade och miljontals människor drabbas. En höjning med två meter av havsytans nivå är en katastrof för de flesta storstäder i världen – New York, Tokyo, London och Stockholm. Ännu längre fram blir det ännu värre. Om vi fortsätter med utsläppen är det oåterkalleligen så att detta ligger kvar och hela tiden bygger på uppvärmningen. Vi bestämmer alltså förutsättningarna nu för vad som kan hända under lång tid framöver.

Jag ska avsluta med den slutsats som IPCC drar av det här i sin senaste utvärdering: Fortsatta utsläpp av växthusgaser i samma eller ökad omfattning kommer att ge en fortsatt uppvärmning och orsaka omfattande förändringar i jordens klimat under det kommande århundradet som mycket sannolikt blir större än dem som har observerats under 1900-talet. Här står det ”mycket sannolikt” igen. Vad detta säger är att vi inte vet precis vad som kommer att hända. Men det ligger någonstans i spannet mellan några grader och kanske upp till 7–8 grader. Det kommer att orsaka mycket stora förändringar i olika delar av klimatsystemet.

Men det är också viktigt att påpeka att hur mycket det blir faktiskt beror på hur utsläppen kommer att se ut under de närmaste 20–30 åren. Om vi lyckas minska utsläppen kan vi stabilisera koldioxidhalterna på en nivå som gör att de storskaliga ändringarna inte blir så stora. Men om vi fortsätter att vänta

med att minska utsläppen så när vi upp till högre nivåer som sedan ligger kvar under lång tid.

Jag hoppas att jag har lyckats övertyga er om att det här är ett reellt problem. Vi vet en hel del om det, men långt ifrån allt. Det vi vet säger oss att det här är någonting vi borde ta på största allvar.

### *Martin Persson*

Jag doktorerar på klimatfrågor, men det jag gör handlar inte så mycket om det Erland pratade om – den vetenskapliga bakgrunden – utan mer om lösningar på problemet. Erland har gett en bra introduktion och ett underlag till problemet. Så frågan är: Vad gör vi åt det?

Hur mycket måste vi minska utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser? Vilka möjligheter har vi att nå hårda klimatmål och drastiskt minska våra utsläpp av koldioxid? Det är ganska mycket att gapa över och jag tror inte att jag kommer att kunna ge några definitiva svar på frågorna, delvis på grund av att jag inte tycker att det finns några definitiva svar.

Hur mycket måste vi minska utsläppen av växthusgaser? Ett sätt att svara på det som ekonom är att göra en kostnadsnyttoanalys av klimatproblemet. Hur mycket kostar det att minska utsläppen? Hur stora blir skadorna av växthuseffekten om vi inte gör någonting åt den? Och hur blir det om vi gör någonting åt den? Som Erland visade, även om vi skulle minska våra utsläpp till noll i dag skulle vi fortfarande få relativt stora klimatförändringar. Skadorna kommer att finnas kvar.

Det har naturligtvis gjorts en hel del kostnadsnyttoanalyser av klimatproblemet. Slutsatsen man ofta kommer fram till är att vi nog inte ska göra så väldigt mycket. Den amerikanske ekonomen William Nordhaus har gjort en modell som kallas för DICE (Nordhaus 1994), som finns i en mängd olika versioner. I

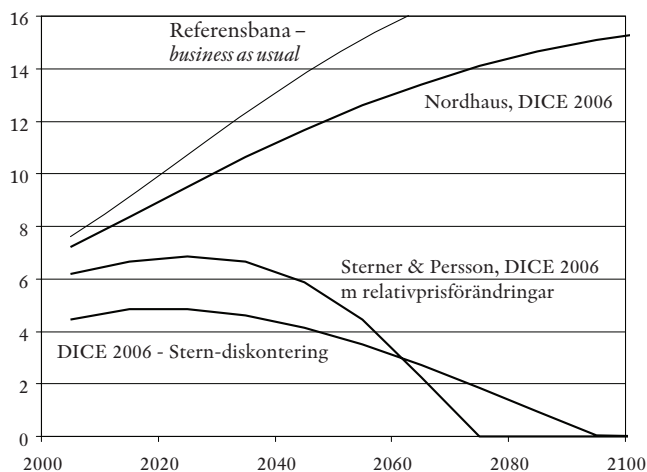
figur 4 visas en version från förra året. Den visar utsläppsbanan av koldioxid i miljarder ton kol. I dag ligger vi på runt 7 miljarder ton kol i utsläpp totalt per år. Figuren visar en referensbana överst, *business as usual*, och därunder en optimal bana enligt modellen. Det är alltså inte så stora minskningar av utsläppen. De ligger ganska nära en del av de scenarier Erland visade för *business as usual*.

Det finns även ekonomer som säger att det är rimligt att göra en hel del åt klimatfrågan och minska våra utsläpp mycket. En av dem är Nicholas Stern, en engelsk ekonom som i höstas släppte en rapport som kallas Sternrapporten (Stern 2006). I motsats till Nordhaus, som menade att kostnaderna för klimatförändringarna i framtiden kanske ligger på runt ett par procent av global BNP, kom Stern fram till att det blir någonstans mellan 5 och 20 procent.

Vad är det som gör att man kan komma fram till så olika svar på frågan om hur stort problemet med klimatfrågan är? En central aspekt är vilken diskonteringsränta man använder. Hur mycket räknar man ned framtida kostnader av klimatförändringar? Nordhaus använder en relativt, men inte extremt, hög diskonteringsränta och Stern använder en väldigt låg sådan. Diskonteringsräntan beror delvis på hur man värderar framtida generationers lycka, dels på förväntningar om framtida tillväxt. Nordhaus har en diskontering som i dag ligger på kanske 5–6 procent, medan Stern landar på 1,5 procent.

Jag ska illustrera det med ett exempel. Tänk er att vi får 1 miljon kr i skador från klimatförändringar om 300 år. Med en femprocentig diskonteringsränta är detta värt att undvika till en kostnad om ungefär 50 öre i dag. Med en diskonteringsränta på 1 procent är det värt att undvika till en kostnad av 50 000 kr i dag. Det påverkar alltså väldigt mycket. Som Erland sade kommer också mycket

Figur 4  
Modeller för utsläpp  
av koldioxid. GtC  
(miljarder ton kol  
per år)



Källa: Nordhaus (2006) samt Sterner och Persson (2007).

av skadorna att öka längre fram i tiden på grund av trögheten i klimatsystemet och på grund av våra utsläpp. Diskonteringsräntan är alltså en viktig aspekt.

En annan aspekt är hur man uppskattar skadorna från klimatförändringar. De flesta studier och modeller som finns underskattar skadorna från klimatförändringar ganska gravt. En av de mer kända och väletablerade modellerna har utarbetats av den engelske ekonomen Richard Tol. I hans klimatmodell kommer den största delen av skadorna av klimatförändringarna från den extra kostnaden för att installera luftkonditioneringsapparater i Afrika (Warren m fl 2006). Det är att trivialisera problemet. Som Erland var inne på kan klimatförändringarna få enorma, inte minst sociala, konsekvenser.

En anledning till att man drar slutsatsen att man inte ska göra så mycket är att skadorna från klimatet underskattas. Men den effekten är fortfarande mindre än effekten av en hög diskonteringsränta. Har man en hög diskonteringsränta kan man fortfarande dra slutsatsen att man inte ska göra så mycket, även med höga skadekostnader.

Att vi förväntar oss ekonomisk tillväxt i framtiden är en av anledningarna till att Nordhaus kommer fram till att vi inte ska göra så mycket åt klimatförändringarna. Eftersom vi kommer att vara mycket rikare i framtiden blir kostnaderna för klimatförändringar mindre intressanta. Men även om vi kommer att ha en ekonomisk tillväxt i materiella termer, innebär inte det att vi har en tillväxt i andra termer – t ex när det gäller de tjänster vi får från miljön. Om man tar hänsyn till detta kan man förvänta sig att i framtiden kommer priset att öka på de tjänster vi får från miljön. Vi får alltså en avtagande nytta av ökad materiell konsumtion som gör att den blir allt mindre intressant relativt konsumtionen av miljövaror.

Man kan ta hänsyn till detta i en modell. Det har jag gjort tillsammans med Thomas Sterner som är professor i miljö och ekonomi i Göteborg (Sterner och Persson 2007). Vi har lagt in detta i Nordhaus modell, DICE. Utsläppsbanan syns i figur 4. Vi har delat upp konsumtionen i konsumtion av materiella varor och konsumtion av varor som ligger utanför den traditionella markna-

den. Detta påverkas också av klimatförändringarna. Då kan man dra slutsatsen att man ska göra mycket för att minska våra utsläpp av växthusgaserna även med en hög diskonteringsränta. Vi använder samma diskonteringsränta som Nordhaus gör i sin modell.

Jag vill inte hävda att den ena kurvan är bättre eller mer sann än den andra. Den poäng jag vill göra är att detta i slutändan är en värderingsfråga. Vilken diskonteringsränta man använder har helt klart med värderingar att göra. Hur värderar man att klimatförändringarna kommer att drabba människor i fattiga länder hårdast? Tar man hänsyn till det när man värderar kostnaderna eller inte? Generellt sett gör man inte det – inte i något av de exempel jag har visat här. Hur värderar man risken för katastrofala effekter av klimatförändringar, där man inte kan sätta upp några sannolikheter för hur stor den risken är?

Ett sätt att komma runt det här är helt enkelt att bestämma sig för ett mål: Hur stora klimatförändringar kan vi tillåta? EU har satt ett mål om att vi ska begränsa uppvärmningen till 2 grader. Som Erland var inne på har det hittills handlat om 0,7 grader globalt sett. Man har sagt att 2 grader kanske är något vi kan leva med, trots att effekterna fortfarande kommer att vara ganska stora.

Även om man bestämmer sig för ett klimatmål finns det stora osäkerheter i hur mycket man måste minska utsläppen. På vår avdelning på Chalmers har vi räknat på hur mycket man måste minska utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser – metan och lustgas – för att kostnadseffektivt nå ett visst mål (Johansson m fl 2006). Resultaten beror på hur känsligt jordens klimat är. Om jordens klimat inte är så känsligt för mänsklig påverkan och om en fördubbling av koldioxidhalten skulle leda till en uppvärmning på 1,5 grader på lång sikt, som är den undre gräns IPCC anger,

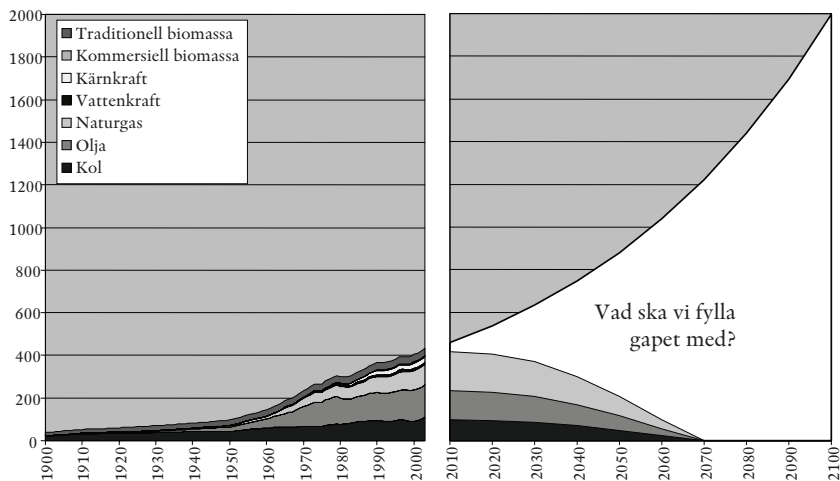
kan vi faktiskt tillåta utsläppen att öka under de närmaste 100 åren och nå en peak på runt 16 miljarder ton kol om året. Om jordens klimat däremot är väldigt känsligt för mänsklig påverkan och en fördubbling av koldioxidhalten skulle leda till en uppvärmning på 4,5 grader, som är den övre gränsen för vad IPCC anger, så måste vi stabilisera utsläppen inom ett eller två decennier och sedan drastiskt börja minska utsläppen så att vi har nollutsläpp mot slutet av det här århundradet.

Den enda rimliga slutsatsen är att försöka nå utsläppsmål i linje med den undre banan för att hålla möjligheten öppen att nå hårda klimatmål. Om man väl har släppt ut så mycket att man har en hög halt av koldioxid i atmosfären har man förbundet sig för en viss uppvärmning. Man bör därför i stället satsa på en lägre bana.

Är det då över huvud taget möjligt att nå en utsläppsbana så att man stabiliserar de globala koldioxidutsläppen inom ett par decennier och sedan börjar minska dem drastiskt? Frågan är viktig inte minst om man betänker att vi förväntar oss en ekonomisk tillväxt och vi vill tillåta fattiga länder att öka sin levnadsstandard och sin användning av energi. Figur 5 visar den globala energianvändningen historiskt (vänstra delen) och scenarier för framtiden (högra delen). Det viktiga är att ungefär 80 procent av vår energianvändning kommer från fossila bränslen – kol, olja och naturgas – som ger upphov till utsläpp av koldioxid när vi bränner dem.

Om vi ska nå det klimatmål jag skisserade ska vi i princip fasa ut användningen av fossila bränslen helt och hållet under ungefär de närmaste 70 åren. Om vi samtidigt vill tillåta ökningen i energianvändningen är frågan: Vad ska vi fylla gapet med? Vilka är alternativen? Delar av svaret på den frågan är att vi kanske inte behöver fylla hela gapet. Det finns

Figur 5  
Global energianvändning. EJ ( $10^{18}$  Joule)



Källa: BP (2006), Smil (2003).

en otroligt stor potential för att öka energieffektiviteten. Ett exempel är transportsektorn – bilar. En ny svensk bil drar i medeltal 0,8 liter bensin per mil. Men det finns bilar i dag som drar 0,3-0,4 liter per mil. Det finns hus som inte har något traditionellt uppvärmningssystem. Husen är så välisolerade att det räcker med energin från människorna som bor i dem, apparater, kylskåp, datorer osv för att värma upp dem. Det är exempel på att vi kan minska vår energianvändning utan att behöva kompromissa med vår levnadsstandard.

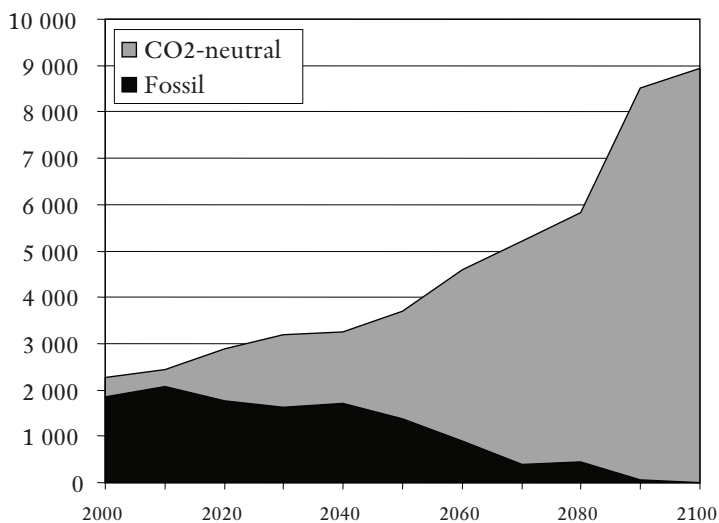
Vi kan fortsätta leva som vi gör i dag men använda mycket mindre energi. De flesta forskare menar att vi åtminstone kan halvera vår energianvändning med fortsatt levnadsstandard till en låg kostnad under de närmaste 50 eller 100 åren. Utöver detta har vi möjligheten till livsstilsförändringar, vilket kan vara mycket svårare att få igenom.

Energieffektivisering kommer att vara en viktig lösning på klimatfrågan. Det finns dock fortfarande ett ganska stort gap att fylla. Vi kan fylla det med förnybar energi – sol, vind och bioenergi. Vi kan fylla det med fortsatt användning

av fossila bränslen, men där man fångar in och lagrar koldioxiden. Det är faktiskt någonting som redan görs på flera ställen i världen. Slutligen har vi också kärnkraft – något som börjar diskuteras alltmer. Dessa är de tre huvudsakliga alternativ som finns.

Det är viktigt att komma ihåg att det inte råder någon brist på energi. Det är inte det som är problemet. Solinstrålningen till jorden varje år är mer än 10 000 gånger så stor som den mänskliga energianvändningen. Om vi bara kan använda en liten del av den resursen kan vi täcka in allt där. Det är förstas en kostnadsfråga. Det är naturligtvis viktigt att även satsa på forskning och utveckling av nya teknologier – produktion av väte och solenergi. Koldioxidlagring finns redan i liten skala, men det behöver forskas mer om detta. Men tekniskt sett är det inga problem att lösa klimatfrågan.

Vi har alltså teknologier, men utmaningen är ändå stor om vi ska stabilisera de globala utsläppen inom en snar framtid. Figur 6 visar i hur hög grad vi måste installera ny kapacitet av energi om vi ska stabilisera koldioxidhalten i atmosfären på 400 ppm, alltså strax över 380



Figur 6  
Behov av ny energikapacitet vid stabilisering av koldioxidhalten på 400 ppm. Megawatt per dag

Källa: Energisystemmodellen GET6.0, Azar m fl (2006).

ppm, där vi är i dag. Då måste mot mitten av det här århundradet ungefär hälften av den nyinstallerade kapaciteten av energi – elkraftsanläggningar osv vi installerar – vara förnybar energi. Storleksordningen är ett par gigawatt om dagen. Ett nytt, modernt, stort kolkraftverk motsvarar ungefär 1 gigawatt. Det innebär att vi i så fall ska installera nya kärnkraftverk, solenergianläggningar eller koldioxidfria anläggningar motsvarande ett par kolkraftverk om dagen. Mot slutet av århundradet handlar det om 5-7 om dagen globalt sett. Världen är ju stor, så det är svårt att få en känsla för de här siffrorna.

Tekniskt kan vi absolut lösa klimatfrågan och nå hårda klimatmål. Det behöver inte heller kosta oss vår välfärd. Vi kan göra det med ekonomisk tillväxt. Det är politiskt som den stora utmaningen finns.

## REFERENSER

Azar, C, K Lindgren, E Larson och K Möllersten (2006), "Carbon Capture and Storage from Fossil Fuels and Biomass – Costs and

Potential Role in Stabilizing the Atmosphere", *Climatic Change*, vol 74, s 47-79.

BP (2006), *BP Statistical Review of World Energy 2006*, www.bp.com.

Johansson, D J A, U M Persson och C Azar (2006), "The Cost of Using Global Warming Potentials: Analysing the Trade Off between CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O", *Climatic Change*, vol 77, s 291-309.

Nordhaus, W D (1994), *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge MA.

Nordhaus, W D (2006), "The Stern Review on the Economics of Climate Change", <http://nordhaus.econ.yale.edu/SternReviewD2.pdf> (2006-11-17).

Smil, V (2003), *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*, MIT Press, Cambridge MA.

Stern, N, (2006), *The Economics of Climate Change – the Stern Review*, Cabinet Office, HM Treasury, Cambridge University Press, Cambridge.

Stern, T och M Persson (2007), "An Even Stern Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate", under utgivning i *Review of Environmental Economics and Policy*.

Warren, R m fl (2006), "Spotlighting Impacts Functions in Integrated Assessment", Working Paper 91, Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich.



*Bengt Kriström*

Jag antar att det inte är så ofta National-ekonomiska Föreningen inbjuder naturvetare till sina förhandlingar. Men jag tycker att det är alldeles rätt att ni har gjort det. Jag tror nämligen att ekonomer har mycket att bidra med i klimatfrågan och att naturvetare och ekonomer behöver mötas i olika fora för att diskutera lösningar.

Jag ska inte ge några synpunkter i sak på Erlands anförande, utan i stället sammanfatta några av mina synpunkter på klimatpolitikens ekonomi. Man kan sammanfatta sakläget i fyra punkter: (i) Det blir varmare. (ii) Koldioxidkoncentrationen i atmosfären har ökat. (iii) Det blir varmare bl a beroende på att det finns mer koldioxid i atmosfären. (iv) Klimatmodellerna kan förutsäga hur varmt det blir om 100 år. Den sista punkten är måhända mest kontroversiell, även om det givetvis fortfarande finns en diskussion kring (iii). Hur som helst, det är möjligt att göra ganska precisa skattningar av framtida klimat, enligt Erland. Sammantaget tycks de fyra punkterna leda många till slutsatsen att "vi måste göra någonting nu". Jag återkommer till detta.

Det finns två dimensioner som gör klimatfrågan särskilt intressant i ett ekonomiskt perspektiv, nämligen fördelningen av kostnader och intäkter över rum och tid. Kostnaderna och intäkterna kommer att fördelas olika när det gäller uppvärmningen. Klimatet uppe i Umeå kanske blir ungefär som Skånes. Det kanske finns andra vinnare i Sverige och det finns definitivt förlorare. Det som är ännu mer knepigt att hantera är att kostnaderna uppkommer i dag och intäkterna långt in i framtiden. Hur ska vi väga ihop kostnader i dag med intäkter som uppkommer om, låt oss säga, 100 år?

Eftersom miljöskadan inte beror på var utsläppskällan är lokaliserad är det

enda sättet att lösa frågan ett långtgående internationellt samarbete. Om vi vill ha en kostnadseffektiv lösning kan vi använda en global skatt eller en global rättighetsmarknad. Det finns vissa teoretiska resonemang som antyder att det finns en viss fördel med skatt. Kostnaderna kan ju skena i väg om man använder en global rättighetsmarknad. Hur som helst, de kostnadseffektiva lösningarna finns, det svåra är givetvis att få till stånd ett långtgående internationellt samarbete.

Om vi kan nå ett samarbete, i vilken takt ska vi då sätta in åtgärder? De flesta ekonomiska modellerna landar i slutsatsen att vi bör gå ganska långsamt fram och göra ganska lite från början. Om kanske 20-30 år är det så dags för mer långtgående insatser.

Modellberäkningarna bygger på en stor mängd antaganden. Den centrala parametern är dock diskonteringsfaktorn. Nuvärdet av 100 kr som utfaller om 100 år vid 4 procents ränta är ungefär 2 kr. Om räntan är 10 procent är motsvarande nuvärde 0,7 öre. De flesta samhällsekonomiska lönsamhetsbedömningar använder diskonteringsräntor i intervallet 4 till 10 procent. Exemplet antyder att kalkylutfallet kan vara helt beroende av valet av ränta.

Om vi antar att tillväxten är ungefär 2 procent, vilket är det ungefärliga genomsnittet, kommer en generation om 100 år att vara sju gånger rikare än vad vi är nu. Om tillväxten blir 1,3 procent kommer de att vara 3,6 gånger rikare. En klassisk fråga inom nationalekonomin är just hur mycket vi ska spara och investera; ska dagens "fattiga" generationer spara (investera i klimatåtgärder) till förmån för generationer som av allt att döma kommer att vara flera gånger rikare än vad vi är? Vår syn på detta avspeglas i valet av diskonteringsränta.

Sternrapporten, som Martin berättade om, landar i slutsatsen att det finns

starka skäl för en långtgående klimatpolitik redan i dag. Hur kommer då Sternrapporten fram till detta? Den skiljer sig en del när det gäller hur man har räknat på intäkter och kostnader och i grova drag är rapporten mer optimistisk än andra när det gäller kostnader och intäkter. Men det hela kokar ändå ned till att valet av diskonteringsränta är helt avgörande.

Sternrapporten använder en diskonteringsfaktor på 1,4. Man kan dekomponera diskonteringsfaktorn med den så kallade Keynes-Ramsey-formeln. En parameter är själva nyttodiskonteringsfaktorn, den andra beskriver nyttan av konsumtion i olika tidpunkter (egentligen elasticiteten av gränsnyttan) och den tredje är ekonomisk tillväxt (uttryckt i procent). Det sistnämnda innebär att om klimatförändringen i sig påverkar den ekonomiska tillväxten så kan diskonteringsfaktorn ändras.

Hur ska då värden på dessa parametrar väljas? Enligt Weitzman (2007) finns det en konsensus som innebär att man ska välja parametrarna som *a triple of twos*, dvs 2 och 2 och 2. Då kommer man fram till en faktor på 6 procent (som  $2 + 2 \cdot 2$ , enligt formeln). Sternrapporten väljer parametervärdena 0,1, 1 och 1,3. Det ger en diskonteringsfaktor på 1,4 ( $0,1 + 1 \cdot 1,3$ ). Med Sternrapportens parameterintervall blir nuvärdet av 100 kr som utfaller om 100 år 24,9. Om man använder Weitzmans konsensusciffror blir detta nuvärde ungefär 30 öre. Skillnaden är alltså en faktor 100. Detta förklarar varför valet av diskonteringsränta är helt avgörande för utfallet.

Sternrapporten har fått mycket kritik för att den väljer parametrar som leder till en viss slutsats (dvs den politiskt korrekta att det är bäst att vi "gör mycket redan nu"). Men den kanske ändå har rätt och är "right for the wrong reason" (för att låna ett uttryck av från Weitzman 2007). Med ett försäkringsliknan-

de resonemang kan man nämligen landa i slutsatser som liknar Sternrapportens (se Weitzman 2007 samt Heal och Kriström 2002).

Geoffrey Heal och jag tänkte ungefär på följande sätt. Anta att vi vill betala något för att undvika extrema förändringar av klimatet i framtiden. Hur mycket vi vill betala beror på ett antal faktorer t ex diskonteringsfaktorn, vår attityd till risk och sannolikhetsfördelningen för olika utfall. Våra illustrativa beräkningar ger utfall som påminner om Sterns slutsats: det finns argument för att redan i dag satsa på klimatåtgärder för att på så sätt minska risken för framtida katastrofala utfall.

Vad bör då Sverige göra? Problemet är att vi är ett litet land som inte bidrar så mycket till de totala utsläppen. Dagens politik är, kan man säga, en "gå-före" politik. Vi har rätt inom ramen för en överenskommelse inom EU att fram till 2010 släppa ut 4 procent mer än vad vi gjorde 1990, men vi har frivilligt valt att i stället minska med 4 procent. De ekonomiska analyserna av den här politiken är ganska samstämmiga. De säger i princip att i Sverige är marginalkostnaden för att "gå före" ganska hög. Man kan ifrågasätta om det verkligen är bättre att i Sverige vidta långtgående åtgärder när man för samma pengar kan få en mycket större utväxling i termer av minskning av utsläppen, om åtgärderna görs någon annanstans.

Det har kommit en ny rapport från expertgruppen för miljöstudier (vid Finansdepartementet) av två norska forskare, Knut H Alfsen och Gunnar Eskeland (Alfsen och Eskeland 2007). I princip tycker de att man kanske borde fundera på att i Sverige satsa mer på teknikutveckling snarare än på stora inhemska nedskärningar av koldioxidutsläppen.

Vad vi än gör i Sverige är det väsentligt att vi gör det kostnadseffektivt. Det

betyder i princip att vi ska ro med bägge årorna, både med den utländska åran och med den inhemska. Vi bör öka de internationella ansträngningarna och inte rusa i väg utan hålla huvudet kallt när det gäller svenska åtgärder. Det finns, exempelvis, klara tveksamheter med stora etanolsatsningar, särskilt vad gäller möjligheter att nyttja skogsråvara till bränsle.

Jag har några frågor till Erland. Är den största osäkerheten i klimatmodellerna molnbildningen? Hur långt har ni kommit i den frågan? Hur tycker du att medierna speglar vad ni inom naturvetenskapen vet om klimatfrågan? Finns det en viss alarmism i rapporteringen jämfört med vad ni vet?

#### REFERENSER

Alfsen, KH och G S Eskeland (2007), "A Broader Palette: The Role of Technology in Climate Policy", Rapport 2007:1, Expertgruppen för miljöstudier, Finansdepartementet, Stockholm.

Heal, G och B Krström (2002), "Uncertainty and Climate Change", *Environmental and Resource Economics*, vol 22, s 3-39.

Weitzman, M (2007), "The Stern Review of the Economics of Global Climate Change", under utgivning i *Journal of Economic Perspectives*.

#### *Erland Källén*

Givetvis är inte klimatmodellerna på något vis fullständiga. Den största akilleshäl vi har är just molnigheten, precis som Bengt säger. Molnen har flera olika effekter i klimatsystemet. Den första är att de hindrar solstrålningen. Vi får reflektion från molnen. En liten ändring av den globala molnigheten innebär en ganska stor ändring av hur mycket solstrålning som når marken. Den andra aspekten är att de också är mycket effektiva bidragare till växthuseffekten. En ändring i molnens egenskaper ändrar också växthuseffekten.

Kombinationen av dessa två effekter beror dels på molnens sammansättning,

molndropparna och iskristallerna, som vi i dag har ganska dålig kläm på och dels mycket på i vilket höjdvintervall de ligger, om de är låga eller höga moln. Vi har klara begränsningar i våra modellers förmåga att hantera detta och i observationer om hur molnen ser ut och fungerar. Det är ett av de största områden man nu satsar på inom forskningen, dvs att förbättra observationsunderlaget framför allt med satellit.

Den andra frågan var hur medier speglar problematiken. Det har varit en enorm hausse under det senaste året i mediernas intresse, inte bara i Sverige utan också internationellt. En del kvällstidningsrubriker gör att man blir lite mörkrädd. Men man måste inse vilken mediernas roll är. Kvällstidningar måste ha klatschiga rubriker för att sälja lösnummer. Men det som står i t ex Aftonbladet, i texten, är faktiskt korrekt. Det är vinklat, och det kan ibland vara ensidigt, men det är inte fel. Medierna fyller en oerhört viktig uppgift i att sprida information till den breda allmänheten och det måste bli på detta sätt för att informationen ska nå ut.

Det är helt klart att medierna också har en tendens att polarisera, att försöka hitta motsatta uppfattningar, och där tycker jag att man går för långt. Där plockar man fram klimatskeptiker som totalt saknar kunskap i frågan och som inte har någon insikt i vad problemet handlar om. Man framställer dem som stående på samma nivå som världserkända klimatforskare. Det tycker jag är orimligt. Där tycker jag att medierna har misskött sig, även om det har blivit bättre under senare år.

#### *Martin Persson*

Diskussionen om hur mycket vi ska göra i Sverige och i vilken utsträckning vi ska gå före är spännande. När det under den senaste tiden i medierna diskuteras kring klimatfrågan har det just kommit

upp att det är mycket billigare att minska utsläppen i Afrika eller i Kina än vad det är att göra det i Sverige.

En dimension man ofta missar i diskussionen är den politiska. I de internationella klimatförhandlingarna har det här varit en av de stora knäckfrågorna: I vilken utsträckning är det de rika ländernas ansvar att gå före och göra någonting åt problemet? Många fattiga länder, framför allt Brasilien, Indien och Kina, har varit stenhårda med att de inte tänker göra någonting så länge de rika länderna inte gör något. Det är ett pedagogiskt problem om man ska säga till Kina, Indien eller Brasilien att nu är det dags att ni börjar minska era utsläpp när förhållandevis rika länder i Europa ges möjlighet att öka sina utsläpp med 20-30 procent. Där har Sverige en viktig roll att spela.

När Kyotoprotokollet var på väg att kollapsa efter att USA hade dragit sig ur 2001 gjorde Kjell Larsson, som var miljöminister i Sverige, en hjälteinsats och åkte runt i en mängd olika länder och sade att vi måste stå fast vid Kyotoprotokollet. Han lyckades övertyga många länder i EU att gå vidare.

Kostnadseffektiviteten är viktigt, men den är inte allt.

### *Karl-Göran Mäler*

Jag vill återkomma till det Bengt sade om diskonteringsräntan, som enligt Sternmodellen ligger på 1 procent och som ur etisk synpunkt verkar rimlig, nämligen att vi ska betrakta alla generationer som likvärdiga med varandra. Den låga räntan på 1 procent är en bild av detta. Det får tillsammans med de två andra antagandena i Sternmodellen effekten att vi tar bördan nu. Det andra antagandet är att elasticiteten av gränsnyttan, som Stern säger är lika med 1, kanske skulle vara högre. Det är ett mått på hur olika generationers inkomster ska jämföras med varandra. Ju högre det är, desto mer

känsla har vi för olikheterna mellan generationerna. I princip borde räntan gå upp med den parametern, om vi tror att vi ska ta hänsyn till olikheterna mellan generationerna.

William Nordhaus har lyckats visa att gör man detta kommer man tillbaka till DICE-modellens resultat, nämligen: Gör ingenting, spar. Trots allt är vi fattigast. Om vi tar stor hänsyn till de fattiga generationerna, låt oss låta de rika framtida generationerna ta hand om allt. Men det finns en tidigare parameter som inte har dykt upp i den här diskussionen, och det är tillväxttakten i ekonomin. Den är i sig inte given. I själva verket är tillväxttakten baserad på tillväxttakten i den totala produktiviteten.

Nu finns det empiriska ekonomiska resultat som visar att om man tar hänsyn till utsläppen av koldioxid blir den tillväxttakten 0. Detta är inte publicerat än, men det kommer ut när som helst och kommer förhoppningsvis att leda till förnyad diskussion. Om de resultaten är korrekta står sig Sterns resultat, även om vi ökar på med känslan för olikheterna mellan generationer. Så rimligtvis kanske Stern har rätt, från en annan synvinkel när det gäller tillväxttakten.

### *Bengt Kriström*

Jag tror att jag var inne på detta. I princip skulle den kunna bli negativ med den här diskonteringsfaktorn, om tillväxten blir väldigt negativ. Jag tror att Stern i en senare rapport har försökt ta hänsyn till att den ändrar sig, att räntefaktorn är endogen.

### *Martin Persson*

Visst, vi kanske kommer att vara rikare i framtiden i materiella termer, men det är inte säkert att framtida generationer är rikare när det gäller andra aspekter, t ex de olika typer av miljöjänster och de parametrar som ni tar hänsyn till och

lägger in i den totala tillväxttakten. Det påverkar helt klart.

När man använder diskontering som man gör i dag tar man hänsyn till fördelningsaspekter i tiden mellan generationer. Oftast tar man inte hänsyn till fördelningseffekten inom generationer. Tar man hänsyn till att skadorna i förhållandevis stor utsträckning kommer att falla på de fattigaste i världen, hamnar man också i att man ska göra mycket mer åt klimatförändringarna. Man är inkonsekvent när man bara tar hänsyn till fördelningsaspekten i en dimension och inte i alla dimensioner.

#### *John Hassler*

Jag kommer från universitet i Stockholm. När man här på Handelshögskolan lär ut vilken diskonteringsränta som ska användas vid investeringar brukar man säga: Det centrala är hur avkastningen på investeringen samvarierar med framtida inkomster i samhället som helhet, t ex mätt som BNP. I de modeller ni har presenterat här verkar det som att det grundläggande antagandet är att värdet av att i dag minska uppvärmningen i framtiden är proportionellt mot framtida BNP, dvs om BNP blir låg i framtiden blir kostnaderna av den globala uppvärmningen också ganska små, men blir BNP hög i framtiden blir kostnaderna för klimatpåverkan stora.

Diskonteringsmodellerna säger då att man ska använda en ganska hög diskonteringsränta, nämligen den genomsnittliga avkastningen på börsen. Men det verkar lite konstigt att se kostnaden för klimatpåverkan som proportionell mot framtida BNP. Det ni har pratat om – översvämningar, stormar och sådant – kanske har en viss samvariation med BNP, men att kostnaderna skulle vara helt proportionella verkar osannolikt. Därför borde man väl använda en betydligt lägre diskonteringsränta än börsavkastningen.

Vad kan Martin säga om det? Varför gör man antagandet om proportionalitet i förhållande till framtida BNP?

#### *Martin Persson*

Jag håller med dig, men jag har inte någon riktigt bra förklaring till varför man gör på det sättet.

#### *Erland Källén*

Vad som slog mig i de här ekonomiska resonemangen är att man tittar på något slags medelsamhälle, globala medelvärden. När vi tittar på det metodologiskt visar vi medelvärden, men det bygger på beräkningar som innehåller stor variabilitet. Klimatsystemet i sig är oerhört variabelt. Det finns med i de här modellerna.

Vi kommer in i en situation då vi får helt nya kombinationer av händelser vi aldrig har upplevt tidigare. Vad jag förstår av nationalekonomiska modeller bygger de mycket på statistik utifrån vad som har hänt, och med hjälp av det bygger man upp parametriska samband.

Vi skiljer oss på det sättet att vi använder den grundläggande fysiken, vilket gör att vi med hjälp av fysikens lagar även kan förutsäga saker och ting som aldrig har inträffat tidigare. Det allvarligaste budskapet i klimatscenerierna är att vi kan få helt nya händelser vi inte har sett maken till tidigare. Därför bör man snarare anlägga försäkringsperspektivet: Hur stor risk är vi beredda att ta i framtiden om utvecklingen går åt det här hållet? Att gardera oss för medelvärdet är inte alls lika intressant.

#### *Danne Nordling*

Jag har en randanmärkning kring massmediernas behandling av klimatpolitiken. New York Times släppte för några veckor sedan fram ett antal seriösa klimatskeptiker. Channel 4 i Storbritannien hade ett program med en rad experter som var skeptiska och i stort sett un-

derkände hela koldioxidteorin. Henrik Svensmark har kommit ut med en bok där han gör gällande att man kan förklara variationerna med solaktivitet.

Det var egentligen inte det jag ville säga utan: Vad ska Sverige göra för någonting? Vi gick före i början av 1990-talet. Vi införde koldioxidskatt för att visa att ett rikt land verkligen kan ta på sig bördan av en sådan skatt och att andra länder skulle följa efter och också införa koldioxidbeskattning.

Men hur har det blivit med det? Man kan alltså ifrågasätta tekniken att gå före. Det tycks inte bli koldioxidskatter i andra länder. Det finns några länder som har ganska låga skatter, men vi har inte sett någon generell entusiasm av typen: Titta, Sverige har koldioxidskatt, det ska vi också införa. Det är det som återstår, att Sverige verkligen ska förmå andra länder att göra det. Därtill finns det ytterligare en åtgärd som Stern faktiskt föreslår i sin rapport. Han säger att de som inte inför koldioxidskatt ska tvingas att göra det av länder som redan gjort det genom att de länder som har infört koldioxidskatt också inför en koldioxidtull på produkter från länder som inte har infört koldioxidbeskattning. Jag skulle vilja höra experternas syn på den strategin.

#### *Erland Källén*

Det påstås här att en del massmedierapporteringar går emot det jag har sagt och det som står i den senaste FN-rapporten. Det finns givetvis en del vad jag skulle vilja kalla för extrema ståndpunkter. De kommer alltid att finnas i forskningen, det är det som för forskningen framåt.

Henrik Svensmark är en duktig forskare som har kastat fram en teori att ändringar i solflexcykeln skulle kunna påverka den kosmiska strålningen, först solens magnetfält och därefter den kosmiska strålningen som faller in mot jorden och att det i sin tur skulle påverka

partikelproduktionen, som i sin tur skulle påverka molnbildningen och därmed påverka klimatet. Det är en fysikaliskt möjlig teori, men den saknar stöd i observationer. Det är helt legitim vetenskap, men han har fått väldigt mycket mothugg i den vetenskapliga litteraturen.

Vad IPCC har försökt göra är just att sammanfatta allt som är publicerat i en sammanställning som många kan ställa sig bakom. De slutsatser de kommer fram till kan man se som den minsta gemensamma nämnaren: Vad kan vi påstå med utgångspunkt i allt det som finns publicerat? Det jag har försökt relatera här är precis det som står i IPCC-rapporten. Men det hindrar inte att det kommer att finnas enstaka forskare som påstår att det bara är dumheter.

#### *Gabriel Urwitz*

Är det någon som vill kommentera frågan om koldioxidtull?

#### *Martin Persson*

Det är uppenbart ett område där det skulle behövas mer forskning.

Exemplet att Sverige införde koldioxidskatt kanske inte är helt rimligt. Man kan hitta andra exempel, t ex klorblekt papper där Sverige gick före och fick en stor efterverkan framför allt på 1990-talet. EU lade fram ett förslag om koldioxidskatt 1994, men det föll därför att man inte fick konsensus kring det, vilket behövs för att få igenom en gemensam skatt på EU-nivå. Vi fick handeln med utsläppsätter i stället. Det kanske var ett exempel på att det ändå hade effekt, men det är svårt att säga.

Koldioxidtullar är en intressant idé. Utsläppsprattspriset kollapsade i höstas på grund av att man hade en enorm överannotering av utsläppsätter. Många länder tilldelade för mycket till sina industrier, framför allt för att man ville skydda dem. Det är nackdelen om man



ska gå före som ett litet land. Man förlorar konkurrenskraft mot andra länder. Koldioxidtullar gör att man kan gå före utan att utsätta sin industri för konkurrensnackdel och riskera att företag flyttar utomlands.

#### *Bengt Kriström*

Vad gäller koldioxidtull antar jag att amerikanerna kommer med egna förslag på hur man kan sätta tullar. Jag tror att det kan var en ganska besvärande väg. I stället bör man fundera på om det finns andra sätt att skapa internationella institutioner som kan hjälpa till att lösa det globala problemet.

Jag är fortfarande tveksam till att Sverige ska gå före. Det finns inte några empiriska bevis för att det är värt det. Är svenska folket villigt att betala för att vi ska gå före?

#### *Carl B Hamilton*

Jag är både nationalekonom och politiker. Som politiker uppfattar jag att det finns en önskan hos enskilda individer, kommunpolitiker, osv att vilja fokusera på att ro med den nationella åran: Vad ska jag göra i mitt hushåll, som kommun, etc? Där finns den politiska konkurrensen, på både gott och ont, att framstå som lite "grönare" än de andra. Man riskerar att vidta en mängd åtgärder som är tämligen ineffektiva och samtidigt kostar ganska mycket.

Vad ska man göra nationellt och på kommunal nivå eller landstingsnivå? Bengt säger att vi kanske inte ska göra någonting över huvud taget. Men jag tror att det är helt nödvändigt. Annars får ett land ingen legitimitet i de internationella förhandlingarna att t ex föreslå andra länder vad de bör göra. Samhällsvetare har sålunda en viktig uppgift i att strukturera de internationella förhandlingarna. Det finns bl a ett klassiskt problem med fripassagerare: det bästa är att alla andra begränsar sina utsläpp,

men att jag inte tvingas göra det. Det har föreslagits att man i bl a Sverige skulle lägga mer resurser på teknisk utveckling av kolsnåla tekniker, att ge bistånd mot avskogning i u-länder och att förbättra den praktiska användningen av ekonomiska styrmedel, som handel med utsläppsätter, som just nu kollapsat i EU, men ändå är ett kraftfullt system. Koldioxidskatt, när och hur ska det medlet användas, etc?

Jag skulle vilja att ni sade något mer om vad Sverige bör göra.

#### *Bengt Kriström*

Det var ingen lätt fråga. Det kan, som rapporten är inne på, vara så att vi i stället för att bygga etanolfabriker försöker satsa på forskning kring cellulosa-molekylen. Satsa på den typen av forskning i stället för att höja koldioxidskatten bara i Sverige.

#### *Erland Källén*

Jag tror att mycket stora vinster kan göras genom energieffektivisering. Av de lastbilstransporter som går är 40 procent tomma. De som har last är bara utnyttjade till ungefär 40 procent. Så den totala effektiviteten är ganska liten inom transportsektorn. Där finns väldigt stora vinster att göra på kort sikt.

En annan aspekt är att det inte bara är fråga om att minska utsläppen. Vi måste göra investeringar i dag för att kunna klara av de händelser som det finns större risk för i framtiden.

#### *Martin Persson*

När det gäller ökad energieffektivitet finns det mycket man kan göra till ganska låg kostnad i Sverige, både när det gäller bostäder och en ännu snabbare utfasning av oljeuppvärmning av enskilda bostäder.

Även personbilar och inte bara gods-transporter är ett annat område där man kan effektivisera. Den nya svenska per-

sonbilsparken drar ca 20 procent mer än den genomsnittliga europeiska. Det finns inte några speciella skäl till att vi måste ha större bilar i Sverige. Det är viktigare än etanolsatsningen, framför allt när man satsar på att ge bidrag så att folk kan köpa stora Saab bifuel-bilar som drar väldigt mycket etanol.

#### *Richard Murray*

Eftersom det finns några fysiker här passar jag på att ställa en fråga ni förhoppningsvis kan utreda. Att använda solen och vinden och vattnet i våra strömmar och älvar, och öka energianvändningen, leder inte det till en ökad uppvärmning?

#### *Erlend Källén*

Det gäller att hålla reda på storleksordningarna här. Den energiförbrukning som vi har, uppvärmning av hus, bilar osv som givetvis producerar värme är i förhållande till det totala energiflödet försvinnande liten. Den bidrar inte på något sätt till den globala uppvärmningen. Vi kan öka det energiflödet ganska mycket utan att det märks i klimatet.

#### *Bengt Kriström*

Jag har en naturvetenskaplig fråga. Om temperaturen stiger så att vi får, som jag antar, en temperaturutjämning, borde det då inte bli färre stormar?

#### *Erlend Källén*

Det är en knepig fråga. Lågtrycken på mellanbredden ser till att kall luft transporteras söderut och varm luft transporteras norrut. De åstadkommer i medeltal ett värmeutbyte mellan ekvatorsområdena som värms upp mer av solen och polarområdena där vi har mycket utstrålning och därmed avkylning. Stormarna gör att vi får en utjämnad temperatur.

Hur kraftiga stormarna blir beror på uppvärmningsskillnaden mellan pol och ekvator. Men det är både intensiteten

hos de enskilda stormarna och antalet stormar samt strukturen på stormarna som avgör det totala värmeutbytet som ger upphov till. Ändrar vi på temperaturskillnaden mellan pol och ekvator – vilket det faktiskt ser ut som att vi håller på att göra i samband med den globala uppvärmningen så att den skillnaden blir något mindre och zonerna där vi har många stormar förskjuts lite längre norrut – då ändrar vi förmodligen också på statistiken hos stormarna. Men det är väldigt svårt att säga på vilket sätt. De klimatsimuleringsmodeller som vi har ger inga entydiga svar på frågorna när det gäller mellanbreddsstormarna.

#### *Gabriel Urwitz*

Om du skulle gissa?

#### *Erlend Källén*

Det vågar jag inte göra. Vad vi däremot kan se i simuleringarna och som verkar ge mer robusta resultat är de tropiska stormarna som är andra typer av fenomen. De drivs av avdunstningen av de varma vattenytorna i tropikerna. Det ska vara mer än 26 grader varmt på vattenytan för att man ska få en tropisk cyklon. Det är liksom bränslet till de tropiska cyklonerna. Det visar sig i simuleringar att vi kan få fler starka tropiska cykloner och varmare klimat på grund av den här effekten.

Men som sagt: Mellanbreddsstormarna vågar vi inte säga någonting om.

#### *Göran Pettersson*

Jag är militär och politiker. I 100-års-perspektivet kommer det ju att ske en ganska dramatisk förändring. Nu talar vi ofta som att vi alla vore förlorare. Men i det korta perspektivet finns det vinnare också. Kommer man att kunna sitta stillatigande i länder som Indien och Kina, eller är det så att man kommer att ta sitt öde i egna händer? Har ni funderat på det?

*Erland Källén*

Problemet är att vi inte kan se entydiga vinnare och förlorare. Det finns en för stor osäkerhet i just de regionala klimat-ändringsperspektiven.

Ett annat problem med de klimat-ändringar som sker är att ju längre det går, desto mer omfattande och globala kommer de att bli, som höjningen av havsytans nivå. Då är förlorarna längs kustlinjerna. Jag vet inte hur stor procent av mänskligheten som bor längs kusterna, men det är ganska många. Det kommer att drabba större delen av mänskligheten.

Det kan finnas enskilda regioner eller länder som kan spekulera i att de skulle komma lindrigare undan och kanske t o m vinna på det. Men jag tycker att det är lite cyniskt att resonera på det sättet. Det är vi i i-länderna som har stått för de utsläpp som har gett oss de halter vi har i dag. Vad har vi för rätt att säga till u-länderna att de inte får lov att släppa ut därför att vi inte vill befara ett ändrat klimat i vårt område?

*Björn Kinberg*

Nu oroas man över hur energi ska produceras om 100, 200 eller 300 år. Ni räknar tydligen inte med att kärnkraft, fusionskraft etc ens då ska finnas tillgänglig för att lösa de här problemen?

*Martin Persson*

Personligen är jag teknikoptimist, så jag tror absolut att vi kan komma på långt effektivare lösningar, solenergi t ex. Kärnkraft har vi redan. Det handlar mer om hur man hanterar andra aspekter.

Det största problemet är kopplingen kärnkraft-kärnvapen som ju illustreras tydligt i dag med Iranfrågan. Det är otroligt svårt att skilja på dessa teknologier – det är samma teknologier man använder för civil kärnkraft som för att producera kärnvapen. Ska man bygga ut kärnkraften i stor skala för att klara

klimatproblematiken kommer det problemet att bli mycket större. Men det är inte så mycket ett tekniskt som ett socialt problem.

*Erland Källén*

Låt oss se på USA i dag, som står för 25 procent av världens koldioxidutsläpp. Drygt 50 procent av USAs elproduktion kommer från kolkraftverk. De måste förnyas. Det måste bli nyinvesteringar. Enligt min uppfattning är kärnkraft en tekniskt möjlig lösning för att göra nyinvesteringar.

Den andra möjlighet jag ser är *carbon dioxide capture and storage*, alltså att leda ned koldioxiden i marken. Förnybar energi, att använda biobränslen, anser jag vara riskfyllt. I biobränslen ligger implicit tanken att det är ett slutet kretslopp, att den skog som vi bränner ska växa upp igen och så vinner man koldioxid på det viset. I bästa fall är det ett slutet kretslopp. Det är ingen garanti för att det verkligen är så.

Om vi bränner upp en massa skog nu tar det tid för den skogen att växa upp igen. Vi får en fördröjningseffekt. Vi ska inte försöka elda på för att släppa ut ännu mer utan snarare minska utsläppen.

*Martin Persson*

När det gäller de bioenergisystem som är intressanta, som salix med en rotationsperiod på några år till sockerrör som är på årsbasis eller liknande, får man inte det problemet.

Det finns andra problem i bioenergin, som sociala problem. Var ska man ta marken ifrån? Matpriserna kommer att öka. Det ser vi redan i dag i Mexiko. Det är stora protester mot att man säljer majs till USA för att producera etanol. Det kommer vi att få se ännu mer i framtiden, nämligen risk för ökad avskogning därför att man vill ha mark för att producera energi.

*Per Torell*

Jag läste en artikel om iskärnor man borrar i Antarktis, några kilometer genom isen. Man kan avläsa koldioxid många hundra tusen år tillbaka och också beräkna temperaturen. I kurvorna över tiden ser man att koldioxid och temperatur följer varandra nästintill slaviskt. Det var några som gjorde en statistisk analys av detta och då ser man en tidsförskjutning. Vad är det som är först? Är det temperaturen som ligger före koldioxiden, eller är det koldioxiden som ligger före temperaturen? Det visar sig att ett antal hundra år efter en temperaturhöjning kom koldioxideffekten. Det känns väldigt motsägelsefullt. Finns det någon förklaring till det?

*Erland Källén*

Det här är en mycket intressant problematik, men det har ingenting med dagens koldioxidproblem att göra. Det är fråga om hur istiderna genereras och skapas. Istider är alltså långa perioder då vi har en sakta avkylning av jordens klimat och påbyggnad av de stora glaciärerna. Helt plötsligt faller de samman, och så blir det värmeperiod igen. Det här inträffar med ungefär 100 000 års mellanrum. Det har högst sannolikt en koppling till jordens bana kring solen, lutningen av jordaxeln och avståndet mellan solen och jorden, elliptisiteten.

Men den effekten är inte tillräcklig för att förklara de stora temperaturvariationer som finns under istiderna, utan det måste finnas återkoppling också i systemen som förstärker variationerna. En sådan återkoppling är mer is, mer reflektion av solstrålningen, kallare klimat. Det är en positiv återkopplingsmekanism som kan förklara en del.

En annan del av återkopplingen är att kallare klimat innebär att mer koldioxid kan bindas i haven. Därmed sänks koldioxidhalterna i atmosfären och det förstärker ytterligare avkylning åt annat

håll, mot uppvärmning. Om det nu är så att temperaturändringen kommer först och koldioxidändringen kommer sedan, talar vi om att istidsproblematiken snarare bygger på en sådan återkoppling med reflektionen av solstrålning och jordens bana kring solen än en direkt återkoppling till koldioxid. Det är ett intressant bidrag till förståelsen för mekanismerna bakom istiderna.

Dagens koldioxidändring har inte det minsta med detta att göra. Det är väldigt tydligt att ökningen av koldioxidhalten i atmosfären beror på människans förbränning av kol och olja, och ingenting annat. Det har skett en långsam uppvärmning av haven, som jag visade tidigare. Det handlar om några tiondels grader under de senaste hundra åren. Det kan omöjligt ha bidragit till den koldioxidökning som vi har sett i atmosfären. Det är ett helt annat problem.

*Martin Persson*

Det var i stort sett korrekt. Det har en del med dagens växthuseffekt att göra på det sättet att återkopplingsmekanismerna är viktiga för hur känsligt jordens klimat är. Något som Erland nämnde tidigare är risken för att hela Amazonas brinner ned vid en uppvärmning på två-tre grader. Det i sig ökar koldioxidhalten. Det är sådana återkopplingsmekanismer som vi ser. Samma sak när temperaturen ökar, då blir haven sämre på att binda koldioxid. Det är något som kommer att påverka koldioxidhalten i framtiden.

*Olle Björk*

Jag kommer från Miljödepartementet. Jag har sysslat med klimatpolitik i drygt tio år, och jag har funnit att under denna tid har nationalekonomernas bidrag till den dagspolitiska debatten i denna fråga blivit allt mindre.

Som ett exempel för att illustrera detta vill jag påminna om när Ing-Marie Green visade att åtgärder mot kvä-

vegödslingsproblematiken i Östersjön skulle kunna få en fördubblad kostnadseffektivitet. Detta resultat ledde att DN publicerade en artikel, undertecknad av, om jag minns rätt, inte mindre än tolv professorer, som framhöll vikten av kostnadseffektivitet i åtgärderna. Nu talar vi om ett större problem där kostnadseffektiviteten är ännu viktigare.

Jag vill också påpeka att de klimatåtgärder den svenska staten gör i utvecklingsländer, som Brasilien, Indien och Kina, är försiktigt uttryckt tio gånger så effektiva som en del av de åtgärder vi överväger här hemma.

#### *Jörgen Christensen*

Vi kan inte förbigå det faktum att här på jorden finns det 1 miljard grisar, 1,3 miljarder nötkreatur, tre kvarts miljarder mindre kreatur i form av getter och liknande och 15 miljarder fjäderfå. De utsöndrar växthusgaser, metan, som är ungefär 23 gånger så effektiv som koldioxid, och kväveoxid som är 296 gånger så effektiv. 1,3 miljarder människor livnär sig på kreatur och aktiviteter som är knutna till kreatursproduktionen. Bland de åtgärder som ska diskuteras i sammanhanget är det svårt att komma undan detta, som är mycket bra belyst av FAO i den rapport som kom ut i slutet av förra året, *Livestock's Long Shadow – Environmental Issues and Options*.

#### *Erland Källén*

Metan är förvisso en väldigt effektiv växthusgas och det är kväveoxid också. Men totalt sett utgör de fortfarande en mindre del av växthuseffekten.

De koldioxidhalter vi har i dag står för 75 procent av ökningen av växthuseffekten. De andra ca 25 procenten är metan, kväveoxider, ozon, freoner och en del andra mindre bidrag. Partikelutsläppen, som jag nämnde är avkylande,

står för en avkylning som är ungefär lika stor som den fjärdedel som inte är koldioxid i växthusgaseffekten. Det här är en ganska viktig sak. Om vi nu skulle rena utsläppen från partiklar – i Kina har man t ex en enorm mängd kolkraftverk, många av dem utan partikelrening – skulle vi kunna minska partikelhalten i atmosfären och komma bort från en del av avkylningen. Då skulle plötsligt växthuseffekten av de extra växthusgaserna slå igenom fullt ut.

Den uppvärmning vi har sett hittills utgör alltså inte den fulla potentialen för all den ökning av växthusgaserna som finns i atmosfären, utan vi har lite kompensation med de här partiklarna. Det är lättare att bli av med partiklarna än att minska växthusgasutsläppen, särskilt metan och kväveoxider som direkt hör ihop med livsmedelsproduktion. Ju fler människor vi blir på jorden, desto större blir ofrånkomligen de utsläppen.

#### *Martin Persson*

Man fokuserar mycket på energi, men det här är också en viktig del av utsläppen. Metan och lustgas handlar det om, men det handlar också om koldioxidutsläpp i livsmedelssektorn. Köttproduktionen är mycket mer energiintensiv än vegetabilisk produktion. Där har rapporten från FAO visat att uppskattningsvis 20 procent av de globala växthusgasutsläppen kommer från just köttproduktion, vilket är ungefär i samma storleksordning som den globala transportsektorn.

När det gäller vad man kan göra personligen för att påverka klimatet är kanske en av de viktigaste sakerna att äta mindre kött.

#### *Gabriel Urwitz*

Det har varit en mycket intressant diskussion och vi tackar Erland, Bengt och Martin.