Formas Fokuserar

Osäkrat klimat – laddad utmaning

Osäkrat klimat – laddad utmaning

Att jorden blir varmare beror mycket sannolikt på människans utsläpp av växthusgaser. Det säger FN:s klimatpanel IPCC – och kopplar uppvärmningen till stigande havsnivå, krympande isar och risken för snabba förändringar som inte går att förutse. Men när blir människans klimatpåverkan farlig, och vad är det som står på spel? Är EU:s energi- och klimatpolitik en tandlös tiger? Är lagring av koldioxid en lösning eller dimridå? Är hotet mot klimatet en chans för företagen?

Hur ser olika forskare på saken?
Läs boken så får du veta!

www.formasfokuserar.se

formas

Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas

Formas Fokuserar

PRISGRUPP
F
POCKETSTANDARD

ISBN 978-91-540-6036-8
9789154060139

Forskningsrådet för miljö, areella näringar
och samhällsbyggande, Formas

Forskningsrådet Formas är en statlig myndighet som stödjer grundforskning och behovsstyrd forskning med höga krav på vetenskaplig kvalitet och relevans för berörda samhällssektorer. Det övergripande syftet är att främja en hållbar utveckling i samhället.

Formas Fokuserar

Pocketboksserien Formas Fokuserar är ett led i Formas arbete med att kommunicera forskningsresultat. Serien är ett debattforum där forskare klargör dagens kunskaps- och debattläge i viktiga samhällsfrågor.

Formas Fokuserar 15	*Osäkrat klimat – laddad utmaning*
Copyright	Forskningsrådet Formas (www.formas.se)
Planeringsgrupp	Katarina Eckerberg, SEI, Christina Engfeldt, FAO, Thomas B Johansson, Lunds universitet, Caroline Leck, Stockholms universitet, Björn-Ola Linnér, Linköpings universitet, Markku Rummukainen, SMHI, Britt Olofsdotter, Björn Sellberg och Marie Uhrwing, Formas. (Bokens författare ansvarar själva för innehållet i sina texter.)
redaktör	Birgitta Johansson
Beställningsadress	www.formasfokuserar.se eller formas.ldi@liber.se
Omslag och original	Lupo Design
Illustrationer	Pertti Salonen
Tryck	08-Tryck AB

ISBN 978-91-540-6036-8
Stockholm 2009

Osäkrat klimat – laddad utmaning

Formas Fokuserar

Innehåll

Inledning 9

Globala växthusgasutsläpp 23
Mattias Lundblad

FN:s klimatpanel IPCC 33

DEN NATURVETENSKAPLIGA GRUNDEN

Jordens klimat enligt IPCC 39
Erland Källén

Mer om klimatsystemet 56
Erland Källén

Mäta och modellera – verktyg för klimatforskare 67
Markku Rummukainen

Varför ska vi tro på klimatmodeller? 77
Michael Tjernström

I ljuset av klimathistorien – forskare borde ta debattinitiativ 91
Per Holmlund

Solfläcksbilden av solen är föråldrad 105
Henrik Lundstedt

Bredda klimatåtgärderna till sotpartiklar! 119
Örjan Gustafsson

Okritiskt datafiske bakom kritik mot IPCC 133
Eigil Kaas

Vem kan man lita på? 149
Olle Häggström

Darför bör vi tro på klimatförändringen 163
Sverker Sörlin

KLIMATEFFEKTER, ANPASSNING OCH SÅRBARHET

När blir mänsklig klimatpåverkan farlig? 183
Markku Rummukainen

Obalans i ekosystem kan snabba på klimatförändringar 195
Benjamin Smith

World of Warcraft och ekologiska kriser 211
Victor Galaz

För surt för reven när havet tar upp koldioxid 225
Keith Brander

Hälsorisker i ett varmare klimat 237
Bertil Forsberg och Anna-Karin Hurtig

Så kan vattnet räcka till både mat och bioenergi 251
Göran Berndes, Louise Karlberg och Jan Lundqvist

Biobränslen med flera fördelar – exempel från Zambia 269
Francis X. Johnson och Thomson Sinkala

Lockande kuster ger sårbara samhällen 281
Richard Klein och Annika E. Nilsson

Åtgärda klimatet – för säkerhetens skull 293
Peter Haldén

ÅTGÄRDER FÖR ATT BEGRÄNSA KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Klimatåtgärder i osäkert läge 307
Daniel Johansson

Lättare klara tvågradersmålet i ett elsamhälle 323
Sven Kullander

Lagring av koldioxid – lösning eller dimridå? 343
Anders Hansson och Mårten Lind

Mycket viktigt att vi lyckas lagra koldioxid 359
Filip Johnsson

Global klimatetik – vad är det som står på spel? 369
David Kronlid

Rio, Kyoto, Bali, Köpenhamn – klimatsamarbete i stöpsleven 381
Björn-Ola Linnér och Bo Kjellén

Vi måste få ett globalt pris på koldioxid 399
Lars Zetterberg

EU:s klimat- och energipolitik – en tandlös tiger 413
Karin Bäckstrand

EU:s energipolitik bidrar till fattigdom 425
Maria Osbeck och Neil Powell

Klimatförändringens orsaker – vad säger samhällsvetenskapen? 439
Johan Hedrén

Är hotet mot klimatet en chans för företagen? 453
Pontus Cerin och Tommy Lundgren

Klimat och affärsklimat – kollision mellan världar 469
Johan Sandström

Ordlista 479

Inledning

Att jorden blir varmare beror mycket sannolikt på människans utsläpp av växthusgaser. Det säger FN:s klimatpanel IPCC – och kopplar uppvärmningen till stigande havsnivå, krympande isar och risken för snabba förändringar som inte går att förutse. Men när blir människans klimatpåverkan farlig, och vad är det som står på spel? Är EU:s energi- och klimatpolitik en tandlös tiger? Är lagring av koldioxid en lösning eller en dimridå? Är hotet mot klimatet en chans för företagen?

Boken innehåller artiklar som ett fyrtiotal olika forskare har skrivit om den naturvetenskapliga grunden, om klimateffekter, anpassning och sårbarhet, och om åtgärder för att begränsa klimatförändringar.

Fossila bränslen kommer att dominera energiförsörjningen länge än och utsläppen av växthusgaser kommer att fortsätta öka. Dagens utsläppsutveckling följer de allra värsta scenarierna. Vad som krävs av utsläppsminskningar för att undvika allvarliga klimatförändringar ligger oroväckande långt från den verklighet vi har på jorden idag. Det skriver Mattias Lundblad, SLU, i ett inledande avsnitt i boken.

DEN NATURVETENSKAPLIGA GRUNDEN

Det är mycket sannolikt att människans användning av fossila bränslen är orsak till huvuddelen av uppvärmningen under 1900-talet, enligt IPCC och Erland Källén på Stockholms universitet. Men det finns teknik för att begränsa utsläppen, och kostnaderna är inte avskräckande. Vi har inte särskilt mycket tid att fundera utan måste rätt snart börja minska utsläppen på allvar för att inte hamna i en situation där uppvärmningen har gått för långt. Erland Källén sammanfattar IPCC:s utvärderingsrapport från 2007 och även senare forskning fram till 2009.

Mätningar och modellering är klimatforskarens viktigaste verktyg. Båda har begränsningar och båda behövs för att studera klimatet, skriver Markku Rummukainen, SMHI. De två verktygen stödjer varandra. Men mätningar fungerar inte för framtiden. Modellering är det bästa sättet vi har att göra scenarier för framtiden – även om metoden inte är perfekt.

Varför ska vi då tro på klimatmodeller? Att bygga en klimatmodell är att balansera på en knivsegg mellan många olika faktorer, vissa som vi känner väl och andra där kunskapen har brister. Moln är en akilleshäl och partiklar en annan. Dessutom finns det sådant som vi ännu inte vet att vi inte vet. Modellerna

beskriver ändå det observerade klimatsystemet bra. Men vi får aldrig glömma att en modell bara är en modell, och inte verkligheten. Det finns alltid en risk att man får rätt svar av fel anledning, skriver Michael Tjernström, Stockholms universitet.

Vi har både naturliga klimatvariationer och mänsklig klimatpåverkan. Det finns ingen motsättning i det, och forskarsamhället har sedan länge passerat det stadiet av diskussionen, skriver Per Holmlund, Stockholms universitet. Men det finns mycket vi inte vet, och de sanningar vi stödjer oss på vilar ibland på bräcklig grund. Därför borde klimatforskare ta fler egna debattinitiativ och inte bara passivt och snällt svara på frågor. Det vore ett sätt att minska spelrummet för klimatcharlataner, enligt Per Holmlund.

Solens strålning driver klimatet på jorden. Men solen är ingen vit skiva 150 miljoner kilometer bort, och antalet solfläckar ger ingen bra bild av solens aktivitet. Henrik Lundstedt på Institutet för rymdfysik i Lund målar upp en mer dynamisk bild av en aktiv koronasol med solutbrott och solvindar som påverkar klimatet på jorden på en rad olika sätt. Så länge IPCC-forskarna drar sina slutsatser utifrån den föråldrade solfläcksbilden av solen kan de inte säga att de vet hur solen inverkar på jordens klimat, skriver han.

Globala utsläpp av partiklar har stor påverkan på klimatet – både uppvärmande svarta sotpartiklar och avkylande vita partiklar. Sotpartiklarnas bidrag till uppvärmningen motsvarar drygt hälften av människans koldioxidutsläpp. Att ersätta biobränslen för matlagning i tropikerna med annan teknik kan vara den effektivaste åtgärden att minska klimatuppvärmningen, skriver Örjan Gustafsson, Stockholms universitet. Partiklar måste inkluderas i kommande klimatavtal, och vi i den rika delen av världen måste förstå att vi tjänar på att medfinansiera åtgärder i utvecklingsländer.

Det finns ett okritiskt datafiske bakom kritiken mot IPCC, skriver Eigil Kaas, Köpenhamns universitet. Han tar itu med ett antal seglivade påståenden som han anser vara osanna. Han skiljer på återkopplingar och klimatfaktorer som påverkar primärt. Storleken på tidigare klimatvariationer berodde mest på återkopplingar. Dagens trend med stigande temperatur beror på klimatpåverkande faktorer som människan har skapat, enligt Eigil Kaas.

Vem kan man lita på? Stämmer det som ofta påstås att vetenskapen är enig kring teorin om att människan skapar global uppvärmning? För att besvara den frågan behöver vi precisera både vad som menas med teorin ifråga och vad som menas med vetenskaplig

enighet. Olle Häggström på Chalmers tekniska högskola reder ut begreppen och kommer fram till att vetenskapen är enig och att det i dagsläget inte finns rimliga skäl att tro att teorin är felaktig.

De allra flesta av oss kan inte själva undersöka hur det står till med klimatet, och alla vet att vetenskapens framtidsprognoser inte alltid slår in. Varför bör vi ändå tro på klimatförändringen? Den viktigaste orsaken är att vi kan lita på vetenskapen som process, skriver Sverker Sörlin på KTH och Stockholms universitet. När processen medför en omfattande konsensus måste samhället utgå från detta som kunskap.

KLIMATEFFEKTER, ANPASSNING OCH SÅRBARHET

Enligt FN:s klimatkonvention ska vi förhindra farlig mänsklig klimatpåverkan. Men vad är ”farlig”? Ordet är både mycket precist och besvärligt oprecist. Beslut i klimatarbetet handlar i grund och botten om vilka risker vi tolererar och vilka åtgärder vi är beredda att vidta; värderingar har en given roll. Vetenskapen kan belysa följderna av olika handlingsalternativ och vad som behövs för att nå uppsatta mål, men kan inte förse oss med slutgiltiga svar. Oavsett det måste vi ta beslut, skriver Markku Rummukainen, SMHI.

Klimatförändringar har redan påverkat utbredning och årsrytm hos många arter och rubbat balansen i ekosystem, skriver Benjamin Smith, Lunds universitet. Fortsatta förändringar kan ge konsekvenser som vi inte kan överblicka för ekosystemtjänster och biologisk mångfald. Fattiga länder och regioner med mest att förlora kan drabbas hårdast. Det vi vet och ser redan nu räcker för att vi borde vara bekymrade. Landekosystemen tar idag upp en dryg fjärdedel av våra koldioxidutsläpp, men det kan vända tvärt så att kolsänkan blir en kolkälla som gör att klimatförändringarna går ännu snabbare.

Ekosystem är komplexa – en insikt som måste styra vår hantering av klimatutmaningen. Systemen kan förändras snabbt och på ett sådant sätt att de inte återhämtar sig. Dessutom är jordens olika system inom information, handel, turism och finanser sammankopplade. En händelse eller miljöförändring i en del av världen kan skapa problem på en helt annan kontinent, som i World of Warcraft. Men en globaliserad värld kan också ses som vår största styrka eftersom innovationer snabbt kan sprida sig över jorden, skriver Victor Galaz, Stockholms universitet.

Temperaturen ökar visserligen snabbare i luften än i havet, men det finns andra faktorer som inverkar kraftigt på marina ekosystem, till exempel salthalt

och surhet. Havet surnar när det löser koldioxid, och organismer som bildar skal eller skelett av kalk får svårare att göra det i det sura vattnet. Korallreven kan vara borta helt om trettio år. En positiv klimatkonsekvens är att vissa fiskar sprider sig norrut när klimatet blir varmare, skriver Keith Brander på Danmarks tekniska universitet.

Fler värmeböljor och mer torka, fler svåra oväder och översvämningar – det här är konsekvenser av klimatförändringen som kan innebära direkta risker och hälsoeffekter för människan. Indirekta hälsoeffekter kan bli till exempel ökade problem för pollenallergiker och ökad spridning av smittsamma sjukdomar dels via insekter och djur, dels via mat och vatten. Afrika kommer troligen att drabbas hårdast, genom torka, matbrist och utbredning av malaria, skriver Bertil Forsberg och Anna-Karin Hurtig på Umeå universitet.

Mera bioenergi behövs för att minska utsläppen av växthusgaser. Samtidigt växer efterfrågan på mat, och det kan bli konkurrens om begränsade resurser som mark och vatten. Vatten är redan idag en bristvara på många håll, och när klimatet förändras kan situationen förvärras. Då gäller det att använda vattnet smartare så att mängden producerad och nyttiggjord biomassa per liter vatten kan öka. Det skriver

Göran Berndes, Chalmers tekniska högskola, Louise Karlberg, Stockholms universitet, och Jan Lundqvist, Stockholm International Water Institute.

Ökad produktion av biobränslen i utvecklingsländer kan minska fattigdom och mildra klimatpåverkan. Men det gäller att välja grödor som passar till de ekologiska och sociala villkoren. I Zambia har man bedömt att busken *Jatropha curcas* är den allra lämpligaste grödan för produktion av biodrivmedel. Den kan även leverera en rad andra produkter, och den kan bidra till minskad avskogning, bättre jordmån och en positiv landsbygdsutveckling, skriver Francis X. Johnson, Stockholm Environment Institute, och Thomson Sinkala, University of Zambia.

Många kustområden är utsatta för klimatförändringar, och samhällena måste anpassa sig genom långsiktiga investeringar. Att göra ingenting blir dyrt, både ekonomiskt och mänskligt, skriver Richard Klein och Annika E. Nilsson, Stockholm Environment Institute. De belyser med exempel från Bangladesh, Arktis och Nederländerna. Bästa sättet att begränsa kostnaderna är att minska utsläppen av växthusgaser, anser de, och har svårt att föreställa sig hur ens ett rikt land skulle klara av en höjning av havsytan på flera meter.

Kommer klimatförändringarna att ge upphov till konflikter och krig? Frågan måste synas vetenskapligt i sömmarna, skriver Peter Haldén, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI. Han har undersökt konsekvenserna av måttliga klimatförändringar i Darfur och Arktis. Slutsatsen är att klimatet inte ger upphov till konflikter – det är människor som gör det. Men torka och hungersnöd kan förvärra situationen. Oljan som blir tillgänglig i Arktis när isen smälter är en tickande klimatbomb. Om vi inte lyckas minska klimatförändringarna kommer vi att ha en osäker värld mot slutet av århundradet.

ÅTGÄRDER FÖR ATT BEGRÄNSA KLIMATFÖRÄNDRINGAR

När vi ska bestämma utsläppsmål för koldioxid får vi leva med många osäkra faktorer. Det är osäkert vilken temperaturökning det blir när växthusgashalten i atmosfären ökar, och det är osäkert vilka effekter en global temperaturökning får, skriver Daniel Johansson, Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet. Det är inte heller självklart vad som är ”farlig” mänsklig klimatpåverkan. Om vi vill vara relativt säkra på att nå EU:s tvågradersmål måste vi börja minska utsläppen kraftigt redan idag och fortsätta de kommande decennierna.

EU:s mål att tillåta jordens medeltemperatur att öka högst två grader kommer att kunna nås med råge när det gäller koldioxidutsläpp om vi går över till ett elsamhälle, skriver Sven Kullander, Kungl. Vetenskapsakademien. Enligt studier inom akademiens energiutskott beräknas koldioxidutsläppen från fossila energikällor kunna minska från dagens 28 miljarder ton per år till 20 miljarder ton år 2050. Detta bör räcka för att klara tvågradersmålet.

Både EU och världen i övrigt har stora förhoppningar på tekniken att avskilja och lagra koldioxid. Men det finns anledning att ha ett kritiskt förhållningssätt, skriver Anders Hansson, Linköpings universitet, och Mårten Lind, KTH. Osäkerheterna är många och erfarenheterna få. Kritikerna beskriver tekniken som en dimridå som energiindustrin har skapat för att få fortsätta elda fossila bränslen.

Om klimatfrågan ska tas på allvar behöver vi använda alla sätt för att minska koldioxidutsläppen, även avskiljning och lagring av koldioxid (CCS), skriver Filip Johnsson, Chalmers tekniska högskola. Med tanke på de stora mängder fossila bränslen som finns kvar att använda vore det ett mardrömsscenario att CCS misslyckades. Just nu ser det ljust ut för tekniken. På sikt är det viktiga att vi globalt sätter ett tillräckligt högt pris på koldioxidutsläpp så att både CCS och annan teknik blir lönsam i stor skala.

Global rättvisa på klimatområdet – är det möjligt? Vad är viktigast – att fördelar och bördor fördelas jämlikt eller att alla får delta i klimatpolitiska beslut? Eller finns det något tredje sätt att se? Ja, det viktigaste är kanske att diskutera vad som står på spel för människor i olika delar av världen, skriver David Kronlid, Uppsala universitet.

Klimatfrågan är het i storpolitik och internationella förhandlingar. Vilka krav på utsläppsminskningar ska ställas? Hur ska bördorna fördelas? Vilka principer ska gälla? Bo Kjellén, Stockholm Environment Institute, och Björn-Ola Linnér, Linköpings universitet, målar upp bilden av det internationella klimatsamarbetet – från Rio till Köpenhamn. Om resultatet från Köpenhamn i december 2009 blir svagt får vi troligen en debatt om klimatkonventionen. Är FN-vägen den rätta? Är det för mycket marknad och för lite politisk styrning i dagens klimatarbete?

Kan Kyotoprotokollets flexibla mekanismer rädda klimatet? Nej, inte i sig själva, skriver Lars Zetterberg, IVL Svenska Miljöinstitutet. Det krävs att världens ledande nationer först gör konkreta åtaganden om utsläppsminskningar. Sedan kan de flexibla mekanismerna hjälpa oss att uppnå målen till lägsta möjliga kostnad. De kan vara verktygen som introducerar ett globalt koldioxidpris som gör klimatfrågan till en fråga för företagsstyrelserna. Det får inte finnas

några klimatskattebefriade paradis där smutsig industri kan gömma sig.

Inom EU ser man klimat- och energipolitiken som instrument som både ska lösa klimathotet och minska beroendet av energi från instabila regioner i världen. Men hur ska EU kunna gå från retorik till praktik? I retoriken kring EU:s klimat- och energipolitik syns inte de målkonflikter som finns i samhället, skriver Karin Bäckstrand, Lunds universitet. I dagsläget saknar EU regelverk och demokratiskt mandat för att göra en större samhällsomställning av energisystem, transporter och konsumtionsmönster till en kolsnål framtid. EU:s klimat- och energipolitik är en tandlös tiger.

När Europa sätter upp mål för ökad användning av biobränslen så påverkar det människor i fattiga länder, bland annat i Indonesien där oljepalmsplantagerna breder ut sig. Även om EU:s avsikt är att utvecklingsländer ska få möjlighet att bekämpa fattigdom genom att sälja biobränslen till Europa är det inte säkert att det fungerar så i praktiken. Idag är det våra europeiska tekniska lösningar som styr, men vi måste börja ta hänsyn till den miljömässiga och sociala helheten i de länder som producerar vårt biobränsle, skriver Maria Osbeck, Stockholm Environment Institute, och Neil Powell, Stockholm Environment Institute och SLU.

Varför har klimatproblematiken överhuvudtaget uppstått? Samhällsvetenskapen ger många och mycket olika svar, skriver Johan Hedrén, Linköpings universitet. Skillnaderna beror delvis på vilka faktorer som uppfattas som mest styrande: idéer, ekonomi, teknik eller politik. Det finns ingen vetenskaplig enighet om vilken samhällsteoretiker som har rätt. Varje människa måste bilda sig en egen uppfattning. Då räcker det inte att ta del av moderna medier som förenklar alltför mycket. För den som vill förstå det komplexa har samhällsteorin en viktig roll att spela.

För att svenska företag ska vara konkurrenskraftiga i länder som Indien och Kina måste de snarast utveckla teknik med miljöprestanda som går längre än vad den nuvarande svenska och europeiska lagstiftningen kräver. Självklart ska företag följa lagar och regler. Men bör de också ta ett frivilligt ansvar för klimat och miljö? Får de, kan de, bör de och gör de? Frågorna reds ut av Pontus Cerin, Handelshögskolan i Umeå, och Tommy Lundgren, Handelshögskolan i Umeå och SLU.

Den globala klimatfrågan och det globala affärsklimatet har stora likheter, men också stora olikheter. Klimatfrågan är kollektiv till sin natur och affärsvärlden drivs av egennytta och tillväxttänkande, skriver Johan Sandström, Örebro universitet. Tillväxt

i ekonomin betyder ”tillväxt” i klimatpåverkan. Utmaningen är att hitta lösningar som gynnar både klimat och företag. I brist på globala institutioner som med kraft kan förmå globala företag att ta mer ansvar för klimatfrågan behövs det tydliga signaler från starka globala medborgare och konsumenter.

Birgitta Johansson, redaktör

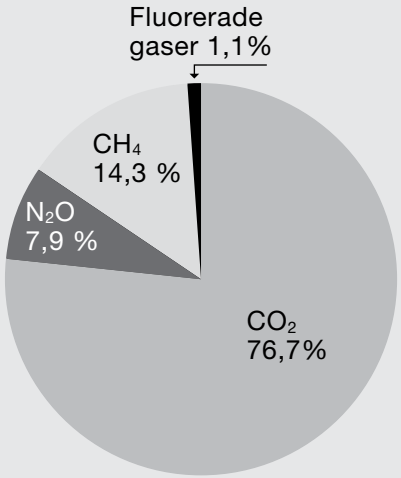
Birgitta Johansson är vetenskapsjournalist och informatör hos Forskningsrådet Formas.

Globala växthusgasutsläpp

Jordens medeltemperatur har ökat med cirka 0,8 grader sedan slutet av 1800-talet. Merparten av denna ökning beror enligt FN:s klimatpanel IPCC på människans utsläpp av växthusgaser.

De växthusgaser som regleras av Kyotoprotokollet är koldioxid (CO_2), metan (CH_4), lustgas (N_2O, dikväveoxid) och några fluorerade gaser. Eftersom gaserna har olika kraftig växthuseffekt räknas utsläppen ofta om så att de blir jämförbara med koldioxidens växthuseffekt. Det betyder att alla utsläpp av växthusgaser redovisas som koldioxidekvivalenter.

Koldioxiden står själv för närmare 77 procent av de samlade utsläppen (figur 1). Utsläppen av koldioxid beror främst på förbränning av fossila bränslen och avskogning. Lustgas kommer från bland annat jordbruk, avfall och transporter. Metan härrör främst från boskapsuppfödning, risodling och avfall. Men gasen frigörs också ur marken till exempel när permafrosten smälter, något som kan ske i ett varmare klimat. Fluorhaltiga växthusgaser bildas vid industriprocesser.

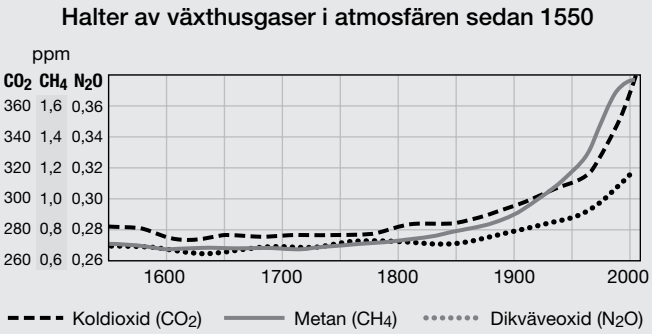


Figur 1. Så här fördelas utsläppen av växthusgaserna som ingår i Kyotoprotokollet. Koldioxid står för nästan 77 procent av de samlade utsläppen, när alla utsläppen har räknats om till koldioxidekvivalenter. (Källa: IPCC 2007)

Växthusgaserna ökar i atmosfären

Sedan industrialismens genombrott under 1800-talet har växthusgashalten i atmosfären ökat kraftigt. Halten av koldioxid har ökat med drygt 35 procent från den förindustriella nivån på cirka 280 ppm (miljondelar) till dagens nivå som är cirka 385 ppm (figur 2). Ökningen beror främst på ökande utsläpp från förbränning av fossila bränslen, som till en början mest var kol. På 1960-talet gick olja förbi som det vanligaste bränslet. Avverkning av skog har också medverkat till att höja atmosfärens halt av koldioxid.

Sedan förindustriell tid har flera av jordens skogsområden avverkats och idag svarar förlusten av skog för cirka 20 procent av utsläppen av koldioxid till atmosfären.



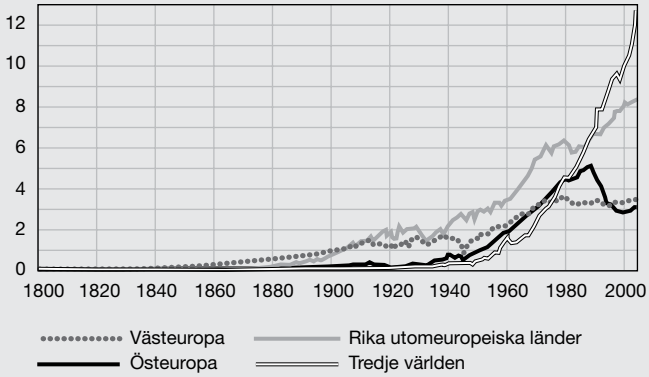
Figur 2. Atmosfärshalterna av växthusgaserna koldioxid och metan har ökat kraftigt sedan 1800-talet, särskilt metan. Även växthusgasen dikväveoxid (lustgas) har ökat, men inte lika mycket. (Källa: IPCC 2007)

Mellan 1970 och 2004 ökade de globala utsläppen av växthusgaser med cirka 70 procent från knappt 30 till närmare 50 miljarder ton koldioxidekvivalenter. Utsläppen av koldioxid ökade med omkring 80 procent under samma period. Koldioxidutsläppen har i stort följt den ekonomiska utvecklingen i världen och därmed ökat under högkonjunkturer och minskat under lågkonjunkturer och andra kriser. Till exempel minskade utsläppen av koldioxid märkbart under andra världskriget då tillgången på olja var begränsad.

Flera kraftiga höjningar av oljepriset på 1970-talet, den ekonomiska krisen i öst efter kommunismens fall i slutet av 1980-talet och en tillfällig avmattning av Kinas ekonomiska utveckling i slutet på 1990-talet är andra exempel på händelser som tillfälligt påverkat utsläppsutvecklingen i vissa regioner.

Än så länge står industriländerna för de största koldioxidutsläppen, men den kraftigaste utsläppsökningen sker nu i utvecklingsländer med snabbt växande ekonomier (figur 3). Totalt sett har de globala koldioxidutsläppen femfaldigats sedan andra världskriget.

Koldioxidutsläpp från fossila bränslen i olika delar av världen
Miljarder ton/år

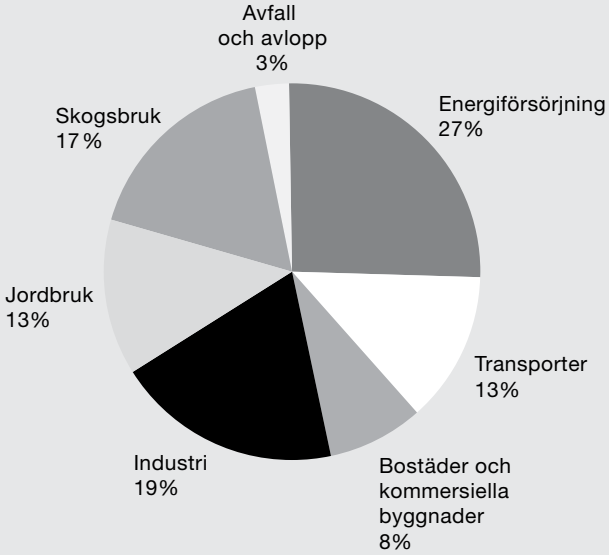


Figur 3. Koldioxidutsläppen från fossila bränslen har varierat med konjunkturer, världskrig och ekonomiska kriser. Största ökningen av koldioxidutsläppen sker nu i tredje världens snabbt växande ekonomier, bland annat Kina och Indien. (Källa: Carbon Dioxide Information Centre, Oak Ridge)

Bidrag från olika sektorer

Energisektorn står för den största andelen av de globala utsläppen av växthusgaser, år 2004 drygt en fjärdedel (figur 4). Närmast efter kommer industri, skogsbruk och jordbruk. Transportsektorn, som för Sverige är en av de mest betydande utsläppssektorerna (drygt 30 procent), svarar globalt bara för en mindre del av de totala växthusgasutsläppen (13 procent år 2004).

Växthusgaser globalt från olika sektorer (2004)



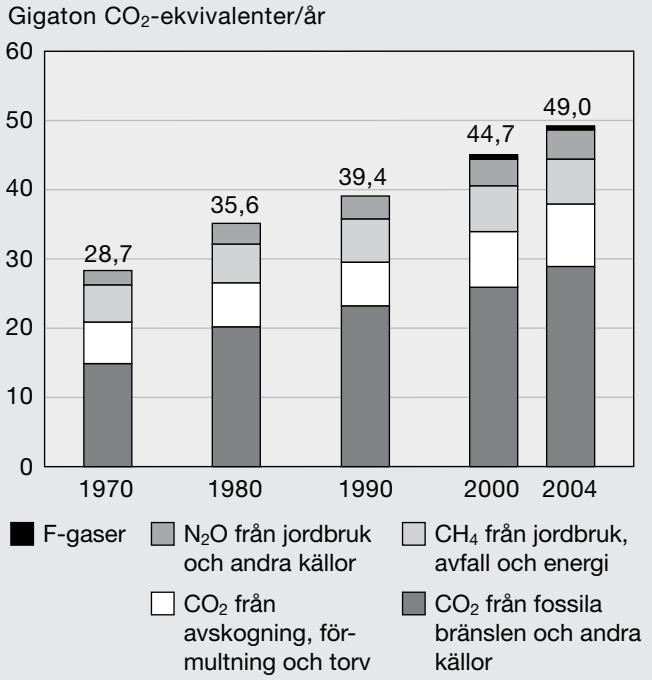
Figur 4. År 2004 stod energisektorn för drygt en fjärdedel av de globala utsläppen av växthusgaser. Transporter står för en ganska liten del globalt sett. (Källa: IPCC 2007)

Den största ökningen mellan 1970 och 2004 (figur 5) kom från energisektorn som ökade sina utsläpp med 145 procent och transportsektorn som ökade sina utsläpp med 120 procent. Markanvändningssektorn ökade utsläppen med 40 procent. Där ingår även utsläppen från avskogning där osäkerheten i uppgifterna gör trenden betydligt osäkrare än för övriga sektorer. Den globala avskogningstakten var något lägre under perioden 2000–2005 än under perioden 1990–2000.

Den globala energiintensiteten (förhållandet mellan den totala energiförbrukningen och BNP) har minskat med 33 procent mellan 1970 och 2004. Men det har haft mindre effekt på de globala utsläppen än den kombinerade effekten av global inkomstökning (77 procent) och global befolkningsökning (69 procent) som är de drivande faktorerna bakom de ökande energirelaterade koldioxidutsläppen.

Utsläppsökningen fortsätter

Enligt en studie som gjorts av Holländska miljöbyrån med data för 2007 baserad på fossilbränsleanvändning och cementproduktion fortsätter de globala utsläppen att öka. Mellan 2006 och 2007 ökade utsläppen med 3,1 procent. Ökningen beror främst på fossilbränsleanvändning, även om ökningen i global energiproduktion var något mindre mellan



Figur 5. Utsläppen av växthusgaser från olika sektorer har ökat stadigt sedan 1970, och fortsätter att öka. (Källa: IPCC 2007)

2006 och 2007 än tidigare. Det är främst ökade oljepriser de senaste åren och väderförhållandena under året som påverkat energianvändningen.

Sammanställningen visar också att Kina svarade för två tredjedelar av denna ökning och att man nu passerat USA som det land som släpper ut mest koldioxid.

Kina svarar för 24 procent av de globala utsläppen följt av USA (22 procent), EU (12 procent), Indien (8 procent) och Ryssland (6 procent). Räknat per capita ligger Kina dock fortfarande långt efter USA som med god marginal svarar för de största koldioxidutsläppen per person. USA:s invånare släpper i genomsnitt ut 19,4 ton koldioxid per år medan medelkinesen släpper ut 5,1 ton per år. Motsvarande siffror är för EU 8,6 ton, för Indien 1,8 ton och för Ryssand 11,8 ton.

IPCC räknar med ökade utsläpp

I de scenarier som hittills har tagits fram inom IPCC finns inga särskilda klimatåtgärder antagna. Det innebär att inget av scenarierna uttryckligen räknar med någon effekt av FN:s klimatkonvention eller dess Kyotoprotokoll för den fortsatta utsläppsutvecklingen. De fossila bränslena antas behålla sin dominerande ställning i många år framöver.

IPCC bedömer i sina scenarier att koldioxidutsläppen från energianvändningen mellan 2000 och 2030 kommer att öka med mellan 45 och 110 procent. Mellan 50 och 75 procent av denna ökning förväntas komma från andra regioner än utvecklade länder och länder med övergångsekonomier. Men de genomsnittliga koldioxidutsläppen per capita från dessa andra regioner förblir fram till 2030 enligt

scenarierna betydligt lägre (2,8–5,1 ton koldioxid per person och år) än utsläppen från utvecklade länder och länder med övergångsekonomier (9,6–15,1 ton koldioxid per person och år).

Utmaning väntar

Dessa scenarier för den framtida utsläppsutvecklingen är de som oftast används i globala klimatmodeller för att beräkna den framtida klimatutvecklingen. Eftersom scenarierna inte omfattar några specifika klimatåtgärder, ligger de utsläppsreduceringar som antas vara nödvändiga för att undvika allvarliga klimatförändringar och som nu diskuteras i de internationella klimatförhandlingarna långt från den utveckling som förutspås i scenarierna. Dagens utsläppsutveckling följer de scenarier som har den kraftigaste utsläppsökningen och som ger de svåraste konsekvenserna. Behovet av snabba och kraftfulla åtgärder för att minska utsläppen är därför mycket stort.

Det är uppenbart att en stor utmaning med att minska utsläppen väntar framöver och att ett tungt ansvar nu vilar på världens beslutsfattare.

Det här avsnittet är skrivet av Mattias Lundblad som är anställd som utredare vid Institutionen för mark och

miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Mattias har de senaste åren arbetat med klimatfrågor på Naturvårdsverket. På SLU arbetar han nu med rapportering av växthusgasflöden från markanvändningssektorn och underlag för de internationella klimatförhandlingarna.

FN:s klimatpanel IPCC

FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) inrättades 1988 av FN:s miljöprogram UNEP och Världsmeteorologiska organisationen (WMO). Över 190 länder deltar idag i panelens arbete som går ut på att utvärdera och sammanfatta vetenskapligt baserad kunskap om möjlig mänsklig påverkan på klimatet och följderna av detta.

Arbetet bedrivs i tre arbetsgrupper som är inriktade på 1) klimatsystemet och dess förändringar, 2) klimatförändringarnas konsekvenser för natur och samhälle och möjligheter till anpassning, samt 3) metoder för att begränsa människoskapade klimatförändringar.

Naturvårdsverket representerar Sverige i IPCC. Många svenska forskare deltog aktivt i arbetet med den fjärde bedömningsrapporten som kom 2007 (Climate Change 2007, IPCC Fourth Assessment Report eller AR4). Totalt medverkade över 800 forskare från en mängd olika forskningsdiscipliner. Exempel på forskningsområden är meteorologi, oceanografi, naturgeografi, glaciologi, geokemi, klimathistoria, hydrologi, biologi, ekosystemanalys, ekonomi och energisystem.

IPCC:s rapporter bygger på den vetenskapliga litteratur som redan finns. Den fjärde rapporten baserade sig på forskning fram till och med 2006. IPCC bedriver alltså ingen egen forskning och gör inga egna mätningar. IPCC-rapporterna ska fungera som beslutsunderlag och lämnar inga rekommendationer om åtgärder. Istället beskrivs konsekvenserna av olika handlingssätt, ur både ett naturvetenskapligt och ett samhällsvetenskapligt perspektiv. Bedömningen av vilka åtgärder som är möjliga att genomföra och vilka konsekvenser som samhället är berett att ta är en politisk fråga, och där tar IPCC inte ställning. Varje rapport sammanfattas för beslutsfattare. De rapporter som publicerades 2007 hade granskats av 2 500 forskare. I april 2009 redovisade de svenska forskarna Erland Källén och Markku Rummukainen den allra senaste klimatforskningen i rapporten ”Ny klimatvetenskap 2006–2009”. Nästa IPCC-rapport ska komma 2013.

IPCC:s utvärderingar används som vetenskaplig grundval för de förhandlingar som bedrivs inom ramen för FN:s klimatkonvention. Den fjärde rapporten kom fram till slutsatsen att människans utsläpp av växthusgaser mycket sannolikt (90–99 procent) förklarar huvuddelen av den uppvärmning vi hade under andra hälften av 1900-talet.

Lästips

FN:s klimatpanel 2007, Sammanfattning för beslutsfattare:

- *Den naturvetenskapliga grunden*, Naturvårdsverkets rapport 5677 (www.naturvardsverket.se).
- *Klimateffekter, anpassning och sårbarhet,* Naturvårdsverkets rapport 5704.
- *Åtgärder för att begränsa klimatförändringar*, Naturvårdsverkets rapport 5713.
- *Syntesrapport*, Naturvårdsverkets rapport 5763.

Klimatforskning 2006–2009:

- Erland Källén och Markku Rummukainen, *Ny klimatvetenskap 2006–2009*, Kommissionen för hållbar utveckling, Regeringskansliet 2009 (www.regeringen.se).

DEN NATURVETEN-
SKAPLIGA GRUNDEN

Jordens klimat enligt IPCC

Det är mycket sannolikt att människans användning av fossila bränslen är orsak till huvuddelen av uppvärmningen under 1900-talet. Men det finns teknik för att begränsa utsläppen, och kostnaderna är inte avskräckande. Vi har inte särskilt mycket tid att fundera utan måste rätt snart börja minska utsläppen på allvar för att inte hamna i en situation där uppvärmningen har gått för långt. Det här skriver Erland Källén i sin sammanfattning av IPCC:s utvärderingsrapport från 2007 och senare forskning fram till 2009.

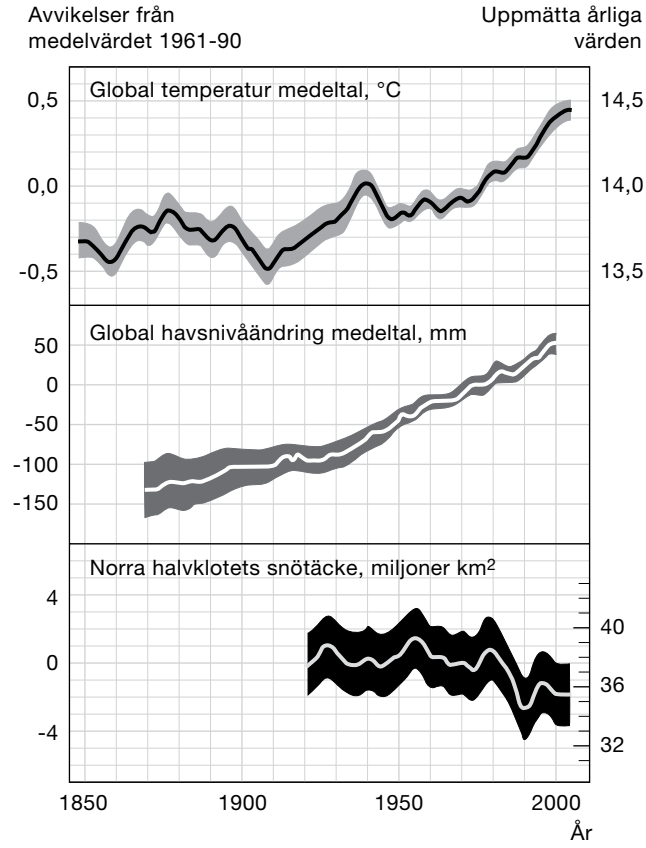
Erland Källén, Meteorologiska Institutionen,
Stockholms Universitet.

Jordens klimat har blivit varmare. Under 1900-talet ökade den globala medeltemperaturen vid jordytan med 0,7–0,8 grader Celsius (figur 1). Ökningen är inte jämn; i början och mot slutet av 1900-talet är den stigande trenden tydlig, medan mitten av 1900-talet uppvisar en platå med en obetydlig temperaturtrend. Det varmaste året under 1900-talet inträffade år 1998; därefter har temperaturen varit endast svagt stigande. Under de senaste fem åren (2004–2008) har den globala medeltemperaturen till och med sjunkit något.

Samtidigt som det blivit varmare har också en rad effekter av uppvärmningen konstaterats. Havsisen i Arktis drar sig tillbaka, särskilt under sommarmånaderna. Bergsglaciärer smälter. Snötäcke och permafrostområden krymper. I ett historiskt perspektiv är uppvärmningen unik. Under de senaste 1 300 åren (den tid vi har tillräckligt bra data från) finns det sannolikt ingen motsvarande period med lika kraftig uppvärmning.

Människan en mycket sannolik orsak

Vad var det då som hände under 1900-talet och som gjorde att klimatet blev varmare? Den viktigaste orsaken är ökningen av halten växthusgaser i atmosfären. I takt med industrialismens frammarsch och vår användning av fossila bränslen (kol, gas, olja)



Figur 1. Jordens medeltemperatur har ökat stadigt de senaste 150 åren. Havsnivån har stigit, och snötäckta områden på norra halvklotet har minskat.

har atmosfärens koldioxidhalt stadigt ökat och ligger idag runt 385 ppm (miljondelar); i mitten av 1800-talet låg halten runt 280 ppm. Koldioxid är en viktig

växthusgas, och ökningen av koldioxidkoncentrationen leder till uppvärmning vid jordytan. Samtidigt har också antalet partiklar i atmosfären ökat i samband med användningen av fossila bränslen. Ökade partikelhalter leder till avkylning av klimatet eftersom partiklarna reflekterar solens strålar och gör molnen något vitare. Även ändringar i solens strålning kan ha påverkat klimatet under 1900-talet, dels genom ändringar i solstrålningens styrka, dels möjligen genom ändringar i solens magnetfält. Solen har givetvis ett avgörande inflytande på jordens klimat, men de observerade strålningsändringarna är så små att de knappast kan förklara någon större del av de observerade temperaturvariationerna.

Med hjälp av klimatmodeller har klimatforskarna kunnat visa på ett tydligt orsakssamband mellan ändringar i temperaturklimatet och ökningen av olika växthusgaser, partikelhalter och naturliga klimatsvängningar. Under senare delen av 1900-talet finns ett tydligt samband mellan ökningen av koldioxidhalt och temperaturen. I IPCC-rapporten från 2007 slås det fast att ”huvuddelen av den observerade uppvärmningen sedan mitten av 1900-talet beror *mycket sannolikt* på ökningen av människoskapade växthusgaser i atmosfären.” Detta är ett mycket kraftfullt påstående. I tidigare IPCC-rapporter har det bara framstått som *möjligt* eller *sannolikt* att människan

ligger bakom den observerade uppvärmningen. Nu framförs detta påstående med betydande säkerhet.

IPCC:s definition av sannolikhet framgår av tabellen nedan. Att det är ”mycket sannolikt” att uppvärmningen beror på människan innebär att nio av tio försök att förklara temperaturökningen utan att ta hänsyn till ökningen av växthusgashalterna misslyckas. Med försök menas här resultat från beräkningsmodeller med olika utgångslägen och variationer av modellparametrar. Tar man däremot med ökningen av växthusgashalterna i beräkningarna stämmer resultaten med den verkliga temperaturutvecklingen i nio fall av tio.

Tabellen visar IPCC:s definition av sannolikheten att människan ligger bakom huvuddelen av uppvärmningen sedan mitten av 1900-talet.

Term	Sannolikhet för att människan ligger bakom uppvärmningen
Praktiskt taget säkert	>99 % sannolikhet
Mycket sannolikt	90–99 %
Sannolikt	66–90 %
Lika sannolikt som inte	33–66 %
Osannolikt	10–33 %
Mycket osannolikt	1–10 %
Ytterst osannolikt	<1 %

Naturliga klimatsvängningar

Även om större delen av de klimatförändringar vi ser idag är skapade av människan så finns det även naturliga faktorer som påverkar klimatet. Historiskt står de naturliga klimatsvängningarna för en stor del av klimatvariationerna. Ett exempel på en naturlig klimatsvängning är El Niño-fenomenet. I Stillahavsområdet sker med jämna mellanrum en omfördelning av värme mellan hav och atmosfär så att temperatur och nederbördsmönster ändras kraftigt under ett visst år. Den kraftigaste El Niño-händelsen som vi känner till ägde rum under åren 1997 och 1998. Då ökade temperaturen vid havsytan över ett stort område i Stilla havet. Samtidigt minskade nederbörden över Indonesien och norra Australien, medan nederbörden ökade runt ekvatorn över Stilla havet. Det område som värmdes upp var så stort att även den globala medeltemperaturen tydligt påverkades. Det varmaste året under hela 1900-talet var 1998, och detta temperaturmaximum beror till stor del på El Niño. År 1999 sjönk temperaturen igen eftersom El Niñon avklingade. Under de senaste åren har motsatsen till El Niño, La Niña, dominerat cirkulationsmönstret över Stilla Havet och detta har bidragit till att den globala medeltemperaturen sjunkit något.

Ett annat exempel på naturliga klimatsvängningar är de temperaturändringar som uppkommer på grund av vulkanutbrott. Kraftiga vulkanutbrott kan kasta

ut en stor mängd små partiklar högt upp i atmosfären. Dessa partiklar, som kan ligga kvar under flera års tid, reflekterar solens strålar tillbaka mot världsrymden och verkar avkylande på klimatet. Under de senaste fyrtio åren har flera vulkanutbrott inträffat som märkbart påverkat den globala medeltemperaturen. Ett exempel är Pinatubo i början av 1990-talet som verkade avkylande på den globala medeltemperaturen under flera år.

Även ändringar i solstrålningen påverkar klimatet, men under de cirka 35 år som det har gjorts noggranna mätningar av solens utstrålning har vi inte observerat någon ändring som märkbart skulle kunna påverka klimatet. Ändringar i solens instrålning har gett en tydlig men mycket begränsad uppvärmningseffekt under den tid som människans klimatpåverkan har vuxit. IPCC diskuterar också andra hypoteser, till exempel ändringar i solens magnetfält, kosmisk strålning och molnbildning. Slutsatsen är att dessa faktorer sannolikt inte har påverkat klimatutvecklingen under 1900-talet i någon större utsträckning. Ett eventuellt samband mellan den globala medeltemperaturens variationer och solfläckscykeln har diskuterats länge och en del forskare har hittat samband mellan dessa men inte kunnat ge någon fysikaliskt välgrundad förklaring. Forskare har nyligen konstaterat att den globala medeltemperaturen svänger med 0,2 grader mellan solfläckscykelns maximum

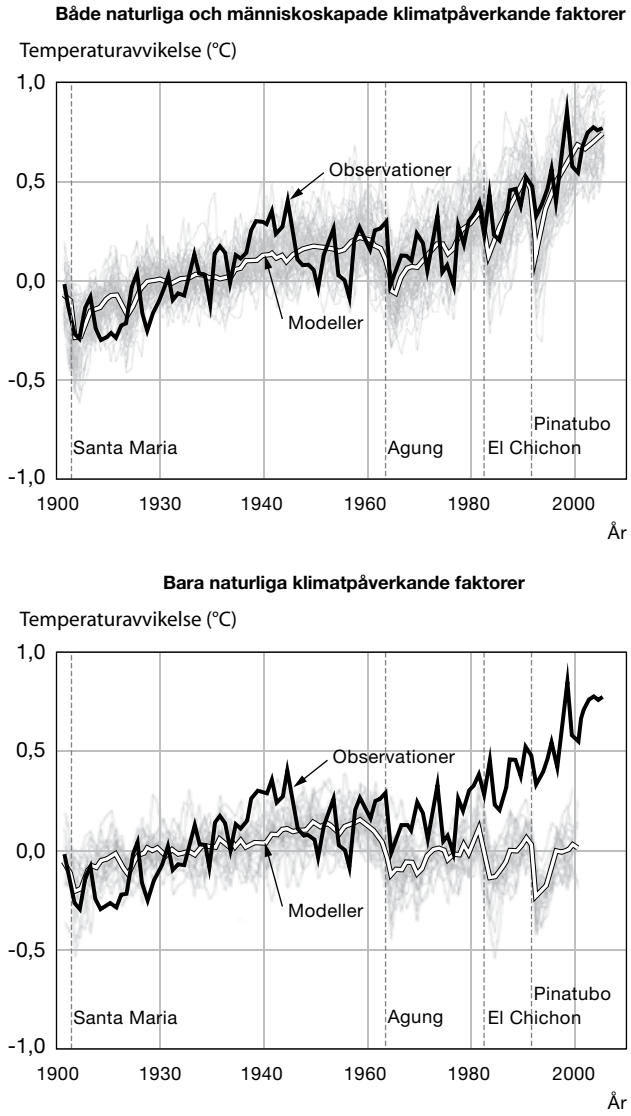
och minimum. Däremot har man inte konstaterat någon väsentlig ökning i solens instrålning under de senaste decennierna.

Bevis för människans klimatpåverkan

Hur stor del av uppvärmningen under 1900-talet har sin grund i koldioxidökningen och hur stor del kan förklaras av naturliga klimatändringar? Med hjälp av klimatmodeller kan vi göra kontrollerade experiment som inte är möjliga att göra med den verkliga jordens klimat. Vi kan till exempel anta att koldioxidhalten har varit konstant under 1900-talet men tillåta vulkanutbrott, ändringar i solstrålningen och naturliga klimatsvängningar. Då får vi en bild som i det nedre diagrammet i figur 2, där observerade temperaturer (svart linje) inte överensstämmer särkilt väl med modellernas temperaturer (vit linje) under senare delen av 1900-talet.

Om vi istället tar med en ökning av koldioxidhalten i atmosfären tillsammans med andra effekter som har samband med människans aktiviteter så får vi de

Figur 2. I det övre diagrammet har klimatmodeller exponerats för både naturliga klimatfaktorer och sådana faktorer som har skapats av människan. Modellresultaten stämmer rätt väl med den observerade temperaturen. Så är det inte i det nedre diagrammet där modellerna har exponerats för bara naturliga faktorer. (Med temperaturavvikelse menas avvikelse från medelvärdet under perioden 1960–1990.)



resultat som visas i det övre diagrammet. Uppvärmningstrenden i början av 1900-talet fångas på ett sätt som liknar det vi fick i det nedre diagrammet, men uppvärmningen under slutet av 1900-talet ser helt annorlunda ut.

En genomgående trend är alltså en viss uppvärmning under början av 1900-talet, men från mitten av 1900-talet och framåt borde jordens klimat ha blivit kallare om bara naturliga klimatsvängningar skulle ligga bakom temperaturändringarna. Observationerna överensstämmer nämligen inte med simuleringarna under sista hälften av 1900-talet. I figuren har också markerats större vulkanutbrott i slutet av 1900-talet; efter varje vulkanutbrott ser vi en tydlig avkylningseffekt.

Simuleringarna som gjorts med både mänsklig påverkan och naturliga klimatvariationer ger resultat som mycket bättre överensstämmer med observationerna än de simuleringar som bara har tagit hänsyn till naturliga klimatvariationer. Därmed kan vi säga att ökningen av atmosfärens koldioxidhalt mycket sannolikt har orsakat huvuddelen av klimatuppvärmningen i slutet av 1900-talet. Detta hindrar inte att en del av uppvärmningen också kan bero på naturliga variationer, men det är osannolikt att enbart naturliga variationer kan förklara den uppvärmning vi sett.

Scenarier för framtidens klimat

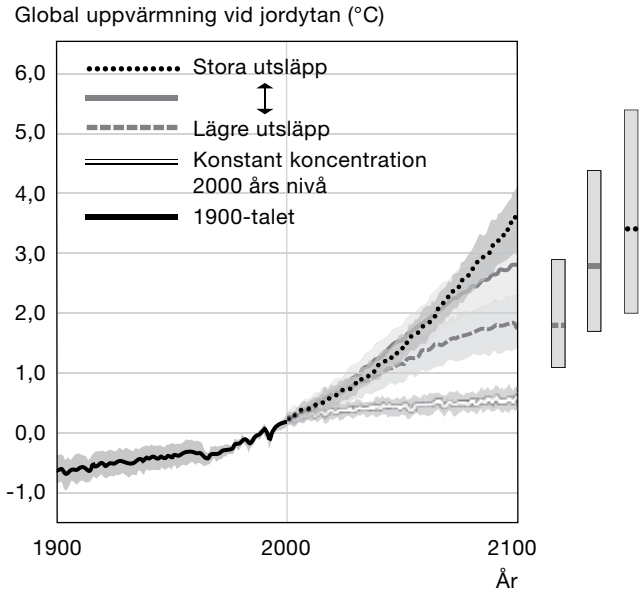
En fortsatt ökning av koldioxidhalten i atmosfären kommer med stor sannolikhet att innebära fortsatt uppvärmning. Koldioxid har mycket lång uppehållstid i atmosfären. En del av den koldioxid som producerats sedan 1800-talet från förbränning av kol, olja och gas kommer att ligga kvar i atmosfären under hundratals år framåt. Även om vi skulle sluta tvärt med att använda fossila bränslen kommer koldioxidhalten bara långsamt att återgå till den nivå den hade före industrialismen. Fortsatt användning av fossila bränslen leder därför oundvikligen till fortsatt höjning av koldioxidhalten i atmosfären.

Hur snabbt koldioxidhalten ökar beror på hur människan agerar. Lyckas vi stoppa en fortsatt ökning av utsläppen och så småningom också påbörja en minskning kan vi hoppas på att koldioxidhalten i atmosfären stabiliseras på en nivå som begränsar den globala uppvärmningen. Men en fortsatt uppvärmning är med stor sannolikhet oundviklig. Med hjälp av klimatmodeller kan vi beräkna hur stor uppvärmningen blir med olika scenarier för koldioxidutsläpp. Givetvis innehåller dessa beräkningar osäkerheter, både på grund av osäkerheter i utsläppsnivåerna och på grund av osäkerheter i klimatmodellberäkningarna av bland annat temperatur, fuktighet, moln och vind.

I figur 3 visas resultat av beräkningar av framtida temperaturklimat. Den översta kurvan illustrerar vad som händer om utsläppen av koldioxid fortsätter att öka i samma takt som hittills. Då kan den globala medeltemperaturen öka med cirka fyra grader de närmaste hundra åren. Det är en lika stor ökning som temperaturskillnaden mellan dagens klimat och slutet av förra istiden som inträffade för drygt tiotusen år sedan! Figuren visar också resultat från simuleringar där vi antar att utsläppen så småningom begränsas och koldioxidhalten stabiliseras på en nivå som ger en global uppvärmning på omkring två grader de närmaste hundra åren. Uppvärmningen är då mer begränsad, men ändå mer än dubbelt så kraftig som den varit de senaste hundra åren. En uppvärmning på fyra grader motsvarar en trefaldig ökning av koldioxidhalterna jämfört med utgångsläget i mitten av 1800-talet medan en uppvärmning runt två grader motsvarar en fördubbling av koldioxidhalten.

Konsekvenser av uppvärmningen

Uppvärmningen är inte likformigt fördelad över jorden. Det arktiska området värms upp mer än dubbelt så kraftigt som resten av jorden och landområden värms upp betydligt mer än havsområden. Den arktiska uppvärmningen hänger samman med en fortsatt isavsmältning i Arktis, medan haven



Figur 3. Olika scenarier för den framtida globala medeltemperaturen utifrån olika stora utsläpp av koldioxid. Staplarna till höger visar osäkerhetsintervallet.

värms upp långsammare än land på grund av sin värmetröghet. Om utsläppen av koldioxid fortsätter att öka i samma takt som idag under de närmaste hundra åren kommer Arktis troligen att vara nästan isfritt under sommarsäsongen. Globalt sett kan havsnivån stiga med runt en halvmeter. Den stigande havsnivån beror dels på den termiska expansionen av havsvattnet, dels på avsmältning av landisar.

För Sveriges del skulle ett sådant här uppvärmningsscenario innebära att Stockholm får samma temperaturklimat som Paris har idag. Vi skulle få ökade nederbördsmängder, särskilt i väster och norr, och snösäsongen skulle bli avsevärt kortare i den mellersta delen av landet. Delar av Medelhavsområdet skulle få ett ökenliknande klimat, medan andra kustområden skulle drabbas av stigande havsnivåer. Bangladesh, där huvuddelen av befolkningen bor i ett floddelta nära havsytans nivå, skulle till stora delar översvämmas. En mindre del av området hamnar under havsytan för gott medan en större del riskerar att översvämmas under perioder med högt vattenstånd. Risken för översvämning är så stor att betydande delar av området inte längre kan bebos.

Även om uppvärmningen i den industrialiserade delen av världen blir kraftig har dessa länder bättre möjligheter att anpassa sig till klimatförändringar än vad utvecklingsländerna har. Redan idag lever stora delar av jodens befolkning under marginella förhållanden; en global uppvärmning skulle avsevärt försämra deras situation. Ökade nederbördsmängder, mer omfattande torrperioder och fortsatt avsmältning av bergsglaciärer leder till mycket besvärliga förhållanden. Framförallt vattentillgången och spridningen av sjukdomar har identifierats som allvarliga hot i samband med en fortsatt uppvärmning.

Om jordens medeltemperatur stiger med mer än två grader jämfört med temperaturen i mitten av 1800-talet visar några studier att effekterna skulle bli mycket allvarliga, särskilt i utvecklingsländer. Därför har två grader ibland använts som en kritisk temperaturökningsnivå. Vi bör begränsa växthusgasutsläppen så att denna nivå inte överskrids.

Vad kan vi göra?

Hur höga växthusgashalter kan vi då tillåta i framtiden? Om temperaturökningen ska begränsas till två grader får koldioxidhalten i atmosfären inte överstiga cirka 450 ppm. För att klara ett mål på 450 ppm har man räknat ut att utsläppen av växthusgaser måste börja minska mycket snart (inom fem till tio år) och minska med ungefär 50 procent till år 2050. I slutet av detta århundrade (år 2100) bör utsläppen ligga nära noll.

Är en så drastisk minskning av utsläppen realistisk? Ja, i IPCC-rapporten visas hur sådana minskningar kan åstadkommas och vad det kostar. Utveckling av ny teknik är avgörande för att få ner utsläppen. Den största enskilda utsläppskällan idag är energiproduktion. Förnybara energikällor (vattenkraft, biobränslen, vindkraft med mera), energieffektivisering, kärnkraft och koldioxidinfångning ger möjligheter på både kort och längre sikt att minska

växthusgasutsläppen. På längre sikt kan solenergi och kanske fusionsenergi vara möjliga alternativ. Att minska världens utsläpp av växthusgaser innebär en omfattande omställning av industri, samhälle och livsstil.

Kommer vi att klara det? Ja, vi måste. Ju högre uppvärmningen blir, desto större är riskerna. Ekonomer har räknat ut att visserligen kommer energiomställningen att kosta en del, men det handlar inte om mer än några procents minskning av bruttonationalprodukten under de kommande hundra åren. En stor del kan åstadkommas genom besparingar, vilket innebär en negativ kostnad. Omställningen av energiproduktionssystemet är dyr, men inte dyrare än att det är fullt överkomligt. Ekonomiska incitament måste skapas som leder till minskade utsläpp. Avgörande är kostnaden för kol; dagens kolpriser är ganska låga. För att nå utsläppsminskningar som leder till en begränsning av koldioxidhalten kring 450 ppm krävs ett kolpris som motsvarar 15 till 35 öre per kilo koldioxid. Som jämförelse kan nämnas att koldioxidskatten i Sverige idag är 90 öre per kilo koldioxid.

Allvarligt problem

Klimatproblemet är allvarligt. En stor del av den uppvärmning som skett under 1900-talet beror

mycket sannolikt på människans användning av fossila bränslen. Uppvärmningen kommer att fortsätta; hur kraftig den blir och hur stora påfrestningar som jordens befolkning drabbas av beror på hur vi lyckas begränsa utsläppen av växthusgaser i framtiden. Problemet är inte oöverstigligt. Det finns teknik och metoder för att begränsa utsläppen och kostnaderna är inte avskräckande. Men vi måste ganska snart börja minska utsläppen på allvar för att inte hamna i en situation där uppvärmningen har gått för långt och stora delar av jordens befolkning riskerar att drabbas hårt av klimatförändringarna.

Erland Källén är professor i dynamisk meteorologi vid Stockholms Universitet. För närvarande är han verksam som forskningschef vid det internationella forskningsinstitutet European Centre for Medium Range Weather Forecasts i Reading, England. Han har medverkat i det Formasstödda Bert Bolin-centret för klimatforskning vid Stockholms Universitet

Mer om klimatsystemet

Jordens temperatur bestäms av balansen mellan inkommande strålning från solen och utgående värmestrålning mot världsrymden. Högre temperatur på jorden leder till ökad värmestrålning. Genom atmosfärens växthuseffekt fångas en stor del av jordytans värmestrålning upp i de lägre delarna av atmosfären. Det blir därför varmare vid jordytan än det skulle ha varit utan växthuseffekt.

Växthuseffekten påverkas om halterna av växthusgaser ändras i atmosfären. Om till exempel koldioxidhalten ökar fångas mer av värmestrålningen in och temperaturen vid jordytan stiger. En uppvärmning av atmosfärens lägre delar påverkar också mängden vattenånga och molnbildningen vilket i sin tur ändrar strålningsbalansen ytterligare vid markytan. En temperaturökning leder till ökad mängd vattenånga (ökad avdunstning från bland annat haven) eftersom varmare luft kan innehålla mer vattenånga, och det förstärker uppvärmningen vid jordytan. Vattenånga är nämligen den mest betydelsefulla växthusgasen.

I klimatsystemet finns en tröghet som styrs av havet. En obalans mellan utgående värmestrålning och inkommande solstrålning vid havsytan påverkar havets temperatur långsamt. Det tar hundratals år att uppnå

strålningsbalans över havet efter en ökning av växthusgashalterna. Det beror på det tämligen långsamma utbytet av vattenmassorna närmast ytan och i världshavens djup.

Moln

Moln består av vattendroppar och iskristaller som bildas när vattenånga kondenseras. Normalt bildas moln där luften stiger, stigande luft avkyls och när en viss kritisk temperatur nås kan luften inte behålla all vattenånga utan den övergår delvis till droppar eller iskristaller. Vilken höjd som detta sker på beror på luftens temperatur och innehåll av vattenånga.

Molnighetens ändringar som ett resultat av ändringar i klimatsystemets värme- och strålningsbalans är komplexa. Beroende på hur molnigheten förändras kan effekterna på strålningsbalansen bli olika:

- Molnen påverkar inkommande solstrålning genom reflektion av solstrålningen. Mer moln leder till ökad reflektion och därmed en avkylning, medan mindre moln har motsatt effekt. Särskilt effektiv är en ökning eller minskning av molnen i den nedre delen av troposfären, på 1–2 kilometers höjd.
- Ökad molnighet leder också till en ökning av molnens bidrag till växthuseffekten, vilket ger en uppvärmning vid jordytan. Mer molnighet på

högre nivåer i troposfären, vid 5–12 kilometers höjd, leder till en uppvärmning vid jordytan.

Dessa motsatta effekter av en ökad eller minskad molnbildning tar delvis ut varandra. Även om nettoeffekten är liten sett i relation till molnens totala strålningseffekt så är den ändå betydelsefull. Hur molnigheten ändras vid ökad växthuseffekt bestäms av ett komplext samspel mellan ändringar i avdunstning, temperaturändringar, ändringar i ismoln och vattendroppsmoln samt ändringar i atmosfärens cirkulationsmönster. Även om en generell uppvärmning leder till ökat innehåll av vattenånga i luften behöver detta inte medföra att det bildas mer moln. Modellberäkningar och observationer visar att i medeltal är ungefär halva jordklotet molntäckt medan resten är klarluft eller endast delvis molnigt. Det finns inga tydliga trender i molnobservationer från de senaste femtio åren. Inte heller i projektioner av framtida klimatändringar kan man utläsa någon enhetlig molnighetstrend.

Albedo

Molnighetens ändringar är den enskilt största osäkerheten i vår förståelse av klimatsystemets känslighet för ändringar i strålningsbalansen. Därnäst kommer ändringar i den totala reflektionen av solstrålningen, det som kallas albedo. Molnens albedo beror på

deras ytstruktur och om de består av stora eller små vattendroppar eller domineras av iskristaller. Moln med många små vattendroppar har större reflektionsförmåga än moln bestående av ett färre antal stora droppar. Ismoln reflekterar generellt sett en mindre del av solstrålningen än vattendroppsmoln. Höga moln innehåller mest iskristaller medan låga moln är mer vattendroppsrika. Låga moln reflekterar därför solstrålningen effektivast. I förorenade områden (delar av Nordamerika, Europa, Sydostasien) innehåller moln generellt sett fler mindre droppar och reflekterar därför mer av solstrålningen. Detta leder till en avkylning som delvis kompenserar växthusgasuppvärmningen på en regional skala.

Luftföroreningars effekt på strålningsbalans och molnbildning har fått stor uppmärksamhet under senare år. Bland annat har man upptäckt att vissa luftföroreningar i form av bruna, små partiklar kan verka uppvärmande. Över delar av Sydostasien kan denna uppvärmning lokalt vara av samma storleksordning som den ökade växthuseffekten. Luftförorenande partiklar över andra områden kan istället verka avkylande, både genom den direkta effekten på solstrålningen (reflektion) och indirekt genom att påverka molnens albedo.

Förutom av molnigheten påverkas albedot också av isutbredningen och landytans egenskaper. Mer is ger större reflektion av solstrålning och därmed en avkylning. Ljusa landområden (glaciärer, snötäcken, öknar och odlade områden) reflekterar mer solljus än mörka områden (skogar, sjöar). Eftersom istäcket minskar ju varmare det blir finns här en positiv återkopplingsmekanism i klimatsystemet.

Isar

Jordens största landisar finns på Grönland och i Antarktis. Om Grönlandsisen smälter bort höjs världshavens nivå med cirka sju meter. En avsmältning av Grönlandsisen kan ske om den globala uppvärmningen ligger två till fyra grader över den förindustriella nivån under flera tusen år. Havsis finns framförallt i den arktiska havsbassängen och runt Antarktis. Havsisens utsträckning varierar kraftigt mellan vinter och sommar, särskilt i det arktiska området.

Under de senaste 50 åren har det skett en markant minskning av den arktiska havsisen, särskilt under sommarhalvåret. Denna minskning hänger klart samman med den globala uppvärmningen som är särskilt kraftig i Arktis. I Antarktis har ingen motsvarande minskning av havsisen observerats. Uppvärmningen går också långsammare på södra halvklotet

eftersom det mest består av hav som värms upp långsammare än landområden. Över delar av Antarktis har en tydlig uppvärmning kunnat påvisas medan andra delar har blivit kallare under de senaste 50 åren. Uppvärmningen kan knytas samman med en ändring av strömningsmönstren över södra halvklotet som i sin tur kan förknippas med den globala uppvärmningen och förtunningen av ozonskiktet över Antarktis, som båda kan kopplas till människans aktiviteter.

Havsnivå

Eftersom havsisen flyter i havet påverkas inte havsytans nivå nämnvärt om havsisen smälter. Den pågående stigningen av havsytans nivå (cirka tre millimeter per år) beror framförallt på havens uppvärmning; varmt vatten tar mer plats än kallt. En mindre del beror på avsmältning av landisar, främst bergsglaciärer runt hela världen som exempelvis i Alperna, Anderna och Himalaya. En viss avsmältning av Grönlandsisen har konstaterats under de senaste fem till tio åren, medan det är osäkert om Antarktis stora landismassa växer eller smälter.

En fortsatt uppvärmning de närmaste hundra åren kommer att ge en fortsatt stigning av havsytans nivå. Enligt den sammanställning som redovisas i IPCC-rapporten från 2007 kan världshaven stiga med runt

en halvmeter fram till år 2100. Senare forskning har visat att havsytan kan stiga mer än så, kanske upp mot en meter. Beräkningarna av isavsmältningen är emellertid mycket osäkra. Det gäller särskilt Grönlandsisens och Antarktis bidrag. Detta beror på vår ofullständiga kunskap om glaciärers dynamik. Både Grönlands- och Antarktisisen innefattar stora glaciärområden som skulle kunna smälta snabbare än vad som beräknats tidigare. Fortsatt forskning och ett förbättrat observationsunderlag från satelliter kommer förhoppningsvis att leda till säkrare beräkningar av framtida glaciäravsmältningar.

Havsströmmar

Golfströmmen transporterar varmt havsvatten från Karibiska havet, längs Nordamerikas ostkust upp mot Nordatlanten och Arktis. I Norska havet sjunker det avkylda och salta vattnet i Golfströmmen för att återvända söderut som en bottenström. Avkylningen innebär att värmen från Golfströmsvattnet bidrar till att värma upp Nordatlanten och ger ett temperaturklimat i västra Europa och Norden som är varmare än motsvarande områden på samma breddgrad, till exempel Alaska och östra Sibirien.

Beräkningar visar att en fortsatt avsmältning av Grönlandsisen och ökad avrinning från ryska och kanadensiska floder som mynnar i den arktiska

havsbassängen kan leda till en försvagning av Golfströmmen. Det beror på att avsmältningen och avrinningen leder till en ökad mängd färskvatten i Norska havet och Arktis som hindrar nedsjunkningen av Golfströmmens vatten. Golfströmmen tvingas då vända längre söderut vilket försvagar värmetransporten till det nordatlantiska området. Nettoeffekten i västra Europa och Norden blir fortfarande en uppvärmning, men särskilt över Island och södra delarna av Grönland kan försvagningen av Golfströmmen leda till en svag eller obefintlig temperaturökning. Ännu har ingen tydlig försvagning av Golfströmmen observerats, det finns heller inga tydliga tecken på en ökning av färskvattentillströmningen i Nordatlanten.

Permafrost

I takt med en fortsatt uppvärmning i Arktis finns ökad risk för att permafrostområden i norra Kanada och Sibirien smälter. Stora mängder kol finns lagrat i permafrosten. Vid smältning kan detta kol frigöras till atmosfären i form av metangas eller koldioxid. Vi vet inte hur stora mängder det kan röra sig om, men det finns en risk för att de frigjorda växthusgaserna förstärker den globala uppvärmningen.

Nederbörd och ökenspridning

Ökade globala medeltemperaturer gör att atmosfärens innehåll av vattenånga ökar. Därmed kan

det regna kraftigare över de områden där vi idag har nederbörd. Exempel på detta är ökad risk för kraftiga skyfall i delar av Nordamerika och Europa. Samtidigt blir områden som idag är nederbördsfattiga ännu torrare, särskilt tydligt kan detta bli i Medelhavsområdet. Klimatprojektioner visar att Saharaöknen kan breda ut sig åt öster; det som idag är semiarida områden kan bli torra öknar i framtiden. På samma gång kan det regna mer i regioner som idag ligger i utkanten av tropiska regnskogsområden, och därmed kan faktiskt också en del torra områden bli bördiga.

Vi ser ännu inga tydliga tecken på ökenutbredning som direkt kan hänföras till den globala uppvärmningen, men de senaste femtio åren har jordens nederbördsrika områden blivit något blötare och nederbörden har minskat i områden som idag är nederbördsfattiga.

Extrema väder

Antalet kraftiga tropiska cykloner över Atlanten och Karibiska havet har ökat de senaste 30–35 åren. Det hänger troligtvis ihop med ökande ytvattentemperaturer i dessa havsområden. Vid en fortsatt global uppvärmning kan vi förvänta oss ett ökat antal kraftiga tropiska oväder, men det finns inga tecken som pekar på att det totala antalet tropiska cykloner ska öka.

Extrema stormar på våra breddgrader kan både bli vanligare och mindre vanliga. Olika klimatprojektioner pekar åt olika riktningar; det går inte att hitta någon tydlig och enhetlig trend. Inte heller från väderobservationer av stormar kan vi utläsa någon tydlig trend. Stormen Gudrun år 2005 var därför en i raden av kraftiga stormar som drabbat Skandinavien i modern tid. Det finns inga indikationer på att stormar av detta slag blivit vanligare under 1900-talet.

Plötsliga förändringar – tipping points

Risken för abrupta händelser i klimatsystemet ökar vid en fortsatt uppvärmning. Ett exempel på en sådan abrupt händelse skulle kunna vara avsmältning av stora ismassor från glaciärområden i Grönland och på Antarktis. Ett annat exempel är en plötslig uppbromsning av Golfströmmen. Inget av dessa fenomen har inträffat under de senaste 50 åren och kan därför inte direkt relateras till den globala uppvärmningen. Det hindrar inte att de kan inträffa i framtiden, men det går inte idag att säga hur stor risken är.

År 2007 inträffade under sommaren en kraftig avsmältning av havsistäcket i Arktis. I mitten av september år 2007 hade istäcket minskat markant jämfört med samma tidpunkt föregående år. Visserligen

finns en tydlig nedåtgående trend i havsistäcket i Arktis, men ändringen från år 2006 till år 2007 låg långt över vad man kunde förvänta sig enbart som ett resultat av den nedåtgående trenden. Även i september år 2008 inträffade en tydlig minskning av havsistäcket, även den större än förväntat. Minskad havsis under sommaren leder till ökad absorption av solvärme i havet och därmed till en förstärkning av uppvärmningstrenden. Det spekuleras i att havsisminskningen i Arktis är ett exempel på en oförutsedd, abrupt händelse som förstärks genom en positiv återkoppling. Det återstår ännu att se om isminskningen håller i sig under de kommande åren. Om så är fallet kan detta vara det första exemplet vi ser på en plötslig händelse som hänger ihop med den globala uppvärmningen.

Erland Källén, Stockholms universitet

Mäta och modellera – verktyg för klimatforskare

Mätningar och klimatmodellering är klimatforskarnas viktigaste verktyg. Vilket är bäst om vi vill ta reda på något om klimatet i framtiden? Båda har begränsningar och båda behövs för att studera klimatet, skriver Markku Rummukainen. Dessutom stödjer mätningar modellering – och omvänt. Men mätningar fungerar inte för framtiden. Modellering är det bästa sättet vi har att göra scenarier för framtiden – även om metoden inte är perfekt.

Markku Rummukainen, SMHI.

Mätningar och modellering är två av den naturvetenskapliga klimatforskningens viktigaste verktyg. De kompletterar varandra, och båda har både möjligheter och begränsningar. Via mätningar får man fram verkliga värden. Med klimatmodeller simulerar man klimatet.

Mätdata med vissa osäkerheter

Mätningar görs för atmosfären, havet, isarna och biosfären. De görs på land och till havs, på plats eller på distans. De görs på instrumenterade stationer, bojar, från flygplan och fartyg, med väderradar och satelliter. Enstaka mätserier av inte minst temperatur går några hundra år tillbaka i tiden, men mest mätningar finns från de senaste 150 åren. Det är under den tiden vi har utvecklat moderna mätinstrument och upprättat långsiktiga mätnätverk.

Mätningar är en given grundsten, men allt går inte att mäta. Mätdata kan dessutom sällan användas utan vidare. De måste först analyseras. Det beror på att mätningar alltid är förknippade med osäkerhet som beror på mätinstrumentens egenskaper, hur mätningen görs, och på vem som har bestämt vad som ska mätas när och var. Speciellt noggrann analys krävs för avancerade fjärranalysdata som samlas in med satelliter och radar. Det går inte att mäta alltid och överallt. Ett exempel är den globala medeltemperaturen.

Den analyseras fram från mätningar som görs på ett stort antal platser världen runt. Men platserna är ojämnt fördelade. Det är speciellt glest mellan dem i till exempel polarområdena och Sahara. Det ger givetvis en viss osäkerhet i resultaten som måste hanteras i sammanvägningarna av insamlade data.

Det är inte lätt att med mätdata få insyn i klimatets egenskaper och växlingar längre bakåt i tiden. Även om vi inte direkt kan mäta det som redan har hänt finns det metoder för att göra mätningar om hur klimatet har varit. Vi får gräva oss ner i naturens egna klimatarkiv, till exempel iskärnor och trädringar. Dessa har vuxit till över tiden och påverkats av klimatets växlingar. I iskärnorna kan man hitta inkapslade luftbubblor som kan analyseras så att vi kan se tidigare atmosfärshalter av till exempel koldioxid och metan. Genom studier av olika isotoper av syre och väte kan även temperaturer bestämmas. Trädringarnas utseende har i sin tur påverkats av temperatur och nederbörd när träden växte. De resultat som kommer fram kallas proxydata eftersom de inte handlar om klimatvariabler i sig, utan om klimatrelaterade egenskaper som kan tolkas om till klimatdata. Medan iskärnor bevarat klimatinformation från perioder långt tillbaka, upp till flera 100 000 år, ger till exempel trädringar information om mycket kortare perioder.

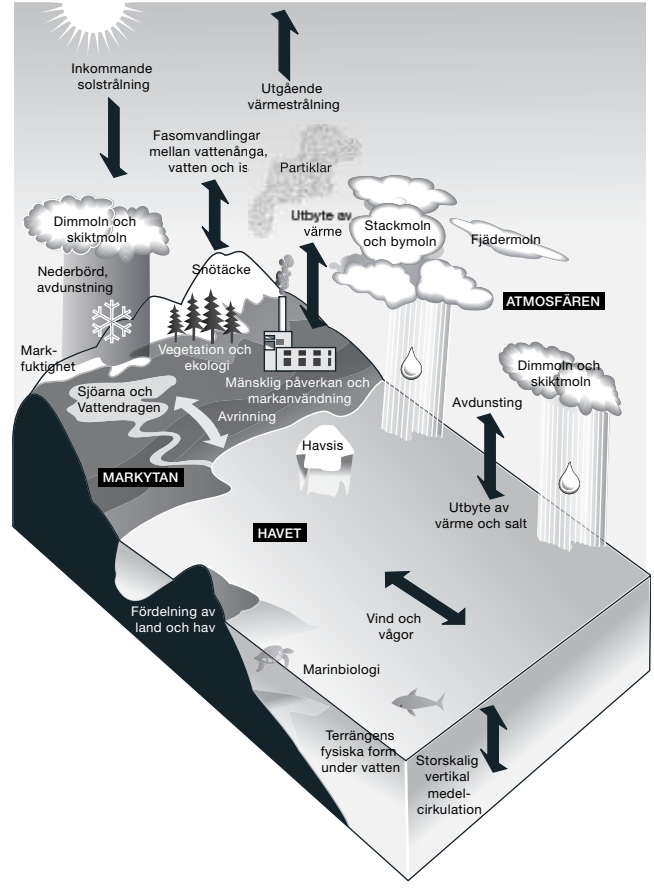
Framtiden i sin tur går förstås inte alls att göra mätningar på. Klimatmodeller ger oss en möjlighet att göra beräkningar av hur det kan komma att bli.

Klimatmodeller är inte perfekta

Enkelt kan man säga att en klimatmodell är ett syntetiskt klimatsystem uttryckt i matematiska termer, oftast i form av ett datorprogram. Modellen beskriver egenskaper och grundläggande fysik hos bland annat atmosfären, landytan, havet och isen (figur 1). De mest avancerade klimatmodellerna är tredimensionella cirkulationsmodeller som bygger på vår fysikaliska förståelse av energi, massa och rörelsemängd (massa gånger hastighet). Alla dessa är konserverade inom slutna system. När det gäller klimatet tillkommer inkommande energi i form av solstrålning samt utgående energi i form av värmestrålning ut ur jordsystemet inklusive atmosfären.

Figur 1. En schematisk skiss av klimatsystemet. I en klimatmodell simuleras rörelser i atmosfär och hav direkt med många andra processer, som bildning av moln och nederbörd eller flöden av energi både mellan och inom hav och atmosfär, bildning och avsmältning av is, med mera. Atmosfären, havet och marken delas in i ett tredimensionellt rutnät där man beräknar värden på temperatur, vind och fuktighet. Utifrån dessa värden simuleras klimatet med hjälp av cirkulationsmodeller för hav, atmosfär och land. Genom antaganden om eventuella externa faktorer som till exempel variabel solstrålning eller växlande atmosfärshalter av växthusgaser kan både naturlig och av människan orsakad klimatpåverkan studeras.

Även vatten i dess olika faser (snö/is, vätska, ånga) och salthalten i havet ingår i klimatsystemets grundläggande storheter. Man förstår vitsen med det lättare om man tänker på att det går åt eller frigörs värmeenergi i omvandlingarna mellan vattenånga, flytande



vatten och snö/is. Salthaltsvariationer i sin tur påverkar vattnets täthet och skapar därmed kontraster som leder till rörelser, det vill säga havsströmmar.

Klimatsystemet är mycket komplext och det går inte att representera alla dess detaljer i modellerna. Med tanke på det är och kan inte klimatmodeller vara perfekta. I den mån det finns mätningar är det därför viktigt att göra jämförelser med beräkningarna och uppskatta klimatmodellernas förmågor och brister.

Högre upplösning men också större system

Klimatets processer är kontinuerliga i tid och rum. Temperaturen exempelvis varierar glidande från en tid till en annan eller mellan två platser. I klimatmodeller delar man däremot atmosfären, havet och marken i ett antal punkter för att kunna göra beräkningar. I globala modeller kan avståndet mellan punkterna vara 10–30 mil, medan man i regionala modeller idag åstadkommer 1–5 mil. Även tidsutvecklingen bryts ner till beräkningar över korta tidssteg som kan vara från en knapp halvtimme till en timme långa; tidsstegen läggs efter varandra tills en bestämd period har simulerats. För att beräkna de i verkligheten kontinuerliga och samtidiga processerna i ett antal steg behövs det numeriska metoder.

Det beror på en modells upplösning vilka processer som kan beräknas direkt och vilka som måste beskrivas mer approximativt. Exempel på det sistnämna är småskaliga rörelser som turbulent blandning i atmosfären och havet, markytans heterogena struktur och molnens mikrofysik (hur vattenånga omvandlas till och från små droppar som i sin tur utvecklas till moln och eventuellt till nederbörd). Processer som friktion och absorption av strålning av atmosfärens gaser i sin tur involverar molekyler som förstås inte kan modelleras var för sig. Det som kommer till användning är ”parameterisering”, som handlar om processbeskrivningar. Dessa skapas med kunskaper om den bakomliggande fysiken.

Utöver grundekvationer, numerisk teknik och processbeskrivningar behövs en specifikation av var det finns land och hav samt deras storskaliga former och beskaffenhet. Även effekten av jordens rotation på cirkulationen byggs in i ekvationerna. Solinstrålningen och atmosfärens sammansättning samt eventuell annan påverkan som ska inkluderas måste också beskrivas. En modell kan aldrig bli fullständig eller perfekt. Det kan också vara så att i alla modeller saknas något grundläggande. Som ett exempel kan nämnas att fram till början av 1990-talet tog man inte hänsyn till atmosfäriska partiklar i klimatmodeller. Dessa påverkar i viss utsträckning strålningsbalansen och

även molnbildningen. Idag inkorporeras dessa effekter i många klimatmodeller, men osäkerheterna är fortfarande stora. En anledning till det är att det bara finns ett begränsat antal mätningar av partikelmängderna och partiklars detaljerade egenskaper.

Klimatmodeller har funnits och använts sedan 1960-talet. Idag diskuterar man mer och mer detaljerade klimatmodeller, med siktet på längre sikt inställt på skalan 1–10 kilometer även i globala beräkningar. Samtidigt går man mer och mer mot så kallade jordsystemmodeller (Earth System Models). Utöver atmosfären, landytorna och havet omfattar dessa vegetation, atmosfärskemi, kolcykeln och eventuellt havets biogeokemi. Det finns även funderingar på att inkludera modelleringar av samhällets processer (befolkning, ekonomi, med mera). Denna utveckling kan leda till bättre och mer förfinade studier av återkopplingar och osäkerheter. Det kan också leda till överraskningar i vår förståelse eftersom ny växelverkan inkorporeras, vilket kan leda till oväntade effekter och nya insikter.

Är vissa data bättre än andra?

Man skulle kunna tänka sig att mätdata är mer värda än data från modeller. Ibland kan man också få den känslan av forskare som inbitet forskar om klimatprocesser med hjälp av mätningar. Jag har träffat

kollegor som mer eller mindre fnyser åt modeller. Det som kanske ligger bakom är att medan mätningar ju handlar om den verkliga verkligheten så handlar modellering om simulering, det vill säga beräkningar. Även om mätningar har en del begränsningar är de ändå det närmaste vi kan komma verkligheten. Simuleringar är bara det näst bästa. På samma sätt har jag träffat kolleger som stenhårt tror på modeller och inte arbetar med mätningar.

Enligt min mening behövs det samarbete, eftersom klimatmodellering och mätningar kompletterar varandra. Båda resulterar i data om temperatur, nederbörd, vindar, salthalter i havet, markfuktighet, snötäcken, och så vidare. Klimatmodellering hjälper oss att förstå mätdata. Om vi inte kan modellera det vi mäter har vi nog inte en sann förståelse av det klimat som dessa observationer handlar om.

Hur blir framtiden?

Vad ska vi göra med det som inte går att mäta, inklusive framtiden? Vågar vi lita på klimatmodeller? Mitt svar är ”ja, fast med sunt förnuft”. Dagens klimatmodeller har visat sitt värde och deras resultat står sig bra jämfört med olika mätningar. Även om klimatmodeller inte är fullkomliga så är de mycket användbara. Klimatmodellering kan med gott samvete jämföras med arbete i ett laboratorium lika

mycket som om man var omgiven av provrör och mätinstrument.

Både mätningar och modellering är oersättliga verktyg i klimatforskningen för undersökning av klimatet förr, idag och inte minst av hur det kan bli i framtiden. På senare år har de två närmat sig varandra – forskning som stödjer sig på klimatmätningar och forskning med klimatmodellering. Det är en bra utveckling med löfte om bättre och bättre kunskaper.

Markku Rummukainen är klimatexpert på SMHI, docent i meteorologi vid Helsingfors universitet och adjungerad professor med inriktning på klimatmodellering vid Lunds universitet. Han ledde Sweclim-programmet 2000–2003, var chef för klimatmodelleringsenheten Rossby Centre vid SMHI 2002–2007 och leder idag Mistra Swedish research programme on Climate, Impacts and Adaptation. Han medverkar också i det Formasstödda projektet "Modeller, medier och klimatförändring i Arktis". Markku deltog i IPCC:s två senaste kunskapssammanfattningar 2001 och 2007, samt i det vetenskapliga rådet för klimatfrågor med uppdrag från svenska regeringen.

Varför ska vi tro på klimatmodeller?

Att bygga en klimatmodell är att balansera på en knivsegg mellan många olika faktorer, vissa som vi känner väl och andra där kunskapen har brister. Moln är en akilleshäl, och partiklar en annan. Dessutom finns det sådant som vi ännu inte vet att vi inte vet. Modellerna beskriver ändå det observerade klimatsystemet bra. Men vi får aldrig glömma att en modell bara är en modell, och inte verkligheten. Det finns alltid en risk att man får rätt svar av fel anledning, skriver Michael Tjernström.

Michael Tjernström, Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet.

Frågan om mänsklighetens klimatpåverkan har seglat upp som en av vår tids allra viktigaste miljöfrågor, särskilt sedan FN:s klimatpanel IPCC lämnade sin senaste rapport 2007. I Sverige har frågan varit högaktuell sedan det senaste sekelskiftet, men forskningen har varit mycket aktiv under flera decennier. De senaste åren har frågan kommit att intressera en bred allmänhet och därmed också aktualiserats av politker och andra beslutsfattare.

Vetenskapligt har klimatfrågan en speciell karaktär inom naturvetenskaperna eftersom den inte kan studeras genom kontrollerade experiment. Man kan ju inte vrida klockan tillbaka och testa hur ett alternativt klimat skulle ha sett ut, det vill säga ett klimat utan mänskliga utsläpp av växthusgaser. Vi har bara den värld vi lever i. Ännu mer problematiskt blir det om vi vill förstå hur klimatutvecklingen kommer att se ut i framtiden om vi antar att samhällsutvecklingen blir på ett visst sätt – eller omvänt om vi vill veta hur vi måste förändra samhället för att hålla klimatpåverkan inom rimliga gränser.

Det är här klimatmodellerna kommer in. Med klimatmodeller kan vi, tillsammans med observationer, försöka förstå hur klimatsystemet fungerar. Om vi antar något realistiskt om den framtida utvecklingen av växthusgasutsläppen kan vi också göra utsagor om

klimatets utveckling framåt i tiden. Vi kan också studera tänkbara effekter av utsläppsminskningar och ge råd till politiska förhandlingar. Utvecklingen av dagens realistiska kopplade globala klimatmodeller är ett av klimatforskningens verkliga genombrott. Men framgången har också ett pris, nämligen att trovärdigt svara på frågan varför vi ska tro på dessa modeller, och hur bra de egentligen beskriver det verkliga klimatsystemet.

En klimatmodell är inte det verkliga systemet

En klimatmodell är i praktiken ett mycket komplicerat datorprogram, en matematisk-numerisk syntetisk modell av klimatsystemet som är tillräckligt lik det verkliga systemet för att kunna användas till att förstå klimatsystemet, göra utsagor om framtida klimat och vara ett hjälpmedel för att utvärdera olika åtgjärder.

Det är inget märkligt i sig att fatta beslut om framtiden baserat på modeller. Vi fattar i princip dagligen stora och små beslut baserat på olika modeller. Ibland är de konceptuella – tankemodeller om hur olika saker hänger samman – och ibland mer formella, till exempel matematiska modeller. Men man måste alltid tänka på att en modell – hur avancerad den än är – trots allt bara är en modell och inte det verkliga systemet. Modeller har alltid inneboende brister och

det finns alltid en potential för överraskningar som till exempel kan bero på processer som vi ännu inte riktigt förstår. En klimatmodell blir därför aldrig färdig; den måste ständigt utvecklas.

Kaos i klimatsystemet

Varför är det då så svårt att entydigt besvara frågan om klimatets utveckling – och om klimatmodellernas kvalitet? En av de viktigaste orsakerna är klimatsystemets inneboende kaos, eller med ett annat ord – dess icke-linjaritet. Med kaos menar vi forskare i detta sammanhang inte ett slumpmässigt system som inte går att förstå. Istället menar vi ett system sammansatt av olika processer som var och en går att beskriva och förstå isolerat, men som alla beror av varandra på ett sådant sätt att när de kopplas samman ger ett system där en liten förändring i någon del av systemet kan generera en oväntat stor och till synes slumpmässig förändring i en annan del – eller i hela systemet.

Låt oss ta ett annat mer jordnära exempel. Anta att du står på en bro över en å som har en rad fall nedströms bron. Du kastar upprepade gånger flöten i vattnet på exakt samma plats och tar sedan reda på var de hamnar nedanför fallen och hur lång tid resan tog. Du kommer då att upptäcka ett par saker. För det första, om du lägger i två exakt likadana flöten samtidigt på samma plats så hittar du dem aldrig

bredvid varandra nedanför fallen. För det andra, hur många gånger du än upprepar experimentet så kommer du aldrig att hitta flöten två gånger på exakt samma plats efter exakt samma tid. Det här beror på den summerade effekten av alla små skillnader i de lokala strömvrivlarna som varje flöte upplever unikt under sin färd. Den här typen av variationer finns också i atmosfären; luften beter sig som en vätska även om vi inte kan se med ögonen hur den rör sig. Detta ”kaos” är också orsaken till att den maximala längden för en detaljerad väderprognos är fundamentalt begränsad, men det är en helt annan historia.

Det vi inte vet – och det vi inte vet att vi inte vet

Klimatsystemet består av många olika och ofta komplexa komponenter som är sammankopplade på just ett kaosartat sätt. Det betyder att det inte alltid går att avgöra hur en enskild process i slutändan påverkar klimatet även om vi förstår just den processens omedelbara inverkan. Vi förstår den direkta effekten av ganska många klimatprocesser men kan ofta ändå inte avgöra deras betydelse för hela systemet, just därför att vi aldrig kan gissa oss till de många olika följdverkningarna eller återkopplingarna. Ett exempel på detta är att trots att drivningen av klimatsystemet är störst i tropikerna så sker de största förändringarna vid polerna, särkilt den norra. Det enda seriösa angreppssättet är att använda en realistisk modell av

hela klimatsystemet. Detta är åtminstone teoretiskt möjligt, men en förutsättning är att vi kan identifiera, förstå och matematiskt beskriva *alla* relevanta processer.

Och här kommer nästa problem in. Många processer förstår vi, till exempel den direkta effekten från växthusgaserna på jordens värmestrålning. En del processer förstår vi hyfsat bra men de är så komplicerade att det är svårt att beskriva dem ändå, till exempel effekten av moln. För en del andra är kunskapen ofullständig och beskrivningen bristfällig. Exempel på detta är effekten av små partikar (aerosoler) på klimatet, eller samverkan mellan biosfären och atmosfären. Och till sist kan en forskare aldrig reservera sig för ”the unknown unkown” – processer som vi inte vet att vi inte förstår helt enkelt därför att vi inte upptäckt dem eller deras betydelse ännu. På gränsen här finner vi den omdebatterade effekten av solvinden på den kosmiska strålningen, och dess eventuella effekt på aerosoler och därmed på moln.

Stort och smått

Ett annat – och delvis relaterat – problem är klimatsystemets enorma spännvidd över både tid och rum. I rummet styrs våra vädersystem och även cirkulationen i havet av processer på global skala, till exempel av temperaturskillnaden mellan ekvatorn och

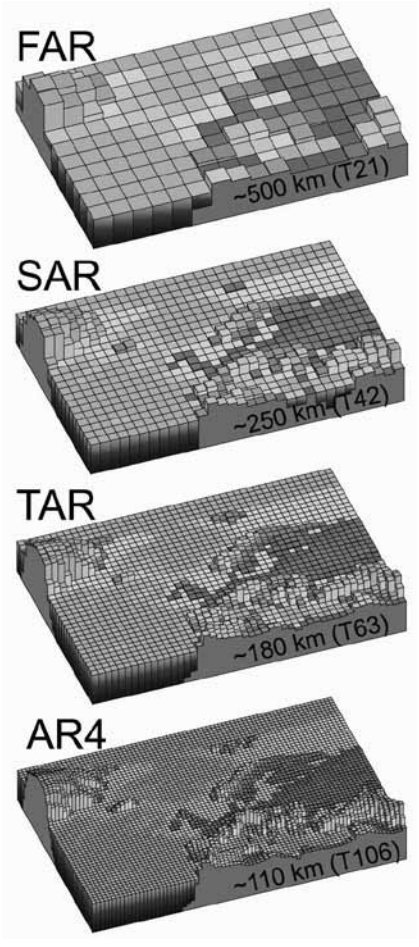
polerna. Ett exempel är de långa vågor i atmosfären, Rossbyvågor (uppkallade efter den svenskamerikanske forskaren Carl-Gustav Rossby), som spänner runt hela hemisfären både på norra och södra halvklotet. Ett annat är den globala oceancirkulationen till exempel med varmt vatten som strömmar norrut i Atlanten, sjunker till botten i norra Nordatlanten och sedan strömmar tillbaka söderut för att så småningom komma upp till ytan igen i Stilla Havet eller Indiska Oceanen. Havscirkulation har en tidsskala på kanske tusen år, medan atmosfärens cirkulation har en betydligt kortare tidsskala, kanske några veckor. De stora nedisningarna – istiderna – sker på ännu mycket längre tidsskalor och drivs troligtvis av små förändringar i jordens bana kring solen och jordaxelns lutning.

I andra änden av skalan finner vi de allra minsta – och snabbaste – processerna, som till exempel bildningen av mikrometerstora vattendroppar eller iskristaller i moln. Eller de turbulenta virvlarna i den lägsta delen av atmosfären som likt vattenvirvlarna i ån i exemplet ovan transporterar vindens rörelseenergi till marken där den blir till värme, och som omfördelar energin från solens strålar och jordens värmestrålning mellan uppvärmning och avdunstning vid jordens yta. Allt detta sker på skalor ned till mikrometer och sekunder. Alla dessa processer är viktiga för klimatet och ingen av dem kan försummas.

Brister och svagheter

En viktig effekt av kaos i ett system är att när man formulerar de matematiska ekvationer som beskriver det så blir dessa olösbara. Det innebär nu inte att man inte kan räkna på klimatet, men det innebär att dessa ekvationer måste ersättas av andra, approximativa ekvationer som inte är kontinuerliga i tid och rum. Enkelt utryckt byggs modellernas hav och atmosfär upp av ett gitter av tredimensionella boxar (se figur). Man räknar sedan till exempel på hur mycket energi eller vatten som strömmar in och ut ur varje box från de angränsande, och nettoresultatet påverkar hur förhålladena inom varje box förändras. Detta görs för varje box i rummet och upprepas sedan om och om igen i tiden.

När man ska simulera ett globalt system där man måste kunna beräkna utvecklingen under lång tid med begränsad beräkningskraft följer automatiskt att storleken på boxarna – upplösningen – blir begränsad. Den blir en kompromiss mellan tillgänglig datorkapacitet, längden på simuleringen och hur snabbt man vill få tillgång till resultatet. I dagens globala modeller är den typiska storleken på de minsta processerna man kan direkt beskriva omkring hundra kilometer. Detta duger hyfsat för att beskriva våra vanligaste vädersystem, men inte för till exempel orkaner. Och vad händer med alla de mycket mindre



Upplösningen i klimatmodellerna – storleken på beräkningsboxarna – har utvecklats över tid, från IPCC:s första utvärderingsrapport (FAR 1990) till den senaste (AR4 2007). Den andra rapporten (SAR) kom 1996 och den tredje rapporten (TAR) kom 2001.

processerna, som molnbildning och energiutbytet vid jordytan?

Effekterna av dessa småskaliga processer försöker man istället beskriva statistiskt utan att beskriva processen i sig själv i detalj. Ännu en approximation alltså. Och om beskrivningen av en bristfälligt förstådd process påverkar modellen fel är det lätt att ”av misstag” kompensera det uppkommna felet genom att introducera något annat fel i någon annan process – ett kompenserande fel. Då kan det bli rätt resultat, fast av fel anledning.

Kvalitetssäkring

Den grundläggande förutsättningen för trovärdiga klimatmodeller är att de bygger på etablerad fysik och kemi i systemet. Klimatmodeller är inget mystiskt hokuspokus utan bygger på etablerad kunskap om processer som baserar sig på accepterade teorier och observationer.

Hur kan man då veta om en modell är bra eller inte? Det finns egentligen bara ett sätt och det är att utvärdera hur bra de lyckas beskriva något som vi känner till, till exempel klimatet under de senaste 150 åren då vi har hyfsade mätningar av klimatets utveckling för åtminstone några aspekter av klimatet. Och ju mer observationer vi genererar med ny avancerad

teknik idag, till exempel med satelliter, desto mer detaljerade utvärderingar kan vi göra.

Test med dagens moderna klimatmodeller visar att de har god förmåga att beskriva den globala temperaturutvecklingen sedan mitten av 1800-talet om man driver dem med bästa tänkbara uppskattning av hur de faktorer som (vi vet) påverkar klimatet varierat under denna tid, till exempel solens variation, växthusgaser och vulkanutbrott. Sådana experiment visar att det inte går att förklara temperaturens utveckling sedan ungefär 1960 utan att beakta förändringar i växthusgaserna (jämför figur 2 på sidan 47). Modellerna uppvisar också en realistisk intern variabilitet – resultatet av det kaos som kännetecknar klimatsystemet.

Men temperaturen nära jordens yta är en relativt robust klimatvariabel. För andra variabler, framförallt då det gäller moln och nederbörd, skiljer sig modellerna åt en hel del. Resultatet för olika regioner är också olika bra. Olika modeller har ju delvis olika antaganden och ger därför aningen olika resultat, särskilt för framtiden. Olika klimatmodeller har olika känslighet, det vill säga de reagerar olika mycket på en föreskriven förändring av koncentrationen av växthusgaserna, även om de ger samma realistiska resultat för det klimat som varit från mitten av 1800-talet

fram till idag. Man kan till exempel visa att det finns samband mellan klimatkänsligheten i olika modeller och hur de hanterar molnbildning. Detta innebär en osäkerhet om den exakta utveklingen i framtiden. Särskilt som vi ju faktiskt inte vet exakt hur stor känsligheten är för det verkliga klimatsystemet.

Balansgång på knivsegg

I slutändan bygger modellerna på accepterad kunskap om klimatsystemet, och den enda vägen att förbättra modellerna går över att öka kunskapen om detta system och dess olika komponenter. Det är det enda ansvarsfulla sättet att försöka förstå klimatet och dess utveckling i framtiden.

Men att bygga en klimatmodell är att balansera på en knivsegg mellan många olika faktorer, vissa som vi känner och förstår väl och andra där kunskapen är mer bristfällig. Trots det måste vi konstatera att modellerna i allt väsentligt beskriver huvuddragen i det observerade klimatet mycket bra, även om vissa detaljer uppvisar systematiska skillnader mellan olika modeller. Vi får dock aldrig glömma att en modell är en modell – och inte alls verkligheten.

Michael Tjernström är professor i meteorologi på Meteorologiska institutionen vid Stockholms universitet och är verksam inom Bert Bolins Center för Klimatforskning. Han forskar främst kring småskaliga dynamiska processeser i atmosfären som turbulens och molnbildning i atmosfärens gränsskikt, den nedre delen av atmosfären som direkt präglas av kontakten med jordens yta. Forskningen genomförs med hjälp av både modeller och fältstudier av olika processer. Under det senaste decenniet har forskningen främst kretsat kring processer i Arktis.

I ljuset av klimathistorien – forskare borde ta debattinitiativ

Vi har dels naturliga variationer i klimatet, dels är människan nu på väg att aktivt påverka klimatsystemet. Det finns ingen motsättning i det, och forskarsamhället har sedan länge passerat det stadiet av diskussionen, skriver Per Holmlund. Men det finns mycket vi inte vet, och de sanningar vi stödjer oss på vilar ibland på bräcklig grund. Forskarsamhället har därför ett ansvar att debattera i medierna, men har hittills valt en passiv hållning där man snällt svarar på frågor men undviker egna initiativ. Det leder till misstro och fältet släpps fritt för klimatcharlataner.

Per Holmlund, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet.

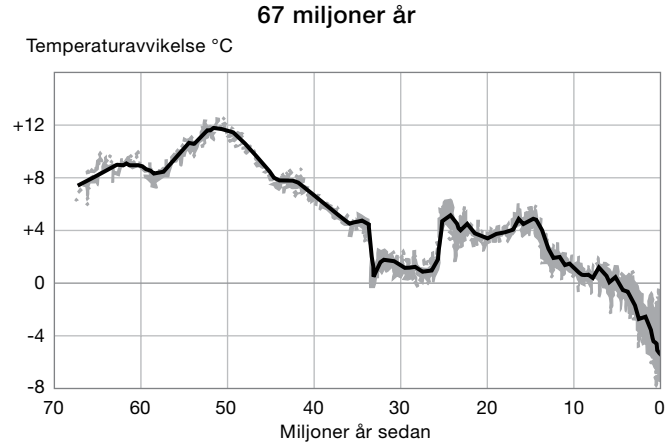
I medierna förs en debatt kring klimatfrågan som emellanåt blir svårbegriplig. Skribenter kan uppmana oss att inte tro på klimatprofeten Al Gore, eller ännu extremare att vi inte ens ska tro på växthuseffekten. Regelmässigt får någon forskare träda in och besvara tokerierna, men sedan dör diskussionen. Det är intressant att ställa sig frågan varför det blir så, det vill säga varför fortsätter inte forskare att debattera med varandra i pressen?

Arbetet kring IPCC-rapporterna har sedan det startade för cirka tjugo år sedan utvecklats till att ge en alltmer nyanserad och därmed komplex bild av klimatutvecklingen. I början var arbetet helt fokuserat på att klimatförändring var ett resultat av mänsklig påverkan. Klimatet antogs vara mer eller mindre konstant fram till dess människan kom in i bilden och störde det. Detta antog man trots att det fanns en gedigen kunskap bland klimatforskare om hur klimatet har varierat förr. Läget har förbättrats sedan dess och IPCC-rapporten 2007 har en tämligen fyllig del om naturliga variationer i klimatet som har kunnat tolkas ur iskärnor och andra paleoklimatarkiv.

Långsiktig trend mot kallare klimat

Under de senaste 50 miljoner åren har temperaturutvecklingen visat en mycket markant trend mot kallare klimat (figur 1). Enligt tolkningar av sedimentkärnor

från havsbottnar är avkylningen i storleksordningen 10 grader Celsius. Solen har inte svalnat under perioden; den generella tolkningen är att temperaturnedgången kan förklaras med en minskad växthuseffekt på grund av att kol och metan har bundits vid jordytan i torv och sediment och senare i permafrost. Utöver en minskad växthuseffekt har tektoniska förändringar av främst Nordpolsområdet förändrat förutsättningarna för värmetransport mellan låga och höga latituder. Fördelningen mellan land och hav har förändrats med tiden i detta område.

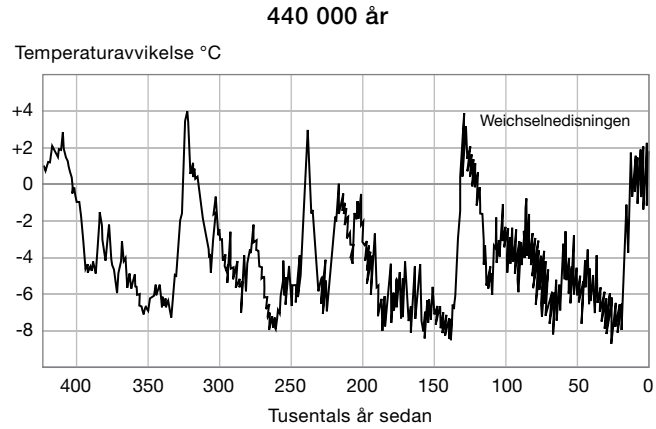


Figur 1. Så här har den globala temperaturen förändrats under de senaste 67 miljoner åren i förhållande till dagens situation. Temperaturskalan är uppskattningar som baseras på syreisotopdata från skal av foraminiferer i marina borrkärnor och är säkrare i den äldre och varmare delen än i den sena istidsperioden. Nollnivån är något godtyckligt satt till en tänkt nuvarande nivå. (Efter Zachos med flera, Nature 2001)

Under de senaste 2,5 miljoner åren har vi haft mycket starka växlingar mellan istider och mellanistider. Under istidernas kallaste skeden var temperaturen här i Skandinavien 15–20 grader kallare än idag. Istiderna kännetecknas av kylan, men även av mycket stora temperaturväxlingar, särskilt under de kallaste faserna. Den senaste istiden (Weichsel) hade kortvariga varmperioder som inföll med ett- till tvåtusen års mellanrum och lite större kalla perioder med cirka femtusen års mellanrum (figur 2). Växlingarna var stora och de gick snabbt, i enstaka fall på ett år från ett istidsläge till ett tio grader varmare klimat. När dessa stora och snabba svängningar skedde i klimatet så såg världen lite annorlunda ut på norra halvklotet jämfört med dagens situation. I Nordamerika, Skandinavien och Sibirien låg inlandsisar, och en utströmning av isberg och havsis från Ishavet ut i Atlanten försvagade transporten av varmt havsvatten mot nordliga latituder. Det betyder att både havs- och luftströmning såg annorlunda ut då jämfört med nu. Uppenbarligen skedde då och då radikala förändringar i strömningsmönstren som gav upphov till de stora temperaturändringarna.

Lilla istiden slut för hundra år sedan

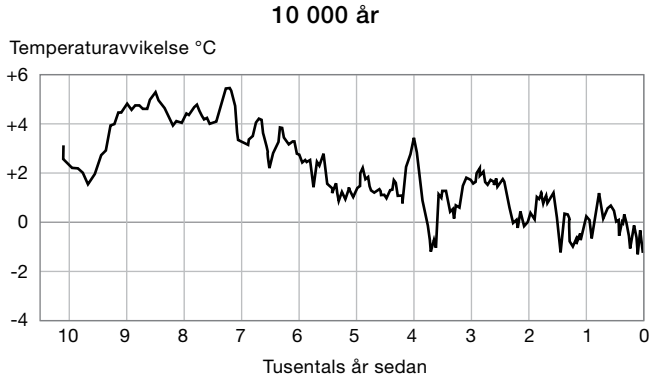
När den senaste istiden tog slut för 10 000 år sedan var klimatet varmare än idag på grund av kraftigare solinstrålning orsakad av jordens läge i förhållande till solen (figur 3). Isar smälte bort och klimatet



Figur 2. Temperaturen över Antarktis under de senaste 440 000 åren tolkat ur väteisotoper i borrkärnor från Vostokbasen på Östantarktis. Figuren visar de dramatiska övergångarna mellan istider och mellanistider samt de stora svängningarna som har skett inom istiderna. Enligt data från den grönländska inlandsisen var temperatursvängningarna betydligt större på norra halvklotet, men de grönländska tidsserierna omfattar bara en istid. Tiden för den senaste istiden, Weichsel, är markerad i figuren. (Efter Petit med flera, Nature 1999)

stabiliserades kring en hög temperatur. Det fortsatte att vara föränderligt, men nu med mindre variationer. Klimatet har växlat mellan relativt varma och relativt kalla perioder, men under de senaste årtusendena har den långsiktiga trenden varit negativ på norra halvklotet, det vill säga vi går mot ett allt kallare klimat. Den senaste riktiga kallperioden kallas allmänt för den Lilla istiden och varade under 1600-, 1700- och 1800-talen (figur 4). I våra historieböcker kan vi läsa om svenska härens ritt över Stora Bält vintern 1658,

vilket ju inte skulle ha varit möjligt under 1900-talet och sannolikt inte heller under medeltiden när klimatet var milt. Vi kan också läsa om missväxten på 1860-talet och vi kan följa när islossningen har skett i Torneälv något som tydligt visar att vårarna var betydligt kallare än idag från slutet av 1600-talet fram till för hundra år sedan.

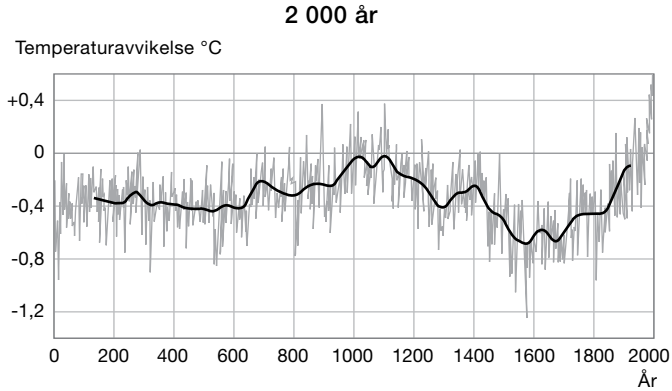


Figur 3. Temperaturutveckling i förhållande till dagens situation i Skandinavien sedan istidens slut för 10 000 år sedan. Temperaturkurvan är en sammanvägd kurva som baseras på ett flertal olika klimatproxydata. Kurvan visar att vi hade en varmperiod direkt efter istiden och att trenden därefter har varit negativ samt att vi har relativt stora temperaturfluktuationer inom korta tidsrymder. Grafen innefattar inte de senaste årens temperaturuppgång. (Efter Bradley med flera, PAGES 2002)

Återgången från den Lilla Istiden skedde i mitten av 1800-talet i Centraleuropa och i början av 1900-talet i Skandinavien. Det finns inga starka skäl att tillskriva denna återgång en ökande mänsklig aktivitet, eftersom växthusgashalterna var låga och perioden följdes av en temperatursänkning. Men detta görs tyvärr ofta indirekt genom att man illustrerar senare tids troligen mänskligt påverkade klimatförändringar med hur temperaturen har stigit sedan 1800-talets mitt.

Hockeyklubban har fått kritik

I samband med IPCC-rapporten från 2001 publicerade en grupp forskare ledda av Michael E. Mann en sammanställning av hur temperaturen på norra halvklotet har förändrats under det senaste årtusendet. Den visade en svag avkylning ända fram till



Figur 4. Temperaturutvecklingen på norra halvklotet under de senaste tvåtusen åren baserad på ett flertal olika temperaturproxyserier. Kurvan visar att klimatet var varmt under vikingatiden och tidig medeltid och att vi har en kall period därefter, den så kallade Lilla istiden. Perioden efter 1850 är baserad på registrerade mätvärden av lufttemperatur och inte uppskattningar från proxydata. (Efter Moberg med flera, Nature 2005)

för cirka 150 år sedan, när temperaturen steg nästan linjärt dramatiskt uppåt. Kurvan kallas ofta för hockeyklubban och var redan från offentliggörandet hårt kritiserad av framförallt geologer. Den stämde inte med den gängse uppfattningen av vad som hade skett, men var vid sin publicering tyvärr den enda som fanns att tillgå som grund för modellberäkningar.

Senare har väsentligen mer detaljerade och realistiska klimatkurvor publicerats för perioden, men märkligt nog är den Mannska hockeyklubban frekvent förekommande i den senaste IPCC-rapporten. Ett skäl till detta kan vara att tidigare beräkningar har gjorts med den gamla kurvan och att man vill se hur nya beräkningar skiljer sig. Detta är logiskt och försvarbart forskare emellan, men självklart oacceptabelt för en IPCC-rapport, åtminstone i delen som vänder sig politiker och opinionsbildare. Det har de också fått kritik för.

Överdriven debatt enligt geologen

Det finns en gammal välutvecklad motsättning mellan empiriker, som vill pröva allt mot verkligheten, och modellmakare som kan kokettera med att de aldrig har gjort något fältexperiment. Och så länge den motsättningen existerar finns det en förvillelse inom debatten. Empirikern kan se miljoner år tillbaka och säga att klimatet normalt kan variera

10 grader upp eller ned, och på tusenårsskalan kan man se att vi har haft dramatiska skiftningar mellan kalla och varma perioder. Nu har temperaturen stigit under de senaste decennierna på ett sätt som är anmärkningsvärt, men knappast unikt. Sett ur exempelvis en geologs perspektiv är därför debatten kring dagens klimatyttringar aningen överdriven.

För en teoretiskt inriktad atmosfärsfysiker är situationen annorlunda. Beräkningar visar entydigt att en ökning av halterna av växthusgaser i atmosfären leder till förhöjd temperatur. Det är just under de senaste decennierna som halten har nått sådana nivåer att vi kan förvänta oss en mätbar påverkan. Och vips, som på beställning har temperaturen börjat stiga. Det statistiska sambandet är klockrent, men skulle det inte kunna vara en naturlig svängning? Det går ju inte ens för den mest inbitne teoretikern att med 100 procent säkerhet säga att det vi ser idag är orsakat av mänskliga gärningar.

I IPCC-rapporten används olika grader av ordet sannolikt. När det gäller vårt nuvarande klimat slås det fast med cirka 90 procent säkerhet att detta är påverkat av mänsklig aktivitet. Högre säkerhet kan man inte nå eftersom modellerna är tämligen grova och därför att det finns en naturlig variation i klimatet. Om en ingenjör skulle göra en bedömning

att en bro med 90 procent säkerhet kan falla samman inom några årtionden så är det väldigt troligt att myndigheterna skulle vidta åtgärder omedelbart. Ingen skulle våga säga att det finns ju å andra sidan 10 procent chans att ingenting händer!

Debatten om huruvida de sena klimatförändringarna har orsakats av mänsklig aktivitet eller ej kan därmed fortgå länge eftersom svaret inte är känt. Men när debatten handlar om hur klimatet kommer att se ut om hundra år så är visserligen svaret obekant, men enligt alla beräkningar kommer temperaturen att vara förhöjd på grund av mänsklig aktivitet. Detta är inte längre särskilt kontroversiellt och därmed inte så intressant för offentliga debatter. Slutsatsen blir att eftersom vi väntar oss förhöjd temperatur och samtidigt kan uppmäta en sådan så känns det oansvarigt att inte vidta kraftåtgärder även om orsakssambandet inte är till 100 procent utrett.

Glaciärer – klimatmätinstrument som måste tolkas rätt

Glaciärer är tacksamma studieobjekt för klimatforskare. Glaciärernas form och storlek är en funktion av det rådande klimatet och de reagerar mycket kraftigt på små variationer i klimatet och ger entydiga belägg för att någonting har hänt. Det är vanligt att man illustrerar effekten av mänsklig klimatpåverkan

med hur glaciärerna har smält av. Men för svensk del utgör den i sen tid ökade avsmältningen några få procent av förändringen som uppmätts det senaste århundradet. För att tolka dessa förträffliga klimatmätinstrument korrekt krävs det att man har långa mätserier av glaciärens utveckling eftersom de ofta har responstider på femtio till hundra år och därmed i princip aldrig hinner komma i balans med en klimatsituation.

Det faktum att klimatet tidigare har varierat dramatiskt och frekvent på grund av naturliga orsaker kan svårligen ses som ett argument emot att människan kan påverka klimatet idag. På grund av föränderliga instrålningsförhållanden väntar vi exempelvis en ny nedisning inom några tiotusentals år. Det blir kallare än vad det är idag, och om cirka 70 000 år får vi en kraftfull nedisning i likhet med Weichselnedsisningens slutskede. Ovanpå dessa stora variationer finns en variabilitet som ger upphov till klimatväxlingar på kortare sikt. Det finns alltså naturliga variationer, och mänskligheten kan idag påverka klimatet. Det finns ingen motsättning mellan dessa påståenden, men båda faktorerna måste beaktas i lika grad inom forskningen. Den senaste IPCC-rapporten har tagit ett stort steg i den riktningen och rapporten har verkligen haft en kreativ effekt på forskarsamhället.

IPCC på stadig vetenskaplig grund

Forskare är regelmässigt oense. Så måste det vara för att forskningen ska gå framåt. Den dag vi lutar oss bakåt och bara njuter av vad våra kollegor kommer fram till är vi slut som forskare. Men forskare, om än fria sådana, är samtidigt vana att studera experiment inom givna förutsättningar och här finns en källa till felaktigheter, eller snarare fördröjningar i processen. Urvalet av författare inom IPCC har också kritiserats ibland. Det gäller särskilt områden som isstudier och paleoklimatologi som tidigare varit eftersatta. Men det effektiva vetenskapliga granskningssystemet tryggar att de slutsatser som till sist dras vilar på stadig vetenskaplig grund.

Oredan i den mediala klimatdebatten beror dels på att forskare arbetar med olika tidsperspektiv, dels på att forskare inte vill kopplas samman med fundamentalister som sätter tro före vetande. Det har varit väldigt lite av offentlig saklig debatt kring IPCC, vilket är synd eftersom det skulle stärka dess ställning och sannolikt bidra till bättre forskning. Men IPCC är en pågående process och jag tror att många forskare ser det som mer angeläget att påverka det fortsatta arbetet med IPCC än att debattera i medierna. Utåt sett kan det leda till misstankar om åsiktskotterier eller total oreda i kunskapsläget.

Så ligger det inte till enligt min uppfattning, och det är med stort intresse som vi nu kan följa arbetet med den femte rapporten som kommer 2013/14 och som förhoppningsvis ska lägga en ännu stabilare grund för klimatforskningen än vad den fjärde gjorde. Men det är långt till dess och inte minst av demokratiska skäl vore det önskvärt med en mer aktiv forskardebatt i medierna.

Per Holmlund är professor i glaciologi vid Stockholms universitet. Han arbetar med kopplingen mellan glaciärers och inlandsisars storleksförändringar och det föränderliga klimatet. Med polarområdena och jordens bergsområden som fältarbetsplats arbetar han både med de långa tidsperspektiven och med vad som sker med isarna idag. Han har medverkat som granskare av IPCC:s utvärderingsrapport 2007.

Solfläcksbilden av solen är föråldrad

Solens strålning driver klimatet på jorden. Men solen är ingen vit skiva 150 miljoner kilometer bort, och antalet solfläckar ger ingen bra bild av solens aktivitet. Henrik Lundstedt målar upp en mer dynamisk bild av en aktiv koronasol med solutbrott och solvindar som påverkar klimatet på jorden på en rad olika sätt. Så länge IPCC-forskarna drar sina slutsatser utifrån den föråldrade solfläcksbilden av solen kan de inte säga att de vet hur solen inverkar på jordens klimat, skriver han.

Henrik Lundstedt, Institutet för rymdfysik i Lund.

En solforskares bidrag till klimatdebatten är att ge den djupaste och senaste bilden av hur solen varierar fysikaliskt och matematiskt. På samma sätt bör de andra naturvetenskapliga disciplinerna bidra med sin expertkunskap. Bara om sedan de olika disciplinerna samarbetar kan vi komma fram till en bättre förståelse av jordens klimat och hur det förändras. Bara då kan vi också förstå människans respektive naturens inverkan på klimatet. Låt mig därför beskriva den nya bilden av solen och dess aktivitet som växt fram under de senaste åren. Denna bild står i stark kontrast till den föråldrade bild som allmänt används i klimatdebatten, bland andra av IPCC. Den nya bilden kallar jag *koronasolen*. Den föråldrade bilden kallar jag *solfläckssolen*.

IPCC skrev i sin fjärde utvärderingsrapport 2007 att ändringar i solens instrålning har gett en tydlig men mycket begränsad uppvärmningseffekt under den tid som människans klimatpåverkan har vuxit. IPCC anger att de människoskapade växthusgaserna sedan 1750 har gett en uppvärmningseffekt på cirka 2,3 watt per kvadratmeter jordyta, medan förändringar i solens instrålning sedan 1750 har gett ungefär 0,12 watt per kvadratmeter.

Men IPCC-forskarna kan inte säga att de vet hur solen inverkar om de använder en felaktig bild av solen.

Som solforskare med över trettio års internationell erfarenhet vet jag att vi inte vet än hur solen fungerar, men att vi snart kommer att göra stora genombrott. IPCC har alltså inte beskrivit solens inverkan på klimatet korrekt. IPCC tar bara fram solens inverkan genom den totala utstrålningen, och talar om en elvaårig solfläckscykels maximum och minimum. Det talas om en temperaturvariation på jorden på 0,2 grader mellan den högsta och lägsta utstrålningen. Den uppgiften bygger på mycket svåra sammanställningar av många olika datauppsättningar. Vi solforskare ifrågasätter idag om vi verkligen begriper solfläckscykelns variation.

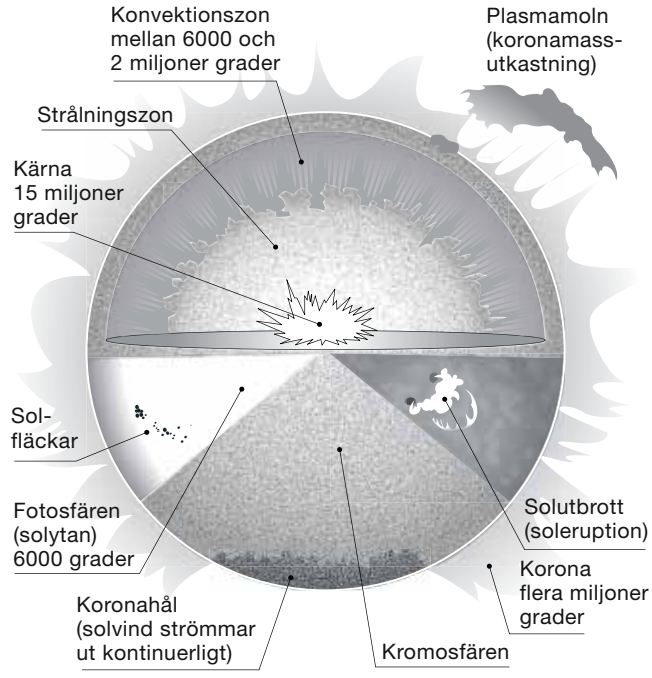
Solen – joniserad gasboll som driver jorden

Solen är rakt igenom en joniserad gasboll (plasmaboll). I dess inre är temperaturen hela 15 miljoner grader (se figur). Energin skapas genom fusion då vätekärnor slås samman till helium. Energin transporteras först genom strålning, upp till ungefär sju tiondelar av solradien. Sedan blir det mera effektivt att transportera energin genom konvektion. Temperaturen har nu sjunkit till 2 miljoner grader, och i gränsskiktet mellan strålnings- och konvektionszonen tänker vi oss att solens magnetiska fält bildas och solens globala dynamo verkar.

När vi kommer till fotosfären eller solytan som vi ser med blotta ögat, har temperaturen sjunkit till omkring 6 000 grader. Det är från fotosfären som det synliga solljuset kommer. Efter att temperaturen nått ett minimum på runt 4 300 grader börjar temperaturen stiga i kromosfären för att nå flera miljoner grader i koronan. Det är i koronan som kolossala plasmamoln kastas ut (koronamassutkastningar), intensiva strålningsutbrott sker (soleruptioner) och en kontinuerlig solvind strömmar ut från koronahål. Just på grund av koronans höga temperatur och låga täthet kan inte solens gravitation hålla kvar koronan. Den expanderar och vi får en solvind. Eftersom solvinden är ett plasma drar den också med sig magnetfältet från solen. Jorden och alla de andra planeterna ligger inuti solens yttersta expanderande atmosfär och utsättas för intensiv strålning i samband med soleruptioner, energirika protoner i samband med koronamassutkastningar och snabb solvind i samband med koronahål.

Solfläckssolen – en gammal historia

I den föråldrade bilden av solen, solfläcksbilden, beskrivs solens aktivitet och dess möjlighet till inverkan på klimatet utifrån antalet solfläckar, och solen betraktas som en *vit solskiva som ligger 150 miljoner kilometer från jorden.*



Solens temperatur varierar kraftigt inifrån kärnan där det är 15 miljoner grader, ut genom zoner där det är bara några tusentals grader, för att i koronan längst ut stiga till flera miljoner grader igen. Solens gravitation kan inte hålla kvar koronan, som expanderar och ger upphov till en solvind. Jorden och de andra planeterna ligger inuti solens yttersta expanderande atmosfär.

Solfläckar har observerats i flera tusen år. Det är områden på solens yta (fotosfären) som är mörka på grund av lägre temperatur, vilket i sin tur orsakats av starka magnetfält. På 1600-talet började man observera dem

med teleskop. Galileo var en av de första år 1609 (därav Internationella astronomiåret 2009). I mitten av 1800-talet upptäckte Heinrich Schwabe att antalet solfläckar varierar ungefär med en elvaårscykel. Därefter har man statistiskt korrelerat det mesta med solfläckscykeln, bland annat klimatets variation.

Edmund Maunder noterade att inte enbart solfläckscyklernas längd varierar utan även deras styrka. Under perioden 1645–1715 verkade solen helt sakna solfläckar. Jack Eddy lyckades med hjälp av kol 14-mätningar härleda solfläcksaktiviteten 5 000 år tillbaka. Han kunde då påvisa perioder med väldigt låg aktivitet (Maunderminima, som under Lilla istiden på 1600/1700-talet) och andra med mycket hög aktivitet (Grand maxima, som under medeltiden och under de senaste 40 åren). Dessa perioder av låg respektive hög aktivitet har sammanfallit med låg respektive hög global temperatur. Men vi behöver en fysikalisk och matematisk förklaring.

Detaljstudier av solfläckar visar att de är sekundära effekter av soldynamon. Antalet solfläckar ger alltså inte en så bra bild av solens cykelaktivitet. Inom en internationell panel som kallas Cycle 24 Prediction Panel har vi försökt förutsäga nästa solfläckscykel. Svårigheterna att göra det tolkar jag som att solfläckstalet inte är en bra indikator på solens aktivitet. Under avtagandefasen av cykel 23, och därmed med

låg solaktivitet, har vi också haft kraftiga solutbrott. Mycket intressant är också att de kraftigaste kända solutbrotten i september 1859 (Carringtonhändelsen) inträffade under en medioker solfläckscykel.

Koronasolen gör samhället sårbart

Solfläcksbilden ger en statisk bild av solen. Rymdobservationer av solens korona ger däremot en bild av ständig aktivitet. Vi ser hur hela solkoronan är förbunden med magnetfält, och hur energi frigörs hela tiden. En helt ny bild av solen (koronasolen) börjar växa fram, mycket också beroende på behovet av prognoser av solens utbrott och dess inverkan på jordens tekniska system. I denna koronasolbild beskrivs solens aktivitet utifrån *solfenomen i koronan (koronamassutkastningar, solutbrott och solvindar ur koronahål)*, och jorden befinner sig inuti solens yttersta atmosfär koronan.

Med samhällets allt större beroende av högteknologi och stora nätverk av el- och gasledningar har vi fått upp ögonen för samhällets sårbarhet på grund av solens utbrott. Stora internationella forskningsprogram har initierats. År 1996 bildades International Space Environment Service (ISES). Mycket intressant är att ISES och den meteorologiska världsorganisationen WMO tagit kontakt för diskussioner och framtida samarbete.

Idag finns det tolv Regional Warning Centers i världen (RWC-Sweden ligger i Lund). Dessa RWC ger information om solens väder, rymdvädret och prognoser. Om det sker kraftiga utbrott på solen gör man inte flygningar över polerna eftersom kommunikationen mellan pilot och markstationer bryts. Elkraftbolag ändrar på energidistributionen vid kraftiga sol- och jordmagnetiska stormar för att undvika elavbrott. Uppskjutningar av satelliter senareläggs. Solvädrets och rymdvädrets effekter är idag mycket påtagliga och reella. Vi har insett att vi måste lära oss att leva med solen. Med varningar och prognoser behöver inga katastrofer inträffa.

Solens inverkan på vädersystem och klimat

Solens totala utstrålning från solytan driver klimatet på jorden. Utan solen skulle det inte finnas några vindar eller havsströmmar överhuvudtaget. Den totala solstrålningen som träffar jordens atmosfär är drygt 340 watt per kvadratmeter. Det ska jämföras med de 0,12 watt per kvadratmeter som IPCC anser att förändringar i solens instrålning sedan 1750 har bidragit med till jordens uppvärmning, och de 2,3 watt per kvadratmeter som IPCC anser att tillskottet av växthusgaser sedan den industriella revolutionen bidrar med. Frågan är hur man med någon säkerhet kan uppskatta dessa låga värden.

Intressant i sammanhanget är att titta på hur temperaturförhållanden på jorden samvarierar med solens aktivitet och vädersystemfaktorer som har med solen att göra. För att fysikaliskt och matematiskt kunna förstå solens föränderliga inverkan och inte enbart beskriva den, försöker vi finna en direkt inverkan av solfenomenen. Solen kan inverka på vädersystemen på jorden både direkt och indirekt. Snabba koronamassutkastningar producerar energirika protoner som inverkar på atmosfärens kväveoxider och därmed ozonhalten i stratosfären. Solutbrott ger kraftig UV-, extrem UV- (EUV) och röntgenstrålning som direkt inverkar på stratosfären. Både koronamassutkastningar och solvinden inverkar genom plasmat och magnetfältet direkt på jordens magnetosfär och jonosfär.

I början av 1980-talet visade jag hur snabba solvindar kan inverka på stormaktiviteten på jorden via det atmosfäriska elektriska fältet mellan jordytan och jonosfären. En annan indikator på stormaktivitet är Nordatlantiska oscillationen (NAO), som beskriver ett tryckmönster som bestämmer antalet stormar samt vindarnas och stormarnas riktning in över Europa från Atlanten. Ett NAO-index beräknas ur skillnaden i lufttryck vid havsytan vid Island och Azorerna. Över Island ligger ett centrum med lågt tryck, och över Azorerna finns ett centrum med högt

tryck. De vintrar då skillnaden i lufttryck är stor blir det fler och starkare vinterstormar på en mer nordlig bana över Atlanten. Det gör att vintern i Europa blir varm och våt. De vintrar som skillnaden är mindre får vi kalla och torra vintrar.

Som tidigare nämnts rådde det mycket låg solaktivitet under Maunderminimum, en del av Lilla istiden. Vi borde alltså ha haft låg UV-strålning under Maunderminimum. Drew Shindell vid NASA har kunnat visa att denna låga UV-strålning påverkade ozonhalten, något som i sin tur ledde till lågt NAO-index och därmed lägre temperatur i Nordeuropa. Shindells klimatmodeller har visat att vintertemperaturen i Nordeuropa minskade med hela 1,5 grader under Maunderminimum, och för hela jorden med cirka 0,4 grader. Under Grand maximum (1100–1250) förekom det kraftiga solutbrott och koronamassutkastningar.

Vid Institutet för rymdfysik i Lund har vi också kunnat visa att även solplasmat, solvinden, kan påverka atmosfärsförhållanden och NAO. Vi har nämligen kunnat påvisa ett starkt samband mellan solvindens elektriska fält och NAO. Relationen är som starkast under vintermånaderna och efter en månads fördröjning. Denna fördröjning skulle kunna förklaras utifrån att kraftiga variationer i den stratosfäriska

cirkulationen kan fortplantas ner genom troposfären och att förloppet tar mellan 15 och 50 dagar, som ett par forskare har observerat. Från att ha varit kraftigt positiv mestadels sedan 1970 har NAO nu åter minskat.

Intressant är också att den höga globala temperaturen 1998 respektive låga temperaturen 2008 förknippats med havsströmmarna El Niño respektive La Niña. Dessutom förväntas Norra Stillahavsströmmens vändning 2008 (Pacific decadal oscillation, PDO) leda till svalare förhållanden. El Niño/La Niña-faserna varar 1–2 år. PDO-fasen däremot varar 20–30 år. Den tyske klimatforskaren Noel Keelyside förutsäger därför att den 0,3 graders globala temperaturhöjning som IPCC förutsagt till nästa årtionde inte kommer att ske.

Inverkan via kosmisk strålning

Utöver de av solens direkta och indirekta effekter på jordens klimat som redan har nämnts kan det också finnas en indirekt solpåverkan via inflödet av kosmisk strålning. Ju mer aktiv solen är, desto mindre kosmisk strålning (energirika partiklar) träffar nämligen jorden. Den danske forskaren Henrik Svensmark har visat att den kosmiska strålningens variation kan leda till klimatpåverkan genom förändring av jordens molntäckning. Ju mer kosmisk strålning och därmed fler partiklar, desto fler kondensationskärnor finns

det för molnbildningen. Resultatet har debatterats mycket. Molnbildningen och förändringen av fördelningen av moln är något vi inte vet tillräckligt mycket om, men betydelsen för klimatets förändring kan vara stor.

Vid hög solaktivitet hindras alltså den kosmiska strålningen att tränga in atmosfären. Svensmark och hans grupp tänker sig att det i sin tur leder till minskad molnbildning på lägre höjd och därmed högre temperatur. Vid låg solaktivitet blir det tvärtom: mer kosmisk strålning, mer låga moln och därmed lägre temperatur. Den norske klimatforskaren Rasmus Benestad menar också att det inte är omöjligt att det är via molnen som solen kan inverka på Nordatlantiska oscillationen.

Slut på Grand maximum

Solkoronaaktiviteten har varit väldigt hög sedan början av 1970-talet. Däremot började den avta vid mitten av 1990-talet. Rymdsonden Ulysses har observerat en 20-procentig minskning av solvindstrycket sedan mitten av 90-talet. UV-strålningen har minskat med 6 procent sedan 1996, och solkoronans magnetfält har minskat med över 30 procent. Det moderna Grand maximum verkar alltså ha avslutats och solens värmande inflytande generellt kommer att minska. Däremot kan vi komma att få enskilda

kraftiga solutbrott, till och med supersolstormar som under Carringtonhändelsen.

Rymdsonden Solar Dynamics Observatory (SDO) skjuts upp i slutet av 2009. Med hjälp av den kommer vi för första gången att kunna observera hela solen hela tiden. Solforskarna är alltså på gång att kontinuerligt kunna observera den nya koronasolen. Det kommer att behövas för att vi riktigt ska kunna börja förstå solens inverkan på bland annat jordens klimat. Kopplingen mellan sol och klimat är en fantastisk vetenskaplig utmaning!

Henrik Lundstedt är docent vid Institutet för rymdfysik i Lund. Han ingår i Solar Dynamics Observatory (SDO) Science Team. Han har ett samarbete med solgruppen vid Stanford University i Kalifornien sedan många år och har lett flera sol- och rymdvädersprojekt inom Europeiska rymdorganisationen ESA (European Space Agency). Han deltog i ESA-projektet Influences of Solar Cycles on Earth's Climate.

Bredda klimatåtgärderna till sotpartiklar!

Globala utsläpp av partiklar har stor påverkan på klimatet – både uppvärmande svarta sotpartiklar och avkylande vita partiklar. Sotpartiklarnas bidrag till uppvärmningen motsvarar drygt hälften av människans koldioxidutsläpp. Att ersätta biobränslen för matlagning i tropikerna med annan teknik kan vara den effektivaste åtgärden att minska klimatuppvärmningen, skriver Örjan Gustafsson. Partiklar måste inkluderas i kommande klimatavtal, och utvecklade länder måste förstå att de tjänar på att medfinansiera åtgärder i utvecklingsländer.

Foto Oraxis foto/Mia Åkermark

Örjan Gustafsson, Institutionen för tillämpad miljövetenskap och Bert Bolin Centre for Climate Research, Stockholms Universitet.

I luften finns det olika typer av partiklar, så kallade aerosoler, som beroende på sin sammansättning kan ha antingen uppvärmade eller avkylande effekter på klimatet. Något förenklat kan man säga att svarta/mörka partiklar värmer upp luften och vita/ljusa partiklar kyler av den. Forskning under de senaste åren har visat att svarta sotpartiklar orsakar motsvarande hälften av den globala klimatuppvärmning som koldioxiden står för. Sotpartiklarna utgör därför en rejäl möjlighet att begränsa vår klimatpåverkan. Det är inte bara enklare att minska utsläppen av sotpartiklar än av koldioxid, en minskning skulle också få en mycket snabbare effekt eftersom sotpartiklarnas livslängd i atmosfären bara är ett par veckor jämfört med hundratals år för koldioxiden.

Små svarta sotpartiklar släpps ut i atmosfären från ofullständig förbränning av både fossila bränslen (till exempel fordonstrafik och kolkraftverk) och biobränslen (till exempel ved och djurspillning som bränsle i hushållen), samt från öppna eldar och bränder i skog och på savanner samt avbränning av överblivna jordbruksprodukter och av åkrar efter skörd, så kallat svedjebruk.

Det är stora skillnader mellan olika regioner i världen när det gäller hur mycket sot och från vilka källor utsläppen kommer. Information om utsläppskällor och utsläppens storlek är viktig för att samhället

ska kunna fatta effektiva beslut om vilka åtgärder som bör sättas in för att begränsa utsläppen. De bästa globala uppskattningarna om sotutsläpp pekar på att slutna förbränningsprocesser av fossil- och biobränslen står för 60 procent av utsläppen medan öppna eldar och bränder står för resten. Utvecklingsländer i tropikerna, främst Indien och Kina, står för 75 procent av de globala utsläppen av sotpartiklar med förbränning av biomassa/biobränsle som den viktigaste källan.

FN:s klimatpanel IPCC och internationella klimatavtal som Kyotoprotokollet har hittills inte uppmärksammat partiklarnas klimateffekt i tillräckligt hög grad. Kanske beror det på att sot och andra luftpartiklar är något av klimatdebattens ”Svarte Petter”. IPCC pekar ut partiklar som en av de största osäkerheterna i vår förståelse av klimatet och därmed vår förmåga att förutsäga det framtida klimatet.

Svarta och vita partiklar har helt olika effekt

Det finns flera egenskaper som påverkar luftpartiklarnas effekt på klimatet. Till skillnad från växthusgaser som koldioxid är uppehållstiden för partiklarna mycket kortare innan de tvättas ur atmosfären och/eller faller ner till jordytan. Det gör att halten av luftpartiklar kan variera mycket mellan olika platser på jordklotet och även mellan olika höjder i atmosfären.

Dessutom har alltså olika sorters partiklar olika effekt. Svarta partiklar som till exempel sot värms upp av solstrålarna, vilket leder till ökad lufttemperatur. Men sotpartiklarna fungerar också som ett slags solglasögon för jorden och minskar solinstrålningen till markytan. Den uppvärmande effekten är större än den avkylande. Den sammanlagda effekten gör att utsläpp av sotpartiklar står för det viktigaste bidraget efter koldioxid till den av människan förorsakade klimatuppvärmningen.

Andra partiklar är mer vita, bland annat de som bildas av svavelutsläpp från förbränning av brunkol i hushåll och kraftverk, och vid vulkanutbrott. Det leder till att solstrålarna reflekteras tillbaka ut i rymden. De vita partiklarna ger därför en avkylning av jordklotet jämfört med om de inte hade släppts ut. Här finns ett moraliskt dilemma eftersom även dessa partiklar bidrar till ett stort hälsoproblem. Ska deras utsläpp begränsas för att de påverkar hälsan eller behållas under en period för att de begränsar den faktiska temperaturökningen?

Dessutom spelar det roll hur stora partiklarna är och vilka andra slags partiklar som ingår i ”partikelsoppan” över olika platser. Men att det är något mera komplicerat att förstå luftpartiklarnas klimateffekter kan naturligtvis inte tas som ursäkt för att inte beakta och

om möjligt begränsa deras negativa effekter på klimatet. Vi måste vända på alla stenar för att hitta möjligheter att begränsa risken för de allvarliga konsekvenser som en storskalig klimatuppvärmning för med sig.

Strålningseffekter av partiklar och växthusgaser

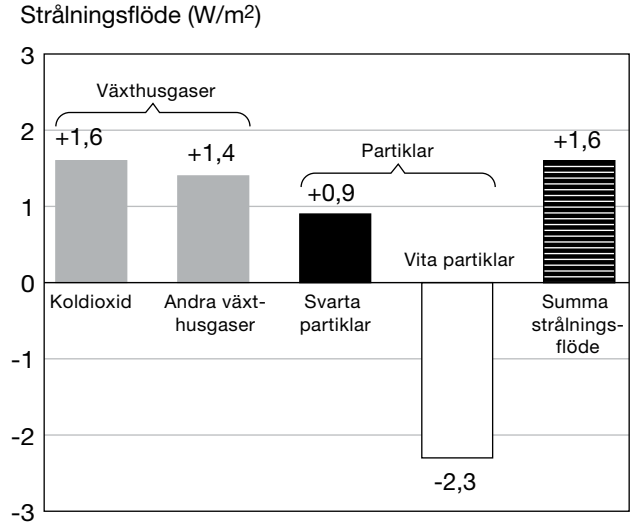
Sotpartiklar påverkar klimatet genom delvis andra mekanismer än koldioxid, men deras sammanlagda effekter kan ändå jämföras. Av människan förorsakad klimatuppvärmning rapporteras oftast som den förändring som skett i strålningsflödet (watt per kvadratmeter) högst upp i atmosfären sedan förindustriell tid. En förändring kan alltså antingen leda till en klimatuppvärmande effekt (positivt strålningsflöde) eller till en klimatavkylande effekt (negativt strålningsflöde). Strålningsflödet från människoskapad koldioxid är för närvarande 1,6 watt per kvadratmeter (figur på nästa uppslag), vilket motsvarar en möjlig höjning av den genomsnittliga globala temperaturen med cirka 1,4 grader. Övriga växthusgaser ger sammanlagt en ytterligare uppvärmande effekt av 1,4 watt per kvadratmeter, vilket ger en total uppvärmning från växthusgaser på 3 watt per kvadratmeter. Om vi tänker oss 60 watts glödlampor så motsvarar detta alltså en glödlampa för varje 20 kvadratmeter ruta av jordytan. Det innebär att våra utsläpp av växthusgaser ger samma uppvärmning som 25 biljoner glödlampor som är tända dag och natt.

Sotpartiklar leder till en uppvärmning av atmosfären om 2,6 watt per kvadratmeter och ett avkylande (genom ”solglasögonens skuggningseffekt”) strålningsflöde vid jordytan om –1,7 watt per kvadratmeter, alltså en sammantagen uppvärmning på cirka 0,9 watt per kvadratmeter (se figur). Strålningseffekten av de vita luftpartiklarna är sammantaget avkylande och av storleken –2,3 watt per kvadratmeter. Den sammanlagda effekten av luftpartiklar är alltså en avkylande effekt som för närvarande maskerar cirka hälften av den klimatuppvärmning som vi egentligen ”förtjänar” på grund av de växthusgasutsläpp som redan har skett. Här finns det idag en osäkerhet om hur stor denna motverkande maskeringseffekt av luftpartiklar verkligen är. Luftpartiklarna bedöms maskera mellan en och tre fjärdedelar av den uppvärmning som växthusgaser skulle ge om det inte fanns några luftpartiklar.

Sotpartiklar och bruna stoftmoln

Alla som har besökt länder som Indien och Kina har upplevt hur luften kan vara fylld av ett gråbrunt töcken. Den fräna lukten från de tiotals miljoner öppna eldar som tänds varje dag blandas med utsläppen från trafiken och begränsar sikten. Möjligheten för solljus att tränga igenom atmosfärens tunna skikt begränsas på samma sätt.

Effekter på strålningsbalans av växthusgaser och partiklar



Den totala uppvärmningen från koldioxid och andra växthusgaser är cirka 3 watt per kvadratmeter. Svarta partiklar ger en uppvärmning på 0,9 watt per kvadratmeter, medan vita partiklar kyler –2,3 watt per kvadratmeter. Sammantaget maskerar luftpartiklar cirka hälften av den klimatuppvärmning som vi egentligen ”förtjänar”.

Väl ute i luften blandas sotpartiklar med andra utsläpp som sulfater, nitrater, organiskt material och uppvirvlat markstoft och bildar så kallade bruna stoftmoln. Diverse mätkampanjer med både markbaserad utrustning och satelliter har visat på en global utbredning av sådana sotinnehållande bruna

stoftmoln, men utvecklingsländer i tropikerna är värst drabbade. Eftersom det också är i dessa områden som solen lyser som starkast så blir uppvärmningseffekten från sot i atmosfären extra stor här. Tre miljarder människor beräknas leva under direkt påverkan av bruna stoftmoln.

Mörka glaciärer smälter fortare

En annan oroande effekt av sotpartiklarna i de gigantiska bruna stoftmolnen över Asien är deras bidrag till den pågående avsmältningen av många glaciärer i Himalaya. Avsmältningen beror på sotets uppvärmning av luften över regionen och förmodligen också på nedfallet av sot på glaciärerna. Sotpartiklarna finns från marknivån upp till cirka 4 kilometers höjd. När detta sotuppvärmda luftpaket sveper in över Himalaya så leder det till en accelererad avsmältning av snö och is. ”Sotsmuts” på snö- och isytan gör dessutom marken mörkare så att reflektionsförmågan (albedot) minskar. Eftersom mörka ytor värms upp mer än ljusa så leder sot i snö också till ökad avsmältning.

Himalayas glaciärer bidrar till att jämna ut vattenflödet i de stora floderna som försörjer uppemot 2 miljarder människor med färskvatten. Om glaciärerna skulle bli väsentligt färre och mindre riskerar floderna att torka ut under den varma och torra

förmonsunperioden i april–juni något som kan få svåra konsekvenser för befolkningen i floddalarna. En liknande effekt på albedot har rapporterats från Arktis. När sotet faller ner på snö- och isytor i Arktis leder det till uppvärmningoch därmed avsmältning. Mer smältvatten i ytvattnet i Arktiska oceanen kan också förhindra att djupvatten bildas i Arktis, eftersom ytvattnet blir mindre salt och får mindre densitet än det saltare vattnet längre ner. Djupvattenbildningen är en viktig process för hela den globala havscirkulationen.

En annan allvarlig klimateffekt av sotpartiklarna är att de tros påverka vattnets kretslopp. Minskad avdunstning från den sotbeskuggade och därmed svalare Indiska oceanen leder till minskade monsunregn i Indien. I Kina relaterar man en sydnordlig förskjutning av var det regnar till de sotrika stoftmolnen.

Vi kan köpa oss tid

Sotpartiklar har utan tvivel en stor del i den av människan skapade klimatuppvärmningen. I Kyotoprotokollet från 1997 fanns sotpartiklar inte med. I framtida klimatavtal behöver man hitta nya kreativa lösningar för att få med även de klimatpåverkande ämnen som jämfört med koldioxid är kortlivade och inte väl blandade i atmosfären.

Dessa kortlivade klimatpåverkare är en möjlighet för oss att ”köpa tid” för att undvika stora klimateffekter eftersom en begränsning av deras utsläpp snabbare skulle minska eller åtminstone fördröja klimatuppvärmningen. En sådan klimatmotiverad minskning av sotpartikelutsläpp skulle föra med sig ett antal positiva bonuseffekter, bland annat förbättrad luftkvalitet och därmed en minskning av luftvägssjukdomar och hjärtkärlsjukdomar. Världshälsoorganisationen WHO uppskattar att över en halv miljon människor dör i förtid varje år bara i Indien på grund av sotinnehållande partikelutsläpp.

Måttstock för kostnadseffektiva utsläppsbegränsningar

För att möjliggöra jämförelser mellan utsläppsbegränsningar av sotpartiklar och växthusgaser har man uppskattat en så kallad global uppvärmningspotential (global warming potential, GWP) för sotpartiklar. GWP-skalan är relativ och alla andra substansers klimatpåverkan jämförs med koldioxid vars GWP är satt till 1. En kolatom i en sotpartikel bedöms ha en GWP i trakten av 2 200 (osäkerhetsintervall 700–4700) över en tjugoårsperiod. Osäkerheterna i sotpartiklars GWP beror på att sotpartiklar påverkar klimatet på mer komplicerade sätt än vad koldioxid gör. GWP-skalan i sig är ifrågasatt som en gemensam måttstock för både långlivade och

kortlivade klimatpåverkare. Hursomhelst, med ett GWP-värde för sotpartiklar kan man börja utvärdera vilka utsläppsåtgärder som är effektivare än utsläppsbegränsningar för koldioxid. En svaghet i metoden är att den inte tar med de extra effekter som sotpartikelutsläpp har på till exempel avsmältningen av is och snö samt på människors hälsa. Denna (för låga) GWP för sotpartiklar är ändå en startpunkt för att utvärdera kostnadseffektiviteten hos olika åtgärdsalternativ.

Småskaliga förbränningssystem är ofta mer förorenande eftersom stora system vanligtvis har högre förbränningseffektivitet och rökgasrening. Det är inte längre lika kostnadseffektivt att angripa kolkraftverk och bilmotorer för att åstadkomma en minskning av sotutsläppen. Utsläppsberäkningar visar att dieselmotorer som inte har senaste reningstekniken, ved för uppvärmning och matlagning samt svedjebruk i utvecklingsländer kan vara de mest effektiva källorna att åtgärda för att minska klimatpåverkan från sotutsläpp. Genom att kombinera GWP med de kostnader det skulle innebära att begränsa sotutsläppen från olika källor (genom reningsteknik eller byte av energikälla) kan man jämföra kostnadseffektiviteten för olika alternativ.

Sotfri matlagningsteknik – ekonomiskt försvarbart

Fler än 3 miljarder människor lagar mat över öppna eldar av bränsle som ved, djurspillning, kolbriketter och brunkol. Förbränningseffektiviteten är ofta låg vilket medför höga utsläpp av många ämnen, inklusive sotpartiklar.

Det finns alternativa lågteknologiska lösningar. Sotutsläppen kan begränsas genom att gå över till biogas, slutna pelletugnar och solugnar. Det finns redan exempel på framgångsrika sådana projekt i både Indien och Kina. Det har uppskattats att åtgärdskostnaderna för denna matlagning (med tanke bara på den direkta klimateffekten) över ett tjugoårigt perspektiv är 2–90 kronor per ton koldioxidekvivalenter för vedbränsle och 1–16 kronor för brunkol. Med priser på utsläppsrättigheter för koldioxid på över 100 kronor per ton koldioxidekvivalenter skulle länder i exempelvis Europa känna sig relativt säkra på att en investering i teknik för renare matlagningsbränslen i södra och östra Asien skulle vara ekonomiskt försvarbart redan baserat på den direkta klimateffekten. En klimatmodelleringsstudie har visat att om man lyckas gå över till sotfri matlagningsteknik i Indien skulle det innebära en mer än 60-procentig minskning av sotpartikelbelastningen över södra Asien.

Internationellt partnerskap för minskade sotutsläpp

Det finns många anledningar att begränsa sotutsläppen. Den största omedelbara motivationen för utvecklingsländerna är kanske den förbättrade folkhälsan, medan utvecklade länder har intresse av att medfinansiera dessa åtgärder främst baserat på den globala klimatsituationen.

Många studier visar nu att:

- sotpartiklar står för en klimatuppvärmning som motsvarar ungefär häften av den uppvärmning som beror på människans utsläpp av koldioxid
- de största sotutsläppen kommer från småskalig biobränsleeldning i tropikerna
- i tropikerna kan begränsning av sotutsläppen från hushållens användning av biobränslen för matlagning vara den effektivaste åtgärden för att minska klimatuppvärmningen.

Även om det vore högst önskvärt att sotpartiklar inkluderas i kommande internationella klimatavtal så bör det samtidigt sökas efter ett sätt att i det internationella samarbetet ta ett bredare samlat grepp på de många effekter som sotpartiklar har på hälsa, klimat och utveckling. En sådan analys lär leda till slutsatsen att sotet ska väck.

Örjan Gustafsson är professor på Institutionen för Tillämpad Miljövetenskap (ITM) och Bert Bolin Centre for Climate Research, Stockholms Universitet. Hans forskargrupp studerar bland annat kopplingarna mellan klimatet och det storskaliga kolkretsloppet. Han driver när detta skrivs ett Formasprojekt som syftar till att bestämma källorna av sotpartiklar i stoftmolnet över södra Asien med hjälp av kol 14-datering.

Okritiskt datafiske bakom kritik mot IPCC

Klimatet har varierat kraftigt förr, så varför skulle dagens situation vara speciell? Solen måste väl ändå betyda mer än mänsklig klimatpåverkan! Det här är två av flera påståenden som Eigil Kaas tar itu med. Han skiljer på återkopplingar och klimatfaktorer som påverkar primärt. Storleken på tidigare klimatvariationer berodde mest på återkopplingar. Naturliga faktorer som solens styrka och svängningar i jordens bana runt solen har nämligen rätt liten direkt effekt. Dagens trend med stigande temperatur beror på klimatpåverkande faktorer som människan har skapat.

Eigil Kaas, Niels Bohr Institutet, Köpenhamns universitet.

Av den allmänna debatten får man ibland intrycket att pågående och framtida klimatförändringar är mycket mer ovissa och kontroversiella än vad som uppges av en stor majoritet klimatforskare i till exempel IPCC-rapporterna. Men större delen av kritiken mot IPCC är grundad på bristande förståelse eller ovilja att acceptera klimatsystemets fysik, eller på okritisk användning av olika datakällor. Ett antal påståenden har dykt upp i debatten. Det finns inte utrymme att bemöta alla här så jag har valt ut några få som verkar vara ganska seglivade.

Påstående 1. Klimatet har varierat kraftigt tidigare. Varför skulle då människoskapade klimatförändringar vara ett problem?

Det är helt sant att klimatet har varierat kraftigt förr i tiden. Det har funnits både mycket varmare och mycket kallare perioder än i dag, och vi vet varför klimatet förändrades. Det är bara två faktorer som bidrar till det långsiktiga globala medelklimatet, nämligen mängden solstrålning som absorberas av planeten och förändringar i växthuseffektens styrka. Det finns både naturliga och människoskapade klimatfaktorer.

Ett antal *naturliga klimatpåverkande faktorer* utlöste variationer i klimatet förr i tiden, till exempel förändringar av solens ljusstyrka och svängningar i jordens

bana runt solen. De direkta värmande eller kylande effekterna av dessa faktorer är ganska små. Men tidigare klimatförändringar kunde ändå bli stora eftersom ett antal återkopplingsmekanismer var verksamma. Sådana återkopplingar förstärker de initiala rubbningarna och leder till ytterligare förändringar både i mängden absorberad solstrålning och i växthuseffektens storlek.

Ett exempel är de istidsväxlingar (istider och mellanistider) som har karakteriserat jordens klimat under de senaste en till två miljoner åren. De flesta forskare är överens om att variationer i jordens bana runt solen orsakade små variationer i hur solstrålningen varierade, och att dessa variationer sedan förstärktes kraftigt av minst fyra samverkande återkopplingar: isens albedo (reflektionsförmåga), vattenånga, koldioxid (CO_2) och metan (CH_4). Säg att det var istid och att en förändring i solens ljusstyrka hade orsakat en liten inledande uppvärmning. Det medförde att det blev mindre is och snö på jordens yta, som då blev mörkare. Reflektionen från jorden blev då mindre, mer solstrålning absorberades och jorden blev ännu varmare. När klimatet blev lite varmare kunde atmosfären hålla mer vattenånga. Det medförde ökad växthuseffekt eftersom vattenånga är den dominerande växthusgasen. I ett varmare klimat frigjordes mer koldioxid ur haven. Därmed blev det mer koldioxid

i atmosfären, och växthuseffekten ökade ytterligare. I ett lite varmare klimat frisattes också mer metan från mark och havsbottnar, med följden att det blev mer av den kraftfulla växthusgasen metan i atmosfären. Den initiala lilla uppvärmningen förstärktes alltså av dessa fyra positiva återkopplingar så att det blev en kraftigare uppvärmning.

Säg istället att det var mellanistid och att en naturlig klimatpåverkande faktor verkade i motsatt riktning så att det initialt skedde en nedkylning. I det läget uppstod det också en förstärkande återkoppling, men då åt andra hållet så att mindre solstrålning absorberades och mängden växthusgaser minskade. I det här fallet var det istället den initiala nedkylningen som förstärktes och blev kraftigare av de fyra återkopplingarna.

Människans aktiviteter leder till stora utsläpp av koldioxid och andra gaser och partiklar. Dessa är *människoskapade klimatpåverkande faktorer*. Medan koldioxid fungerade som en viktig återkoppling under istiderna är alltså människans utsläpp av denna gas en klimatpåverkande faktor, och inte en återkoppling. Det som händer är att kol som legat djupt nere i marken under miljontals år plötsligt finns kringspridd i atmosfären. Detta leder till förändringar i den naturliga kolcykeln, med biologiska, kemiska

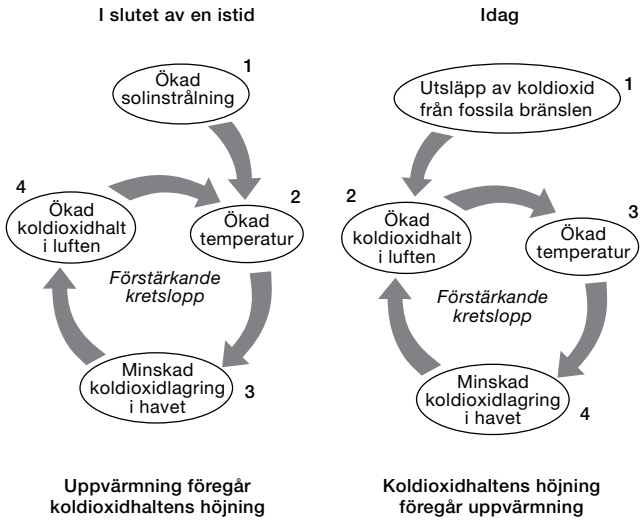
och fysiska processer i atmosfären, i haven och på landytorna. Den nuvarande ökningen av människans utsläpp är viktig eftersom den är ganska stor, även jämfört med variationerna hos naturliga klimatpåverkande faktorer och återkopplingar under de senaste årmiljonerna.

Påstående 2. Temperaturen styr koldioxidhalten – inte tvärtom.

Variationerna i koldioxidkoncentration verkar ha släpat efter temperaturvariationerna under istidsväxlingarna, det vill säga först ändrades temperaturen genom ändrad solinstrålning, och kanske tusen år senare ändrades koldioxidhalten. Därför hävdar klimatskeptikerna att ökad koldioxidhalt måste vara en följd av klimatförändringar, och inte en faktor som påverkar dem. Detta kan vara riktigt när vi talar om istider (även om storleken på eftersläpningen är ganska oklar). Problemet är att detta har använts för att hävda att människans koldioxidutsläpp är obetydliga för klimatförändringen idag.

Att koldioxidkurvan släpade efter temperaturkurvan under slutskedet av en istid betyder att koldioxiden fungerade som en långsam återkoppling. När solinstrålningen ökade och temperaturen steg så minskade havets förmåga att lagra koldioxid – och koldioxidhalten i luften steg. Växthuseffekten tilltog

och temperaturökningen förstärktes. I dagsläget har vi också ett förstärkande kretslopp, men det startas inte av ökad solinstrålning utan av våra utsläpp av koldioxid från fossila bränslen (figur 1).



Figur 1. Styrs temperaturen av koldioxidhalten – eller är det tvärtom? Det som var sant under istidsväxlingarna är inte sant idag. (Källa: En ännu varmare värld, Naturvårdsverket 2007)

Påstående 3. Vattenånga är viktigare än koldioxid som växthusgas. Ökande vattenmängd skulle därför kunna vara huvudorsaken till den uppvärmning som sker.

Det stämmer att vattenånga är den viktigaste växthusgasen. Detta har varit känt i årtionden. Som

förklarats ovan är dock vattenånga en återkoppling och inte en klimatpåverkande faktor. Enligt många klimatmodellberäkningar är vattenånga den dominerande återkopplingen, och därmed en viktig bidragande orsak till klimatförändringar oavsett vilken den primära klimatpåverkande faktorn är.

Påstående 4. Solens indirekta påverkan via förändring av flödet av kosmiska strålar är mycket viktigare än mänsklig klimatpåverkan.

Det har sagts att klimatvariationer kan förklaras med varierande flöden av energirik kosmisk strålning. Föreställningen är att variationer i kosmisk strålning leder till variationer i joniseringen av den lägre troposfären (under 3–5 km), och att denna jonisering i sin tur stimulerar bildandet av små partiklar som kallas molnkondensationskärnor. Perioder som domineras av ett högt flöde av kosmisk strålning skulle alltså även domineras av ökad jonisering och därmed större koncentration av molnkondensationskärnor, något som gör moln på låg nivå vitare och får dem att vara längre. Detta skulle medföra en kylning av klimatet eftersom dessa vita moln har högt albedo, det vill säga de reflekterar solstrålningen effektivt.

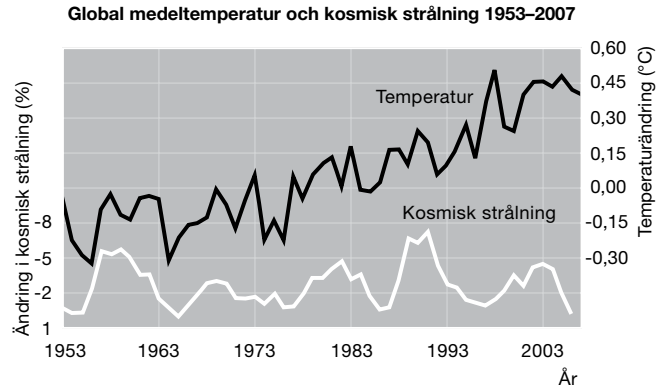
När den kosmiska strålningen är låg skulle motsatsen gälla. Molnen på låg nivå skulle då bli mindre vita och mindre utspridda, med en relativ uppvärmning

av klimatet som följd. Kopplingen mellan kosmisk strålning och moln hänvisas ofta till som en indirekt påverkan från solen, eftersom flödet av kosmisk strålning som når jorden förändras av solens aktivitet. Hög solaktivitet innebär högt skydd mot kosmisk strålning och därmed mindre flöde, och enligt teorin mindre vita moln och påföljande uppvärmning. Låg solaktivitet innebär tvärtom lågt skydd mot kosmisk strålning, större flöde, mer vita moln och påföljande avkylning.

Det här är en intressant föreställning som kan ha varit relevant för några forna klimatvariationer, men det är mycket tveksamt om den har bidragit till den globala uppvärmningen under de senaste 30–50 åren. Temperaturen har stigit trots att det inte har funnits någon allmän nedåtgående trend för flödet av kosmisk strålning. I figur 2 jämförs den observerade globala temperaturen nära jordens yta med värdet på den kosmiska strålningen. Det finns inga tecken på en trend för minskande kosmisk strålning, medan det helt klart finns en stigande trend för temperaturen.

Påstående 5. Koldioxidökningen sedan förindustriell tid beror inte på mänskliga utsläpp, utan kan helt enkelt vara en följd av uppvärmningen.

Som diskuterats ovan fungerade koldioxiden som



Figur 2. Uppmätt global medeltemperatur (övre kurvan) och procentuell variation i flödet av kosmisk strålning (nedre kurvan). Observera att skalan för kosmisk strålning är omvänd. Den bör därför överensstämma med temperaturskalan om påstående 4 stämmer. När den kosmiska strålningen är låg (vid toppar på den nedre kurvan) ska det enligt påstående 4 bli mindre vita moln och därmed varmare. Som framgår av figuren stämmer inte detta med verkligheten. (Källa: Bo M. Vinther, Köpenhamns universitet)

en långsam återkoppling under istiderna. Även om mekanismerna än så länge inte är helt fastställda är det uppenbart att den här processen var relaterad till samverkan mellan världshaven och atmosfären. En sådan samverkan är långsam och därför kan den här återkopplingen inte vara märkbart verksam under en så pass kort period som de senaste 100–150 årens temperaturhöjning. Samverkan med de naturliga kollagren i marken är snabbare och man skulle – åtminstone principiellt – kunna tillskriva stigande

temperatur en mycket liten del av den observerade koldioxidökningen.

För att förstå den största delen av koldioxidökningen måste man se på människans utsläpp och den utsläppta koldioxidens öde. Det är ganska väl känt hur mycket fossilt bränsle vi har använt sedan förindustriell tid. Det finns även rimliga uppskattningar av andra utsläpp av koldioxid i atmosfären, bland annat effekterna av skogsskövling och cementproduktion. I fråga om rent kol uppgår människans utsläpp under industrialismen till cirka 500 miljarder ton. Hade all denna kol lagrats i atmosfären skulle koncentrationen i dag vara ungefär 500 ppm (miljondelar), till skillnad från den faktiska koncentrationen på cirka 385 ppm (2008). Det har med andra ord skett en nettominskning av kol i atmosfären.

Ett av de mest övertygande argumenten för att förbränning av fossila bränslen orsakar ökande koncentration av koldioxid i atmosfären kan man få genom att mäta kols isotopsammansättning. En vanlig kolatom (^{12}C) har sex protoner och sex neutroner i kärnan, och atomvikten 12. De tyngre isotoperna ^{13}C och ^{14}C har sex protoner som vanligt kol, men sju respektive åtta neutroner. Den naturliga sammansättningen av kol i fossila bränslen och biomassa skiljer sig från den naturliga sammansättningen i haven på det sättet

att det är mindre av den tunga och stabila kolisotopen ^{13}C i fossila bränslen och biomassa än det är i haven. Isotopundersökningar visar att haven har absorberat ungefär en tredjedel av kolet som kommer från förbränning. Isotopundersökningar eliminerar också möjligheten att den atmosfäriska ökningen av kol skulle komma från haven, eftersom den atmosfäriska isotopsammansättningen förändras i riktning mot sammansättningen i fossila bränslen och inte mot sammansättningen i naturligt havskol.

Tabell 1 visar storleken på kolutsläppen från cementproduktion och förbränning av fossila bränslen. Dessa utsläpp har ökat sedan 1980-talet. Tabellen visar också hur mycket kollagret i atmosfären har ökat jämfört med förindustriell tid som en följ av utsläppen. Den andel av kolutsläppen som inte lagras i atmosfären blir (som visas i tabellen) upptagen dels i haven, dels på land. Haven tar alltså upp mer kol än de släpper ifrån sig så nettoupptaget är positivt. Nettoupptaget på land är också positivt, vilket betyder att tillväxt i biomassa genom ökad fotosyntes, främst på högre breddgrader, ”vinner” över effekten av skogsskövlingen i första hand i tropikerna.

Tabell 1. Uppskattade årliga förändringar i förhållande till före industrialiseringen. Enheten är gigaton (miljarder ton) kol per år. Observera att "nettoupptag på land" innefattar den kombinerade effekten av tropisk skogsskövling och ökande fotosyntetiskt upptag på land på främst högre breddgrader. (Källa: IPCC AR4)

	1980-talet (gigaton kol/år)	1990-talet (gigaton kol/år)	2000–2005 (gigaton kol/år)
Utsläpp från fossila bränslen och cementproduktion	5,4±0,3	6,4±0,4	7,2±0,3
Ökning i atmosfärisk koncentration	3,3±0,1	3,2±0,1	4,1±0,1
Upptag i haven	1,8±0,8	2,2±0,4	2,2±0,5
Nettoupptag på land	0,3±0,9	1,0±0,6	0,9±0,6

Påstående 6. Klimatmodeller är bara modeller – varför ska vi lita på dem?

Klimatmodeller är de grundläggande vetenskapliga verktyg som används för att bedöma framtida klimatförändringar. Det kommer alltid att finnas vissa kompromisser i sådana modeller när det gäller hur tillförlitligt och enhetligt kända fysikaliska och biogeokemiska processer uppskattas. För att utvärdera hur väl modellerna behandlar de mest fundamentala processerna jämförs deras utdata med uppmätta data. Sådana undersökningar visar tydligt att klimatmodeller är kapabla att simulera de fundamentala processerna på ett övertygande sätt (se figur 2 på sidan 47).

En mängd olika mätningar och indikatorer visar att modellerna kan simulera dagens medelklimatförhållanden realistiskt. Detta gäller till exempel den geografiska fördelningen av nederbörd, temperatur och vind. En ännu viktigare slutsats är att jämförelser med särskilt satellitmätningar starkt indikerar att även de grundläggande återkopplingarna som är utlösta av klimatvariationer under de senaste årtiondena fångas upp av modellerna.

Påstående 7. Den globala temperaturen har inte ökat sedan 1998. Men koldioxiden har stigit under samma period och därför kan den inte vara viktig.

Det är meningslöst att använda en tioårsperiod av observerad temperatur för att fastställa om en viss typ av klimatpåverkan har varit viktig eller inte under den perioden. Det sker naturliga klimatvariationer under kortare perioder än några decennier. Sådana förändringar hänger ihop med värmetransporter i haven, det vill säga omfördelning av värme, och växelverkan mellan atmosfären och havet som kan ge tillfällig lagring av värme i haven. Man måste därför analysera och eliminera påverkan av sådana processer på den observerade temperaturutvecklingen när siktet är inställt på successiva klimatförändringar.

Att trenden med ökande temperatur har varit svag från och med 1998 beror på att temperaturen det

året dominerades av en stark El Niño i Stilla havet, med följden att onormalt mycket varmvatten exponerades vid ytan över ett stort område i havets tropiska delar. Åren sedan 1998 har faktiskt varit varma jämfört med de föregående årtiondena och trenden är stark för uppvärmning. El Niño är ett typiskt exempel på naturliga klimatsvängningar som inte drivs direkt av människoskapade omständigheter, solens påverkan eller vulkaniska faktorer. Sådana naturliga klimatsvängningar kan tillfälligt stärka eller maskera en bakomliggande trend. Under de senaste 5–7 åren har det faktiskt varit en svag avkylande naturlig klimatpåverkan eftersom solen i sin elvaårscykel just nu är nära ett minimum.

Påstående 8. De observerade temperaturerna i atmosfären stiger inte så mycket som klimatmodellerna säger.

Den observerade uppvärmningen under de senaste 50 åren överensstämmer ganska väl med den uppvärmning som simuleras i klimatmodeller. Detta gäller inte bara vid jordytan utan också högre upp och i olika delar av världen. Det lyfts ibland fram att högre upp i den mittre och övre troposfären (5–10 kilometers höjd) simulerar modellerna en uppvärmning som är större än nära ytan, medan så inte verkar vara fallet i observationerna. Detta stämde också tills för ett par år sedan då gapet mellan modeller och

observationer började minska. Två huvudsakliga orsaker till detta var inräkning av partiklars avkylande effekt i modellerna och bättre analys av mätdata från väderballonger och satelliter.

Alla typer av temperaturobservationer i troposfären och högre upp i stratosfären lider av svåra så kallade homogenitetsproblem. Det innebär att förändringar av instrument, antal och typer av observationer samt observationsförhållanden kan leda till artificiella förändringar som uppstår enbart på grund av hur observationerna gjordes. Det är sådana problem som har varit den främsta orsaken till den uppenbara skillnaden mellan modeller och observationer.

Insiktslöst datafiske

De klimatskeptiska argumenten har behandlats mycket grundligt i internationella vetenskapliga tidskrifter de senaste cirka 25 åren. Denna vetenskapliga debatt har ökat förståelsen för klimatsystemet betydligt, och idag är nästan alla forskare eniga om att människans aktiviteter har satt igång en global temperaturökning som kommer att tillta de kommande decennierna.

Klimatskeptikerna vrider ofta argumentationen på ett sätt som är helt i otakt med vetenskapligt basvetande. Det gäller till exempel sammanblandningen

av klimatpåverkande faktorer och återkopplingar. Många klimatskeptiker demonstrerar en pinsam brist på insikt i den vetenskapliga litteraturen. Eller de ägnar sig åt datafiske, det vill säga de söker okritiskt efter observationer som stödjer ett klimatskeptiskt argument. Eftersom mängden klimatdata är enorm hittar de vanligtvis det de söker. En närmare granskning visar dock ofta att det är fel på de data de funnit.

Eigil Kaas är professor i meteorologi och klimatdynamik vid Niels Bohr Institutet, Köpenhamns universitet. Han har tidigare varit ledare för forskning i klimatmodellering på Danmarks Klimacenter vid Danska meteorologiska institutet. I dag arbetar han med utveckling av atmosfäriska modeller och med grundläggande klimatprocesser. Han är direktör för det tvärvetenskapliga Center för energi, miljö och hälsa (www.ceeh.dk).

Vem kan man lita på?

Stämmer det som ofta påstås att vetenskapen är enig kring teorin om att människan skapar global uppvärmning? För att besvara den frågan behöver vi precisera både vad som menas med teorin ifråga och vad som menas med vetenskaplig enighet. Olle Häggström reder ut begreppen och kommer fram till att vetenskapen är enig och att det i dagsläget inte finns rimliga skäl att tro att teorin är felaktig.

Olle Häggström, Matematiska vetenskaper, Chalmers tekniska högskola.

Tänk själv! Tänk kritiskt! Dessa slagord från 1700-talets upplysningsfilosofer har i århundraden hjälpt människor att befria sig från kyrkans och andra auktoriteters dogmatiska tankesystem, och är än idag värda att ta till sig.

Men att leva upp till slagordens ideal kan för den stressade nutidsmänniskan te sig som en övermäktig uppgift. Allt medan vetenskapens kunskapsmassa förgrenar sig mot ökad oöverskådlighet så finns en rad frågor som involverar avancerad och dagsaktuell forskning och som samtidigt är angelägna för den demokratiskt sinnade samhällsmedborgaren att ta ställning till.

Uppenbara exempel hittar vi inom klimatfrågan: Bör samhället vidta åtgärder för att minska de växthusgasutsläpp som annars riskerar förvärra en accelererande klimatförändring? Eller bör vi hellre inrikta oss på att förbereda oss för klimatförändringar som komma skall oavsett hur vi gör med växthusgasutsläppen? Eller är hela klimatproblematiken överdriven och vi gör bäst i att bortse från den för att lägga vår kraft på andra, mer akuta problem?

Dessa frågor berör allas vår framtid, och vi kan inte gärna lämna över dem åt en liten grupp experter att ensamma besluta över. Därför behöver den enskilde

ta ställning. Men om vi ska kunna fatta kloka och rationella beslut behöver vi veta en del inom det naturvetenskapliga området. För att ta ställning till om det alls är meningsfullt att minska våra växthusgasutsläpp i syfte att bromsa den globala uppvärmningen behöver vi först och främst ha en uppfattning om ifall dessa utsläpp påverkar klimatet, och i så fall hur mycket.

Så hur bör en engagerad samhällsmedborgare förhålla sig till detta slags vetenskapliga frågeställningar? Min avsikt är att med klimatfrågan som exempel diskutera vad som kan vara ett rimligt förhållningssätt. Mycket av aktuell debatt i klimatfrågan har handlat om huruvida vetenskaplig konsensus – enighet – råder kring teorin om en antropogen (av människan orsakad) global uppvärmning. Jag ska börja med att principiellt diskutera begreppet vetenskaplig konsensus, och först därefter komma in på om sådan konsensus kan anses råda på klimatområdet, och vad den i så fall innebär.

Vad innebär vetenskaplig konsensus?

Kärnfrågan är: Hur bör vi rationellt gå tillväga för att ta ställning i vetenskapliga frågor där det finns olika bud på hur det faktiskt ligger till? Ett typexempel är frågan om huruvida de växthusgasutsläpp vi människor ligger bakom (i första hand koldioxidutsläpp) i

sin tur orsakar global uppvärmning. Vi får ofta höra att det finns ett sådant orsakssamband, men ibland stöter vi också på uttalanden som bestämt förnekar att så är fallet. Så hur avgör vi vem som har rätt och vem som har fel?

Ett första försök skulle kunna vara att förlita sig på opinionsundersökningar – det enkla räknandet av hur många som tycker si och hur många som tycker så – och ansluta sig till majoritetslägret. Detta förefaller mig dock vara en högst opålitlig och rentav stötande metod. Rösta kan (och bör) man väl för all del göra om politiska värderingar – men om sakförhållanden? Sakförhållandena är ju som de är oavsett vad majoriteten råkar anse om saken. Därmed inser vi att om konsensusbegreppet alls ska duga som guide till sanningen så behöver det vara mer förfinat än att enbart sammanfatta omröstningar eller opinionsundersökningar.

Bättre är enligt min mening att se inte till majoritetsförhållanden utan istället till vilka som har de bästa argumenten, i betydelsen logiskt sammanhängande och förnuftiga vetenskapliga resonemang som stöds av observationer. Detta är idealet. Tyvärr är det i praktiken som regel ouppnåeligt, av det enkla skälet att flertalet av oss inte har de förkunskaper som krävs för att på egen hand kunna avgöra kvaliteten

och hållbarheten i de vetenskapliga argumenten. Att skaffa dessa förkunskaper skulle för de allra flesta kräva åtminstone några års universitetsstudier i det aktuella ämnet – och ofta mer.

I praktiken har vi, menar jag, inget annat val än att förlita oss på någon annan som vi har anledning att anta har större kunskaper än vi själva på det aktuella området. Men vem? I valet mellan sierskan, prästen och forskaren tvekar jag inte att föreslå forskaren – helt enkelt därför att vetenskapen under de senaste århundradena övertygande har befäst sin position som den bästa och mest framkomliga vägen till kunskap om hur vår fysiska omvärld fungerar.

Vetenskapliga tidskrifter borgar för kvalitet

Alltså, om vi inte själva har tid, ork eller möjlighet att detaljgranska de vetenskapliga argumenten – låt oss lita på forskarna! Om nu alla forskare på området ger samma svar på den aktuella frågan, då är saken klar. Men om så inte är fallet, hur gör vi då? Ska vi följa majoritetsuppfattningen bland forskarna? Problemet med att lita till majoriteter har jag redan varit inne på, och här uppstår ytterligare bekymmer med hur vi ska definiera gruppen forskare. Ska vi gå efter akademiska examina och titlar, eller ska endast till exempel den som publicerat sig i en vetenskaplig tidskrift på det aktuella området någon gång den

senaste femårsperioden räknas som forskare? Hur vi än gör med definitionen råder ett visst godtycke. Och vad värre är – risken finns alltid att enskilda forskare uttrycker uppfattningar baserade inte på vetenskapliga överväganden, utan snarare på exempelvis politiska eller religiösa övertygelser.

Bästa lösningen på denna problematik är enligt min uppfattning att söka svaret inte hos någon viss kategori forskare som *personer*, utan istället i den *vetenskapliga tidskriftslitteraturen*. Vetenskapliga tidskrifter tillämpar ett strikt så kallat refereegranskningsförfarande. Det innebär att en forskare som skickar in ett manuskript för publicering får detta granskat av ett antal (som regel anonyma) forskarkollegor. Endast om manuskriptet uppfyller högt ställda krav på vetenskaplig kvalitet accepteras det för publicering. Att hålla sig till den vetenskapliga litteraturen då man bedömer forskningsläget blir därmed ett sätt att så gott det går förvissa sig om att endast den bästa och mest hållbara vetenskapliga argumentationen beaktas.

Två invändningar är här naturliga. För det första förlitar sig den metod jag rekommenderar på att tidskrifternas refereesystem verkligen fungerar och inte är korrupt. Tänk om tidskrifterna och deras refereegranskare helt enkelt bestämt sig för att refusera allt

som inte stödjer deras favoritteorier, oavsett om de framlagda argumenten är bra eller dåliga! Detta hävdas ibland och är svårt att motbevisa, men i avsaknad av goda indicier för sådan korruption menar jag att vi har skäl att anta att systemet fungerar någorlunda väl. Inte så att vi med säkerhet vet att det som påstås i en vetenskaplig tidskrift är sant (vetenskapen är inte ofelbar), men väl att dessa tidskrifter är avsevärt pålitligare än andra källor som med få undantag saknar motsvarande kvalitetskontroll.

En andra invändning är att det för en lekman är svårt eller omöjligt att följa mitt råd att låta bedömningen av forskningsläget avgöras av vad som står i de vetenskapliga tidskrifterna. Återigen saknas tid, kraft och förutsättningar att gå igenom den relevanta litteraturen. Därför är man i praktiken beroende av att enskilda kompetenta och pålitliga forskare gör sammanfattningar av vad som står att finna i tidskriftslitteraturen. Frågan om vem man kan lita på återkommer här, och verkar i slutändan oundviklig. Men i nästa avsnitt ska jag visa hur övertygande forskningsläget är i frågan om antropogen global uppvärmning.

Vetenskaplig konsensus om antropogen uppvärmning

För att svara på om konsensus råder i klimatfrågan, och hur stark och solid denna i så fall är, behöver

vi först precisera vilken klimatfråga vi menar. Vilken uppfattning åsyftas när vi talar om ”klimatvetenskapens konsensusuppfattning”? Den kanske viktigaste frågan är om det är riktigt att a) mänskligt genererade utsläpp av koldioxid tenderar att bidra till global uppvärmning på ett sätt som på sikt kan väntas få långtgående konsekvenser. Vanligare i dagens debatt om vetenskaplig konsensus är emellertid att åsyfta hypotesen b) att dessa utsläpp redan hunnit orsaka en stor del av de senaste decenniernas uppvärmning.

För ordningens skull bör vi hålla isär dessa båda teorier, ty det är ju fullt möjligt att acceptera teorin a) utan att för den sakens skull godta även b). I själva verket var det just detta – att acceptera a) men inte b) – som var den dominerande uppfattningen bland klimatforskare då klimatfrågan på 1970- och 80-talen började klättra först på den vetenskapliga och därefter på den politiska dagordningen.

När det gäller hypotesen b) om att de senaste decenniernas höjning av jordens medeltemperatur till stor del beror på antropogena koldioxidutsläpp, så ger ett studium av den vetenskapliga litteraturen vid handen att en allt starkare enighet om att så är fallet har kommit att formeras de senaste 10–15 åren. Att enigheten är förhållandevis ny ger måhända viss

anledning att anta att den ännu inte är helt robust, och att det därför finns ett rimligt utrymme för tvivel.

Beträffande teorin a) om att koldioxidutsläppen på sikt påverkar klimatet är situationen en annan och betydligt klarare. Teorin kan lämpligen delas upp i två delteorier, nämligen a1) som säger att mänskliga koldioxidutsläpp bidrar till förhöjd koldioxidhalt i atmosfären, och a2) som säger att en förhöjd koldioxidhalt i atmosfären via den så kallade växthuseffekten driver på den globala uppvärmningen. Den fysikaliska förståelsen för dessa båda fenomen a1) och a2) är idag mycket solid, och det går inte längre att hitta artiklar som tar avstånd från a1) eller a2), vare sig i de ledande tidskrifterna Nature och Science eller i mer specialiserade klimatvetenskapliga tidskrifter. Båda delteorierna går dessutom långt tillbaka i vetenskapshistorien.

Idén a1) att mänsklig tillförsel av koldioxid till atmosfären leder till ökad koldioxidhalt kan verka självklar. Saken är emellertid inte så enkel som den ser ut. Man trodde länge att världshaven snabbt och lätt kunde absorbera nästan all den koldioxid som tillförs atmosfären. Denna uppfattning korrigerades emellertid på 1950-talet, då havens absorptionsförmåga visades vara mer begränsad, främst på grund av den mycket långsamma cirkulationen mellan yt- och

djuphav. Dessa och andra upptäckter, tillsammans med gedigna mätserier över koldioxidhaltsförändringen i atmosfären från slutet av 50-talet och framåt, gör att fenomenet a1) idag står bortom rimligt tvivel. Vår kvantitativa förståelse för det är också god.

Förståelsen för växthuseffekten a2) går ännu längre tillbaka i tiden, och handlar i hög grad om 1800-talsfysik. Den svenske kemisten Svante Arrhenius fann på 1890-talet en snillrik metod att uppskatta växthuseffektens storlek, och vi kan idag konstatera att han träffade någorlunda rätt storleksordning. Våra kunskaper om växthuseffekten har sedan Arrhenius dagar konsoliderats och förfinats, inte minst tack vare kvantfysikens modeller för molekylär strålningsabsorption.

Sammanfattningsvis kan om a1) och a2) sägas att det visserligen är möjligt att ifrågasätta dem (precis som alla andra vetenskapliga resultat) men att de är så väletablerade att det skulle krävas en vetenskaplig revolution av sensationella proportioner för att kullkasta någon av dem. Därmed kan slutsatsen a) att antropogena koldioxidutsläpp driver på global uppvärmning slås fast bortom rimligt tvivel.

Återkopplingseffekter och annan osäkerhet

Men om vår förståelse för a1) och a2) nu är så solid,

hur kan det då komma sig att klimatexperternas förutsägelser är så oprecisa? Uppskattningar av var den globala medeltemperaturen under givna utsläppsscenarier hamnar femtio eller hundra år framåt i tiden bildar ju intervall som spänner över flera grader Celsius.

Detta har att göra med de många andra faktorer som påverkar klimatet och det komplicerade system de samverkar i. Av särskilt intresse är de så kallade återkopplingseffekterna, som kan verka accelererande på uppvärmningen (positiva återkopplingar) eller bromsande (negativa). Vi saknar fullständig förståelse för dynamiken hos många positiva återkopplingar. Dit hör exempelvis hur uppvärmningen får den sibiriska tundran att tina och släppa ifrån sig växthusgaser som i sin tur driver på uppvärmningen. Ett annat exempel är hur reflektionsförmågan (albedot) minskar när uppvärmningen får havsisen i Arktis att smälta. Då absorberas mer av solstrålningen, och det leder till fortsatt uppvärmning. Ett tredje exempel är hur uppvärmningen leder till ökad mängd vattenånga i atmosfären, och därmed ökad växthuseffekt eftersom även vattenånga är en växthusgas.

Ett sista halmstrå för den som godtar a1) och a2) men ändå vill tona ned faran för antropogen global uppvärmning är att hävda att de negativa återkopplingarna

dominerar över de positiva, och att de gör det så till den grad att merparten av uppvärmningen går om intet. Den amerikanske klimatforskaren Richard Lindzen har framfört spekulationer åt det hållet, men den vetenskapliga litteraturen i sin helhet pekar i annan riktning.

Ingen tog avstånd från antropogen uppvärmning

För den som händelsevis känner misstro mot min beskrivning av forskningsläget kan det vara av intresse att ta del av en litteraturundersökning av vetenskapshistorikern Naomi Oreskes i tidskriften Science 2004. Hon analyserade innehållet i de 928 uppsatser som publicerats i refereegranskade vetenskapliga tidskrifter under tidsperioden 1993–2003 och som upptar ”global climate change” bland nyckelorden. Oreskes räknade hur många av uppsatserna som tog avstånd från vetenskapens konsensusuppfattning rörande antropogen global uppvärmning. Trots att hon valde att tolka denna i den snävare meningen b) ovan fann hon att antalet avståndstagare bland de 928 uppsatserna var noll!

Givetvis har Oreskes med sin nyckelordssökning inte fått med alla vetenskapliga uppsatser om klimatfrågan från den aktuella tidsperioden, och troligen går det att finna en och annan avvikare. Icke desto mindre ger hennes undersökning en bild av hur överens

klimatforskarna är om teorin om antropogen global uppvärmning.

Oreskes undersökning är givetvis besvärande för dem som vill hävda den vetenskapliga oenigheten på området, och försök har gjorts att misskreditera henne. Men om man kikar på de uppräkningar av uppsatser som påstås utgöra motexempel till hennes tes (sådana uppräkningar finns i arbeten av Benny Peisner och Klaus-Martin Schulte) finner man hur långt dessa tänjer på begreppen. Vad som exempelvis dras fram är studier som fokuserar på andra faktorer som tillsammans med mänsklig påverkan kan driva på klimatet, till exempel astronomiska faktorer. Där finns också uppsatser som argumenterar för att koldioxidökningens inverkan på klimatet är något mindre än vad andra hävdat. Att sådana resultat skulle innebära ett automatiskt avståndstagande från teorin om antropogen global uppvärmning är givetvis fel oavsett om det är a) eller b) ovan som avses.

Olle Häggström är professor i matematisk statistik vid Chalmers tekniska högskola. Hans huvudsakliga forskningsområde är sannolikhetsteori och dess tillämpningar. På senare år har han också ägnat kraft åt att granska olika slags pseudovetenskap.

Lästips

- Olle Häggström. *Att skilja vetenskap från pseudovetenskap: exemplet Stockholmsinitiativet*, i Folkvett 4/2008, där argumentationen hos den mest tongivande grupperingen bland svenska klimatskeptiker granskas (http://www.math.chalmers.se/~olleh/Stockholmsinitiativet.pdf).
- Naomi Oreskes. *The scientific consensus on climate change: how do we know we´re not wrong?* i boken Climate Change: What it Means for Us, Our Children and Our Grandchildren, MIT Press, Cambridge (http://www.ametsoc.org/atmospolicy/documents/Chapter4.pdf).

Därför bör vi tro på klimatförändringen

De allra flesta av oss kan inte själva undersöka hur det står till med klimatet, och alla vet att vetenskapens framtidsprognoser inte alltid slår in. Varför bör vi ändå tro på klimatförändringen? Den viktigaste orsaken är att vi kan lita på vetenskapen som process, skriver Sverker Sörlin. När processen medför en omfattande konsensus, som nu i klimatfrågan, så måste samhället utgå från detta som kunskap. Dessutom är det riskabelt att skjuta upp åtgärder som kan leda till dämpad uppvärmning, medan de kända nackdelarna är få.

Foto Ulla Montan

Sverker Sörlin, Avdelningen för teknik- och vetenskapshistoria, KTH, och Stockholm Resilience Centre.

Varför är klimatförändringen en så omdiskuterad fråga? Varför väcker den så heta känslor? En del av svaret har att göra med att det inte är så lätt att motivera anpassningar i levnadsförhållandena och kanske inskränkningar i den personliga friheten bland oss som lever på jorden idag, med hänvisning till förhållanden som skulle kunna inträffa i en ganska avlägsen framtid, särskilt eftersom vi inte riktigt kan se och ta på dessa förhållanden just nu. Vi talar här om hot och faror som kommer att smyga sig på oss under årtionden, generationer, kanske århundraden.

Vad vet vi säkert? Varför ska vi underkasta oss begränsningar nu för en låt vara sannolik förändring som ligger långt in i framtiden? Kanske blir vi lurade? Det skulle i så fall sannerligen inte vara första gången som det påstås av en lång rad experter att något ska inträffa – som sedan inte alls inträffar. Brukar inte expertprognoser för det mesta vara felaktiga? Jovisst. Thomas Malthus mycket pessimistiska tankar i *An Essay on Population* (1798) är det klassiska exemplet. Han trodde att människor i hela världen ständigt skulle leva i svält och fattigdom och dö i stort antal eftersom förmågan att skapa välstånd aldrig skulle kunna hålla jämna steg med den ohejdbara befolkningstillväxten.

Svårigheterna att veta något om framtiden

De fantasieggande visioner som skapades i slutet av 1800-talet för hur den moderna tillvaron skulle te sig *Om hundra år* (1892) – titeln på en skrift av Charles Richet, fransk Nobelpristagare i medicin 1913 – har väldigt få överensstämmelser med den värld som fanns år 1992, och ännu färre med världen av idag.

De allra flesta framtidsbedömningar går samma oblida öde till mötes. Jules Vernes romaner, för att inte tala om Dostojevskijs, kommer närmare sanningen om det mänskliga än vad någon forskare kunde prestera. Just Richet – som med tiden blev ordförande i det internationella sällskapet för parapsykologi – hade fel i nästan alla sina förutsägelser. Han hade ingen aning om vilka energislag som skulle användas, han hade fel om vilka nationer som skulle dominera världen, han visste förstås inte ens vilka nationer som skulle finnas hundra år senare.

Ju mer anspråksfulla och komplexa påståenden som görs, desto svårare är det att entydigt kunna bekräfta dem vetenskapligt. Den som anser sig säkert veta utgången av ett val flera år i förväg eller av en fotbollsmatch som äger rum samma dag, den vet vi inte kan åberopa vetenskap till stöd för sin sak. Det är också därför det finns vadslagningsfirmor.

Men den som påstår något om hela världens utveckling kan, paradoxalt nog kan man tycka, göra större anspråk på att bli trodd, så länge som påståendena gäller naturvetenskap och så länge de gäller något över vilket människan har ringa inflytande. För så fort människan kommer in i bilden blir förutsägelser svåra, nästintill omöjliga. Det har funnits förhoppningar om motsatsen. Många har trott, rentav hoppats, att miljön skulle ha ett avgörande inflytande över samhällsutvecklingen, men så har det inte visat sig bli.

Ellsworth Huntington, en amerikansk geograf, skrev en lång rad böcker under 1900-talets första tre årtionden. De gick alla ut på att den viktigaste drivkraften bakom civilisationens utveckling är klimatet. Under kalla klimat är människor kreativa, värme fördärvar. Tanken i sig är gammal, skillnaden är att Huntington ansåg sig ha vetenskapliga belägg för den. Miljö- och klimatdeterministiska tankar förekom i skolböcker långt in på efterkrigstiden. Miljöns inflytande på enskilda människor är inte väldigt olika nu jämfört med för hundra år sedan – ändå har tillvaron för oss alla förändrats i grunden. Vi har svårt att tänka oss att det är miljön som styr utvecklingen av politiska beslut, börskurser, religion eller poesi.

Skilda tidsskalor

Varför ska vi då fästa oss vid vad naturforskarna nuförtiden säger om klimatutvecklingen? Denna bok ger i många kapitel en rad argument för det. Här vill jag bara komplettera med ett litet perspektiv. På en viss nivå kan jorden och dess omgivande atmosfär betraktas som ett system, ”the earth system” som det brukar kallas. Detta system kan betraktas ungefär som kemiska vätskor i ett provrör och vi kan förvänta oss att systemet uppför sig i enlighet med naturlagarna.

Visserligen är systemet komplicerat, vida mer komplicerat än något som får plats i ett provrör, med återkopplingar, förstärkningseffekter, accelerationer, skred, tipping points och en rad andra fenomen som uppträder på komplex systemnivå men som inte finns på samma sätt i enkla system. Men i princip ska det fungera på samma sätt och framförallt: systemet är underkastat naturlagarna och därför förståeligt.

Men eftersom jordsystemet inte ryms i ett provrör, och eftersom vi inte kan göra experiment med hela planeten som vore den ett laboratorium, så får forskarna istället göra modeller över systemet. Dessa modeller innehåller också mängder av återkopplingar eftersom ett så komplicerat system har många levande och svårförutsägbara komponenter och

eftersom det innehåller en självreparerande och skapande förmåga – tänk bara på all DNA som finns i det levande!

Tidsskalor får därför stor betydelse. Över miljontals år kan man räkna med att jordsystemet ändras i grunden; nya arter uppstår exempelvis som kan bemästra ändrade förhållanden. Sådant händer oupphörligen i jordens historia, om man har tid att vänta. Men på den tidsskala som är relevant för oss människor – alltså årtionden och århundraden, möjligen årtusenden – hinner naturens kreativitet inte åstadkomma några större anpassningar. Den enda kreativitet vi verkligen kan lita till är människornas och samhällets.

Vi måste tro på vetenskapen

Nu har forskningens modellbyggare alltså kommit fram till att jordens klimat nästan helt säkert kommer att bli varmare till följd av mänsklig aktivitet. Det finns också en stor mängd empiriska observationer, alltså iakttagelser ute i verkligheten, som stöder modellerna. Man är lika säker på att uppvärmningen kommer att skapa djupt problematiska effekter för ekosystem, människor och samhällen, även om dessa effekter kommer att vara olika svåra på olika delar av jorden.

Vi som inte är specialister på dessa modeller och inte själva kan delta i eller kritiskt granska den forskning som ligger bakom dem – hur ska vi förhålla oss? På ett visst plan kan vi inte göra så mycket åt saken. Vi får lov att tro. Vi lever i ett samhälle där vi bestämt oss för att låta vetenskapen stå för produktionen av det slags kunskap som vi kan kalla etablerad och som vi använder som grund för så kallade rationella överväganden och beslut.

Den som väljer att inte tro har naturligtvis sin fulla rätt till det, men kan inte räkna med någon förståelse. I värsta fall blir man en stolle. Den som påstår att utvecklingsläran inte stämmer därför att jorden i själva verket skapades i ett stycke med alla arter på en och samma gång för några tusen år sedan och sedan inte ändrats – den får förstås göra det, men vi andra kan inte gärna anförtro den personen några uppgifter inom undervisning och forskning i de många ämnen som förutsätter vetenskaplig kunskap om utvecklingen av jorden och livet. Lika lite kan vi i sjukvården anställa läkare som tillämpar homeopati. De får försöka bota sig själva, men inte andra.

Så här är det, eller så här borde det i alla fall vara. Men det finns mer att säga. För när allt kommer omkring är den just refererade inställningen ganska

stursk och lite förenklad. I själva verket är den heller inte alldeles vetenskaplig.

För vetenskapen gör ett litet tillägg: den accepterar, den rentav hyllar tanken att det någonstans faktiskt är fel på den rådande vetenskapliga förklaringen och att det finns en bättre. Vetenskapen har inga större hjältar än de som kan kullkasta etablerade föreställningar. Den som kan vederlägga utvecklingsläran eller, för den delen, visa att teorin om global uppvärmning skulle vara felaktig eller åtminstone otillräcklig, kan räkna med en evig hedersplats i vetenskapshistorien. Vi kan inte, och bör inte, helt utesluta att det sker. Även om det naturligtvis just nu verkar extremt osannolikt.

Kunskapens pussel och arkipelag

Det finns också en annan faktor att ta hänsyn till när man ska förhålla sig till vetenskapliga teorier. Hur har de vuxit fram? En vanlig uppfattning är att vetenskapliga teorier, eller rentav Sanningar, uppstår genom ständig ökning av kunskapen, steg för steg. Som Newton ska ha sagt: ”Vi står på giganters axlar”. En enskild forskare är förvisso liten på jorden, men genom mänsklighetens samlade kunskapsuppbyggnad vet varje ny generation mer än den förra.

Den slående bilden skymmer emellertid det förhållandet att forskningens byggande av mer samlade kunskaper och världsbeskrivningar sker betydligt mer ryckigt och fragmentariskt. Snarare lägger vi ett pussel som har ett oändligt antal bitar – utan att veta vad bilden ska föreställa. Vi har lagt samman en hel del, men historien visar att pusslet gäckar oss. Ibland måste vi riva upp delar av det och börja på en ny bild. Vi har öar av kunskaper om fysik, konst, antropologi, klimat. Vi använder också samma kända fakta för att ibland skapa nya bilder som i sin tur styr forskningen.

Men hur hänger de olika delarna av pusslet samman? Är det samma pussel? Hur hänger tanke ihop med materia? Vad har musik med matematik att göra? Har smak med politik att skaffa? Kan det ena förklaras av det andra – och vilken ska i så fall vara den förklarande delen och vilken ska få nöja sig med att bli förklarad? Kan ny kunskap i konstvetenskap alls påverka kunskapsläget i biologi – och tvärtom? Hur?

Klimatets del av det stora pusslet är fascinerande. Bilden av klimatets utveckling har växlat kraftigt sedan upptäckten av istiden för drygt 150 år sedan. Den bild vi nu har började på allvar växa fram för bara ett halvsekel sedan. Då John Tyndall 1862 och Svante

Arrhenius 1896 presenterade sina idéer om växthuseffekten visste man ingenting om ”global uppvärmning”. Uttrycket fanns inte, man visste heller inte om klimatet var på väg att bli kallare eller varmare. I en stor forskningsöversikt inför världskongressen i geologi i Stockholm 1910 skrev den framstående svenske forskaren Gunnar Andersson att allt tydde på att klimatet i Skandinavien höll på att bli kallare. Det var vid exakt den tidpunkt när det på allvar började bli varmare …

Att det pågick en uppvärmning, i alla fall på nordligare breddgrader, förstod man också snart, men praktiskt taget ingen trodde att orsaken kunde vara mänsklig aktivitet. Det dröjde ett halvt århundrade innan detta började ändras. Först under 1950-talet rapporterades det i medier över hela världen om att användningen av fossila bränslen kunde leda till global uppvärmning. Då hade redan, år 1938, den brittiske ingenjören Guy Stewart Callendar lanserat tanken att det förekom en global uppvärmning – klimatförbättring sade man på den tiden – och att fossilbränsleanvändningen var en viktig orsak. I Washington Sunday Star kunde man i januari 1958 läsa att om koldioxiduppvärmningen visar sig stämma kommer det att behövas internationella överenskommelser och drakoniska bestraffningar som utmanar ”våra föreställningar om fri företagsamhet”.

Samtidigt satte forskaren Charles David Keeling upp sin berömda mätstation på Hawaii som snart skulle börja visa den sedan dess stadigt uppåtgående koldioxidkurvan.

Genombrott för koldioxidhypotesen

Under 1950-talet ökade övertygelsen bland flera forskare om att koldioxiden kunde bidra till att förklara klimatförändringarna. Före och under det Internationella Geofysiska Året 1957/58 berättades det flitigt i medierna om de allt fler tecknen på en stor klimatförändring med smältande inlandsisar, stigande havsnivåer och ett i framtiden isfritt Arktis. Symbolen för smältningen i Arktis var isbjörnen, då som nu.

Samtidigt började det komma användbara datorer som blev allt mer kraftfulla. Från ett stycke in på 1960-talet kunde man med dessa datorer skapa modeller av klimatutvecklingen som innehöll koldioxid som en komponent. Forskningen undersökte en lång rad andra förhållanden, exempelvis förmågan hos världshav och skogar att absorbera koldioxid. Men det rådde inget tvivel om att koldioxidhalten i atmosfären ökade och beläggen för att det var denna komponent som långsiktigt styrde klimatförändringen, bortom de ständiga naturliga variationerna, blev hela tiden starkare.

En forskarrapport till den amerikanska vetenskapsakademin 1979 brukar anses som det definitiva genombrottet för koldioxidhypotesen. Det var inte detsamma som att man visste säkert att klimatförändringen berodde på växthusgaserna, men sedan dess har detta varit den etablerade forskningens huvudståndpunkt. Den har bara blivit mer och mer bekräftad. Och den kommer att förbli huvudståndpunkten, tills någon kan visa att det finns allvarliga problem med den.

Det är dock viktigt att hålla i minnet just att detta inte nödvändigtvis måste ses som att Sanningen har segrat. Begreppet sanning har överhuvudtaget en ganska ringa plats i vetenskapen. Vi talar hellre om vad vi kunde kalla ”den bästa bild vi nu kan göra oss av förhållandena”. På många områden måste sådana bilder vara diffusa och ofullständiga. Det kan också med visst fog under långa tider finnas konkurrerande vetenskapliga bilder, till exempel av hur man ska se på orsakerna till psykisk sjukdom eller hur stor vikt man bör lägga vid vittnesuppgifter från personer som skadats eller traumatiserats. Även i naturvetenskaperna förekommer perioder av djupa kontroverser om centrala frågor. Klimatfrågan har varit föremål för sådana kontroverser men ser nu ut att inte längre vara det.

Är klimatet en del av samhället?

När det gäller klimatet talar vi alltså, av allt att döma, om en numera mycket stabil vetenskaplig konsensus. Den påminner såtillvida om Darwins evolutionsteori eller andra teorier om naturens sätt att fungera som bestått många prov. Men en egenskap skiljer trots allt klimatmodellerna från andra naturvetenskapliga teorier: människan är i dessa modeller en viktig drivkraft. Evolutionens princip påverkas knappast alls av samhället (möjligen kan evolutionens riktning påverkas, till exempel med hjälp av avel eller påverkan på den biologiska mångfalden). Ännu mindre kan vi påverka gravitationskraften eller växelverkan i atomkärnorna. Vi kan utnyttja dessa krafter, men vi kan inte påverka dem.

Klimatsystemet däremot uppför sig som det gör *just därför att människan påverkar det*. Hur klimatet ska bli i framtiden är därför djupt beroende av hur samhället agerar idag. Därför finns det på ett visst plan en likhet mellan klimatmodellerna och modeller av samhället: de rymmer båda den mänskliga faktorn, den som vi redan pekat på som den som gäckar naturvetenskapens förutsägelser.

Detta konstaterande säger emellertid ingenting om modellernas giltighet eller om klimatpåverkan fram till nu – vad människor och samhällen gjort i det

förflutna är ju ett faktum. Men det är ett viktigt påpekande med tanke på framtiden – till skillnad från mycket annat som studeras naturvetenskapligt är klimatet något vi kan påverka. Vi kan både göra det varmare och mindre varmt på jorden. Det trodde varje förnuftig människa förut var en fullkomlig omöjlighet. Miljöhistorikern John R. McNeill berättar i sin fascinerande bok *Någonting nytt under solen* att den amerikanske fysikern och nobelpristagaren Robert Millikan så sent som 1930 konstaterade: ”Människan kan inte göra någon skada på något som är så gigantiskt som jorden.” Millikan hade också fel, precis som nobelpriskollegan Richet.

Sedan finns det en annan sak: systemets komplexitet. Detta har länge gäckat forskningen. Det har varit svårt att fastställa orsakssamband. Från det att man började bli klar över att det hade skett större historiska klimatförändringar, rentav att det förekommit en istid (omkring 1850) och att det förekommit flera istider (vilket man blev klar över omkring år 1900) och omfattande klimatförändringar även efter den senaste istiden, så började forskare kasta fram förslag på vad dessa förändringar berodde på.

Ett stycke in på 1900-talet trodde många ännu att tendensen var att klimatet höll på att bli kallare. Det började många tro på nytt på 1960- och 1970-talen

då det kom en serie kalla år, mitt i den övergripande värmetrend som då rått under 1900-talet. Just omkring 1970, när klimatmodellerna började alstra sina första och som det skulle visa sig ganska trovärdiga förutsägelser om klimatets uppvärmning under de närmaste hundra åren, just då rådde det paradoxalt nog högkonjunktur för istidsspekulationerna.

Det skulle snart ge med sig. Idag har skeptiker och förnekare blivit en liten och tillbakapressad minoritet av forskarsamhället. Vi har emellertid inte så väldigt mycket systematisk kunskap om vad som kännetecknar denna opinion i sociologisk och antropologisk mening. Men mycket tyder på att medelåldern är hög och att skeptikerna inte alltid har sina positioner i de discipliner som är mest centrala för förståelsen av klimatförändringens orsaker. Hur tänker och agerar de – och varför? Om detta behövs det mer forskning, likaså om hur den klimatskeptiska opinionen formas och vidmakthålls också i en situation där den är vetenskapligt marginaliserad.

Klimatfrågan – en del av miljöberättelsen

Varför dominerar teorin om global uppvärmning numera så fullständigt? Det handlar inte bara om vetenskap; hade det gjort det skulle den ha slagit igenom för länge sedan och redan lett till omfattande

åtgärder. Det har haft stor betydelse hur forskarsamhället organiserat sig och byggt sina organisationer och hur man samverkat med politiska och sociala institutioner. IPCC är exempelvis en organisatorisk innovation som visat sig gynna koldioxidhypotesens spridning kraftigt och bidragit till dess legitimering, även om IPCC naturligtvis inte har till uppgift att favorisera någon bestämd teori utan hela tiden utgår från vetenskaplig konsensus.

En viktig faktor bakom övergången till konsensus i klimatfrågan under de senaste årtiondena är emellertid att det under 1960- och 1970-talen uppstod en övergripande berättelse om miljöpåverkan med människan i huvudrollen som planetär förändringsagent. Miljöberättelsen gjorde det mycket lättare att få förståelse för en antropogen – människoskapad – förklaring också till klimatförändringen, som nu fick plats på den miljöpolitiska dagordningen. Så länge det uppfattades som rätt och normalt att tänka som Robert Millikan – alltså att människan inte kan påverka något som är så stort som jorden – var det också mycket svårt att föreställa sig antropogen global uppvärmning.

I den nu rådande världsbilden, där människor och samhälle har ett avgörande inflytande över naturens tillstånd, blir förstås klimatskeptikerna inte bara vetenskapligt avvikande röster. De framstår också

som moraliskt klandervärda: de obotfärdiga som inte vill sätta världen på en tuff kur och återställa den rätta balansen mellan samhället och Moder Jord. En sådan position kan knappt någon i längden upprätthålla med bevarad trovärdighet. USA:s president Bush och hans bisarra följe av ovetenskapliga narrar och stöttande oljekapitalister lyckades en tid göra det, men bara i kraft av sin kolossala maktställning och till priset av en stor förlust av anseende i omvärlden. Denna regim, i världens ledande forskningsnation, lyckades under två presidentperioder förneka och undertrycka insikter från en förkrossande majoritet i det internationella, och amerikanska, forskarsamhället. Dessbättre ser det ut att ha rört sig om ett undantag, och i de flesta länder, inklusive USA, är idag den globala uppvärmningen politiskt accepterad.

Det finns egentligen bara en enda socialt accepterad hållning till den globala uppvärmningen och det är att godta den som en realitet. Det man ännu kan tvista om är hur snabb en anpassning till ett samhälle med låga koldioxidsutsläpp bör vara och vilka metoder som effektivast och mest rättvist kan leda dit. Där finns det stora möjligheter att förbli oense och tusen chanser att blanda vetenskap med allt från politik till religion och ekonomi. I själva kärnfrågan – om global uppvärmning pågår och vad den beror på – är dörren för närvarande stängd.

Sverker Sörlin är professor i miljöhistoria vid Avdelningen för teknik- och vetenskapshistoria, KTH, och forskningsledare vid Stockholm Resilience Centre. Han är författare till många böcker för en bred allmänhet. Hans arbete på klimatområdet handlar om klimatmodellers sociala och politiska användning samt om vetenskap och politik om klimat före den moderna klimatfrågans etablering. Forskningen finansieras av Formas, Vetenskapsrådet, Riksbankens Jubileumsfond, med flera.

KLIMATEFFEKTER, ANPASSNING OCH SÅRBARHET

När blir mänsklig klimatpåverkan farlig?

Enligt FN:s klimatkonvention ska vi förhindra farlig mänsklig klimatpåverkan. Men vad är ”farlig”? Ordet är både mycket precist och besvärligt oprecist, skriver Markku Rummukainen. Beslut i klimatarbetet handlar i grund och botten om vilka risker vi tolererar och vilka åtgärder vi är beredda att vidta. Värderingar har en given roll i debatten. Vetenskapen kan i sin tur belysa följderna av olika handlingsalternativ och vad som behövs för att nå uppsatta mål, men kan inte förse oss med slutgiltiga svar. Oavsett det måste vi ta beslut.

Markku Rummukainen, SMHI.

Samhällets klimatuppdrag har satts i FN:s klimatkonvention. Dess artikel två är central och lyder: *”Slutmålet för denna konvention och varje hithörande legal handling som partskonferensen kan komma att anta är att uppnå, i överensstämmelse med de relevanta förskrifterna i konventionen, att atmosfärens koncentration av växthusgaser stabiliseras på en nivå som skulle förhindra farlig antropogen störning i klimatsystemet. En sådan nivå bör vara uppnådd inom en tidsram som är tillräcklig för att tillåta ekosystem att anpassa sig naturligt till klimatförändring, att säkerställa att livsmedelsproduktion inte hotas och att möjliggöra för ekonomisk utveckling att fortgå på ett hållbart sätt.”* (SÖ 1993:13; SÖ = Sveriges internationella överenskommelser)

192 länder har ställt sig bakom klimatkonventionen. Det finns nog egentligen ingen som tillbakavisar världssamfundets klimatuppdrag. ”Hur fort behövs vilken förändring?” kvarstår ändå som en öppen fråga. Klimatkonventionen beskriver inte uppdraget i så konkreta termer som behövs för beslut. Ordet ”farlig” är både mycket precist och besvärligt oprecist. Men de tre viktiga preciseringarna om bevarandet av ekosystem, säkerställd livsmedelsproduktion och hållbar ekonomisk utveckling ger en del kött på benen.

Vad är farligt?

Det går inte att kategoriskt avgöra vad som är farlig klimatpåverkan. Klimatförändringar slår inte demokratiskt. Den globala uppvärmningen påverkar olika regioner olika. Sårbarheten varierar också inom och mellan samhällen, sektorer och länder. Hur vi ställer oss till osäkerheter, risker och att klimateffekterna slår olika i olika delar av världen handlar om värderingar. Möjligheten till förändringar i klimatsystemet som vi inte har full säkerhet om borde nog betraktas som en fara i sig. Ändå förekommer det att osäkerhet om hur klimatförändringarna blir används som ett skäl till att inte anta uppdraget.

Inte alla klimatförändringar är farliga. Förhållandevis små klimateffekter kan till och med föra viss nytta med sig, i alla fall lokalt. Gränsen mellan ofarliga och farliga klimateffekter kan tänjas ut något med anpassningsåtgärder i samhället, men när klimatförändringarna ökar avtar möjligheterna att anpassa sig. Ekosystem bör genomgående betraktas som sårbara för klimatförändringar.

Det finns inga vedertagna mått på var gränsen går mellan farlig och ofarlig klimatpåverkan. Även om många system bör kunna tåla vissa klimatförändringar så finns det också system som påverkas tidigt. Hur många arter får försvinna innan det blir farligt? Hur

mycket får livsmedelsproduktionen eller hållbar ekonomisk utveckling bromsa in? Värderingar har en given roll i debatten, medan vetenskapen ger utgångspunkter för bedömningar.

Tvågradersmålet och tipping points

En konkretisering av klimatkonventionens slutmål är det så kallade tvågradersmålet som EU-länderna har antagit. Det går ut på att den globala temperaturhöjningen ska begränsas till maximalt två grader jämfört med före industrialismen. Sedan dess har jorden värmts upp drygt 0,7 grader. Det har alltså redan avverkats en bit på vägen mot två grader. Utsläppen hittills innebär dessutom en ytterligare uppvärmning på grund av fördröjningar i klimatsystemet, vilket krymper avståndet till högst två grader ytterligare. Nya utsläpp ökar uppvärmningen ännu mer.

Tvågradersmålet är inte internationellt vedertaget. För vissa ter målet sig som för ambitiöst. För andra gäller det omvända, till exempel för små önationer vars blotta existens äventyras av havsnivåhöjningar. I Europa är tvågradersmålet ett resultat av politiska bedömningar, med visst eldunderstöd av forskningen. Även om tvågradersmålet inte frälser oss från klimateffekter så växer riskerna väsentligt bortom en cirka två graders global temperaturhöjning. Det handlar om förluster av biologisk mångfald, effekter på vattenresurser, jordbruksproduktion och ekonomisk utveckling, men även risker för extrema väderhändelser och för människors hälsa.

Det finns också oroande klimateffekter som kallas *tipping points*. Dessa kännetecknas av stora och förhållandevis snabba omslag i det globala klimatsystemet. En fortsatt global temperaturhöjning kan till exempel driva en oåterkallelig avsmältning av Grönlandsisen och kontinentalisar på Antarktis. De senaste årens observationer visar vissa tecken på att dessa ismassor påverkas, men det går inte att slå fast hur nära vi är större förändringar i dessa system.

Utsläpp, kolsänkor och klimateffekter

Att undvika klimateffekter handlar om att minska klimatpåverkande utsläpp av koldioxid och andra antropogena växthusgaser. För att reda ut hur snabbt och hur mycket det handlar om måste utsläpp kopplas till klimateffekter. Det innebär att vi måste ha kunskaper om kolcykeln (hur utsläpp delas mellan havet, biosfären/marken och atmosfären) och klimatsystemet (vilka, var och hur stora klimatförändringarna blir av utsläppen). Hur utsläpp, atmosfärshalter och klimateffekter hänger ihop känner man i stort till. Däremot finns osäkerheter om hur dessa samband utvecklas under klimatförändringar.

I dagsläget löses cirka hälften av koldioxidutsläppen i havet eller tas upp av biosfären. Dessa upptag leder förvisso till effekter på ekosystemen, men gör att bara hälften av den utsläppta koldioxiden samlas i atmosfären. Men dessa kolsänkor är klimatberoende. De förväntas så småningom mattas av när klimatet blir varmare. Det kan handla om att ekosystem som Amazonas regnskogar slås ut av torka i uppvärmningens spår, eller förändringar i omsättningen av koldioxid mellan atmosfären och havet på grund av temperaturhöjningar eller ändringar i vindklimatet. Hur kolsänkor påverkas av klimatförändringar har betydelse för det ”utsläppsutrymme” som finns för att stabilisera vår klimatpåverkan. Svagare kolsänkor betyder ju att mer av utsläppen samlas i atmosfären än vid stabila kolsänkor, och klimateffekterna blir större.

Ju större klimatkänslighet, desto mera bråttom

Klimatkänsligheten är ett mått på hur klimatsystemet reagerar på mer koldioxid i atmosfären. Den definieras som den varaktiga globala uppvärmningen som följer av en fördubbling av atmosfärens koldioxidhalt. Klimatkänsligheten studeras i ljuset av data om pågående och tidigare klimatförändringar (paleoklimatologi) och med hjälp av modeller. Svaren överensstämmer och de pekar på värden mellan 2 och 4,5 grader. Det troligaste värdet anges vara 3 grader.

Något lägre eller högre värden på klimatkänsligheten kan inte uteslutas, men de framstår som mindre sannolika.

Klimatkänsligheten har grundläggande betydelse i beslut om begränsning av klimatpåverkan och klimateffekter. Ju lägre den är, desto större chans har vi att nå ett satt temperatur- eller annat klimatmål. Omvänt gäller att om klimatkänsligheten är stor är det verkligen bråttom om vi ska begränsa klimateffekterna.

Stabiliseringsscenarier hjälper till att definiera klimatmål

Klimatscenarier bygger på tänkbara förändringar i atmosfärens koldioxidhalt med mera. Dessa förändringar kan ligga både över och under en sådan fördubbling av atmosfärens koldioxidhalt och därför kan den globala uppvärmningen enligt olika scenarier bli större eller mindre än de värden som nämndes nyss i samband med klimatkänsligheten. Dagens klimatscenarier omfattar oftast inte antaganden om klimatåtgärder. Framtida klimatpåverkan baseras på tänkbara samhällsutvecklingar i termer av befolkningsutveckling, ekonomi och teknik. Det är ju konsumtion, markanvändning och energiproduktion som är drivkrafter för utsläppen. Resultat som säger att jorden kan bli 2 till 7 grader varmare till år 2100 jämfört med den förindustriella temperaturen

(se figur 3 på sidan 51) gäller alltså under en rad olika tänkbara samhällsutvecklingar, men utan egentlig klimatpolitik. Skillnaderna mellan sådana klimatscenarier och den önskvärda utvecklingen åskådliggör behovet av åtgärder.

I en mindre hållbar framtid och med fortsatt stort beroende av fossila bränslen står världen inför en stor utmaning. En annan insikt är att inte ens låg klimatkänslighet kopplat till en ”snäll” världsutveckling med ren och resurseffektiv teknik utan vidare skulle leverera till exempel tvågradersmålet.

Så kallade stabiliseringsscenarier handlar om framtider i vilka utsläppsökningar först begränsas och sedan minskas, till exempel med hjälp av klimatpolitik. Atmosfärens halt av växthusgaser höjs inte varaktigt över en viss nivå. Stabiliseringsscenarier studeras inte minst inom teknisk och socioekonomisk klimatforskning. Med ”ekonomi” menas kostnader förknippade med utsläppsminskningar. I mer kompletta analyser tar man även hänsyn till nyttor med till exempel undvikta klimateffekter. Stabiliseringsscenarier har än så länge inte omsatts särskilt mycket i klimatmodellering. Kunskaper om klimatkänslighet ger ändå möjligheter att studera vilka globala temperaturhöjningar olika stabiliseringsnivåer kan förknippas med (tabell 1).

Tabell 1. Troligaste värde och osäkerhetsintervall för den varaktiga globala temperaturhöjningen (°C) jämfört med den förindustriella temperaturen vid olika stabiliseringsnivåer (miljondelar koldioxidekvivalenter). (Efter IPCC 2007)

Koldioxidekvivalenter (ppm)	Troligaste värde (°C)	Osäkerhetsintervall (°C)
350	1,0	0,6–1,4
450	2,1	1,4–3,1
550	2,9	1,9–4,4
650	3,6	2,4–5,5
750	4,3	2,8–6,4
1000	5,5	3,7–8,3

En stabilisering vid 550 miljondelar (ppm) koldioxidekvivalenter motsvarar den ovan nämnda definitionen av klimatkänsligheten, och förknippas alltså med en varaktig global temperaturhöjning på 2–4,5 grader. Man kan också vända på sambanden och härleda sannolikheter för olika temperaturhöjningar vid olika stabiliseringsnivåer. 450 miljondelar koldioxidekvivalenter ger en 50 procent sannolikhet att uppnå tvågradersmålet. 400 miljondelar koldioxidekvivalenter ökar denna sannolikhet till över 65 procent.

Utsläppen hittills har höjt atmosfärshalterna till motsvarande cirka 440 miljondelar koldioxidekvivalenter. Effektivt är det ändå fråga om ungefär 380 miljondelar. Den antropogena tillförseln av små partiklar ger ju en kylande effekt (se Örjan Gustafssons

kapitel). Att vi ännu inte har upplevt en global temperaturhöjning på en grad eller mer beror på klimatsystemets trögheter.

Återstår att konkretisera uppdraget

Det är naturvetenskapligt sett fullt gångbart att stabilisera klimatutvecklingen under de kommande decennierna, vilket skulle begränsa riskerna med allvarliga klimateffekter. Ändå återstår det för världen att enas kring en konkretisering av uppdraget.

Klimatmålet måste vara gemensamt. Klimatet, klimatpåverkan och åtgärderna är på olika sätt globala. Utöver ett gemensamt ansvar för klimatet ligger det också i det individuella egenintresset att lösa klimatproblemet. Klimatförändringar handlar om tillgången till vatten, mat, biologisk mångfald och livsviktiga ekosystemtjänster.

Man kan tänka sig både mer och mindre ambitiösa mål än tvågradersmålet, som dock är både ambitiöst och rimligen möjligt att uppnå utan att förlita sig på ovissa genombrott i teknikutvecklingen eller behöva misstro välfärdsökningar i världen. Samtidigt finns det förstås all anledning att fortsätta med forskningen om klimatkänslighet och klimateffekter, och granska redan satta mål i den mån nya kunskaper föranleder det. Framtida teknik kan leda till helt nya

sätt att hejda klimatförändringar, men det är ett osäkert kort.

Ju längre vi fortsätter i gamla spår, desto mer fjärran är de förändringar som behövs för att lösa klimatfrågan. Det handlar om kunskap och värderingar. Det är inte så att vi skulle sakna lösningar, men vi behöver lära oss tänka på nya sätt. Det gäller till exempel att fasa in strävanden mot minskade utsläpp i nya investeringar i exempelvis energisystem. Då framstår utmaningen snabbt som mer genomförbar.

Markku Rummukainen är klimatexpert på SMHI, docent i meteorologi vid Helsingfors universitet och adjungerad professor med inriktning på klimatmodellering vid Lunds universitet. *En utförligare presentation finns på sidan 76.*

Lästips

- *Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken.* Rapport från Vetenskapliga rådet för klimatfrågor, Miljövårdsberedningens rapport 2007:03.
- Claes Bernes. *En ännu varmare värld. Växthuseffekten och klimatets förändringar,* Monitor 20, Naturvårdsverket 2007.

Obalans i ekosystem kan snabba på klimatförändringar

Klimatförändringar har redan påverkat utbredning och årsrytm hos många arter och rubbat balansen i ekosystem. Fortsatta förändringar kan ge konsekvenser för ekosystemtjänster och biologisk mångfald som vi inte kan överblicka. Fattiga länder och regioner med mest att förlora kan drabbas hårdast. Det vi vet och ser redan nu räcker för att vi borde vara bekymrade. Landekosystemen tar idag upp en dryg fjärdedel av våra koldioxidutsläpp, men det kan vända tvärt så att kolsänkan blir en kolkälla som gör att klimatförändringarna går ännu snabbare, skriver Benjamin Smith.

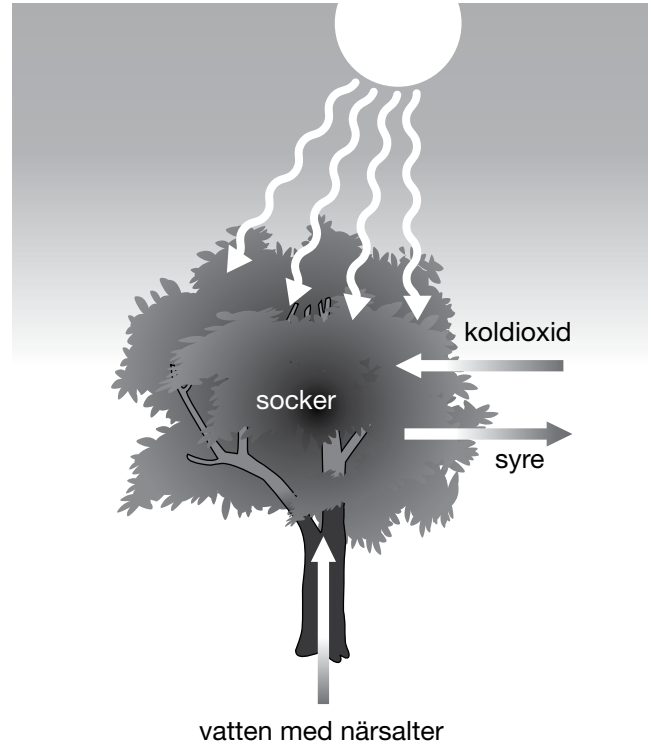
Benjamin Smith, Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, Lunds universitet.

Ett ekosystem är de växter, djur, mikroorganismer och andra levande varelser som finns på en viss plats, tillsammans med den omedelbara fysiska omgivningen (luft, vatten, jord, näringslösning) som de står i kontakt med och som de påverkar och påverkas av. Vi människor är i högsta grad en del av olika ekosystem, eller om man så vill av det globala ekosystemet. Vi andas luft vars sammansättning styrs kontinuerligt av andra organismers utbyte av bland annat syre och koldioxid. Vi dricker och använder vatten som oftast följt en lång och krokig bana genom ekosystemet innan det når våra brunnar och magasin. Vi hämtar mat, timmer, fibrer och diverse andra råvaror från ekosystem både på land och till havs. Vi nöjer oss sällan med de ekosystem som naturen förser oss med utan vi formar och nyskapar efter våra behov – i form av exempelvis skogsplanteringar, reningsanläggningar och diverse former av jordbruk.

Mångfalden av resurser och nyttigheter som ekosystemen förser människan med kallas ibland för ekosystemtjänster. De utgör en så grundläggande förutsättning för samhällets existens att man skulle kunna säga att de är ovärderliga. Ändå görs det försök att beräkna deras ekonomiska värde. En studie har kommit fram till att ekosystemen på hela jorden förser samhället med värden på 33 triljoner (tusen miljarder) dollar per år, där ekosystemen på land står för en övervägande del.

Koldioxidlagring – en ovärderlig ekosystemtjänst

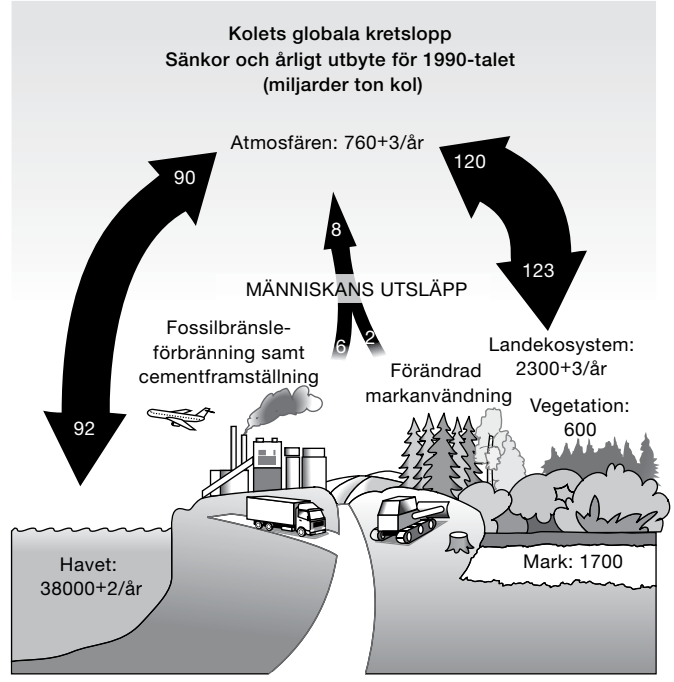
En ekosystemtjänst som har diskuterats särskilt flitigt i klimatsammanhang är ekosystemens benägenhet att ta upp koldioxid (CO_2) från atmosfären för att lagra den i levande biomassa och mull (figur 1).



Figur 1. I fotosyntesen omvandlas koldioxid och vatten till socker och syre. Processen drivs av solenergi. Varje år tar växterna på land upp koldioxid som motsvarar ungefär 120 miljarder ton kol; det är 15 procent av atmosfärens kolhalt.

Ökade koncentrationer av koldioxid i atmosfären antas vara huvudorsaken till den globala uppvärmningen. Atmosfären innehåller idag drygt 760 miljarder ton kol, till största delen i koldioxid (figur 2). Varje år upptar växterna på land genom sin fotosyntes koldioxid motsvarande ungefär 120 miljarder ton kol, eller hela 15 procent av atmosfärens kolhalt. Ungefär lika mycket koldioxid släpps tillbaka ut i atmosfären genom fotosyntesens motsats – respiration eller cellandning, en oundviklig följd av växters, djurs och markorganismers livsfunktioner. För närvarande ligger fotosyntesen ungefär 3 miljarder ton kol högre än respirationen under ett genomsnittligt år. Skillnaden förklaras framförallt av ökad lagring av biomassa i trädens stammar i växande skogar.

De årliga utsläppen av koldioxid som människan orsakar motsvarar 8 miljarder ton kol. Av dessa kommer 6 miljarder ton från cementproduktion och förbränning av fossila bränslen. 2 miljarder ton beror på avskogning och den koldioxid som hamnar i atmosfären när timret från de avlägsnade träden förbränns eller omvandlas till snabbt omsatta produkter som pappersmassa. Av dessa 8 miljarder ton kol lagrar ekosystemen på land alltså cirka 3 miljarder ton. Kollagringen utgör en mycket värdefull ekosystemtjänst. Den mildrar ökningen i atmosfärens koldioxidhalt och växthuseffekten med en fjärdedel eller mer och



Figur 2. Atmosfären innehåller idag mer än 760 miljarder ton kol, det mesta i koldioxid. Varje år tar landväxterna upp koldioxid som motsvarar ungefär 120 miljarder ton kol, medan växter och andra organismer tillsammans släpper ut något mindre än så genom cellandning. Skillnaden mellan upptaget och utsläppet uppgår till cirka 3 miljarder ton kol per år. Människans årliga utsläpp av koldioxid från avskogning och fossila bränslen motsvarar 8 miljarder ton kol. Av dessa lagrar landekosystemen alltså 3 miljarder ton. Havet tar upp cirka 2 miljarder ton kol mer än det avger varje år, och fungerar också som en sänka för en del av koldioxiden. Det här betyder att atmosfären tillförs 3 nya miljarder ton kol varje år. (Källa: IPCC 2007)

bromsar troligen klimatförändringarna. Det här har politiker och klimatförhandlare tänkt på under sina överläggningar om åtgärder för att minska koldioxidutsläppen. För att fullfölja de utsläppsminskningar man åtagit sig har stater under Kyotoprotokollet möjlighet att ”dra av” kollagring i samband med riktade nyplanteringar av skogar. Skogarna fungerar som en kolsänka.

Även havet utbyter koldioxid med atmosfären (figur 2). Havet tar upp cirka 2 miljarder ton kol mer än det avger varje år, och fungerar också som en sänka för en del av koldioxiden. Ungefär 40 procent av det kol som människan tillför blir kvar i atmosfären.

Klimatet påverkar ekosystemen

Ekosystemens struktur och funktion styrs i hög grad av klimatförhållanden. Till strukturen hör det biologiska samhällets sammansättning när det gäller olika arter och antalet individer av varje art, men även fysisk struktur – hur tätt eller glest ett växtbestånd är, hur många och höga skikt vegetationen består av, landskapets utformning när det gäller olika vegetationselement, och så vidare.

Till funktionen hör de processer som skapar och förändrar strukturen: fotosyntes, vatten- och näringsupptag, tillväxt och fortplantning, betning, predation

(rovdjurs födointag), konkurrens mellan individer och arter, och förmultningsprocesser i marken. Vissa klimat- eller väderfenomen kan ha direkt inverkan på ekosystemens struktur; det gäller främst störningar som stormar, översvämningar och bränder. Mera generellt är det ekosystemens funktion som styrs av olika klimatförhållanden och som på sikt inverkar på strukturen.

Risk för lokal utrotning

De flesta växt- och djurarters storskaliga utbredning betingas av klimatförhållanden, i synnerhet temperatur och vattenresurser. När klimatzoner förskjuts eller krymper så riskerar arter som inte kan följa med att lämnas strandade utanför sin ”naturliga” utbredning. Här är risken för lokal utrotning hög när fysiologiska trösklar för överlevnad överskrids, eller när konkurrensen blir för stor med andra arter som är bättre anpassade till de nya lokala klimatförhållandena. Båda dessa fenomen är inblandade i vegetationsförändringarna i södra Alperna där mildare temperatur vintertid gjort det möjligt för förrymda trädgårdsväxter som lagerhägg (*Prunus laurocerasus*) att sprida sig in i inhemska bestånd av lövfällande träd.

Få arter är anpassade till att sprida sig i den takt som dagens kraftiga klimattrender medför i många

delar av världen. Många arter är dessutom beroende av andra arter som förser dem med föda, skydd, en lämplig ståndort och så vidare. En sammanställning av studier från olika håll i världen visade på mer än tusen exempel på djur- och växtarter som redan genomgått en förändring som med viss säkerhet kan kopplas till varmare temperaturer de senaste hundra åren. I många fall har utbredningen krympt, ibland så mycket att utrymmet inte längre räcker till för att upprätthålla en livskraftig population. Förloppet kan vara invecklat. *Atelopus* är ett släkte av grodor som bara finns i Central- och Sydamerikas djungler. Två tredjedelar av släktets hundratal arter har utrotats under de senaste decennierna i samband med att varmare nätter och ökad molnighet skapat optimala förhållanden för en viss sorts svamp som angriper grodorna och försvagar eller dödar dem.

Värme ökar växternas produktion

Att jorden går mot en varmare framtid framstår som tämligen säkert. Temperaturen påverkar i stort sett alla fysiska, kemiska och därmed biologiska processer. Generellt sett ökar processhastigheten när temperaturen stiger. Eftersom biologiska system består av många olika processer, som dessutom är kopplade till varandra med olika tidsmässiga och rumsliga förskjutningar, så kan den sammantagna effekten av en viss temperaturförändring på hela systemet vara komplex och svår att förutse.

Ekosystemforskare har lagt ner mycket möda på att reda ut vilka följder en uppvärmning på några grader kan komma att ha för olika ekosystem. Tre huvudeffekter kan skönjas. I de kallare delarna av världen, där den årliga växtperioden begränsas av låga temperaturer på vintern, innebär uppvärmningen att växterna börjar bli aktiva några dagar eller veckor tidigare på våren och eventuellt är aktiva senare på hösten, så att den aktiva perioden förlängs. Det leder till en ökning i växternas primärproduktion som sipprar ner till övriga arter som är beroende av växterna för sin näring.

En annan viktig effekt av en temperaturökning i ett kallt klimat är att den får biogeokemiska kretslopp i marken att gå fortare. Marken kryllar av organismer som livnär sig på rester främst efter döda växter och växtdelar. Talrikast av dessa är svampar och bakterier vars ämnesomsättning frigör organiskt bundet kväve (så kallad mineralisering), en viktig och ofta begränsande resurs för växtligheten. När temperaturen stiger växer populationerna av mikroorganismer och kvävemineraliseringen ökar, vilket gynnar växterna och hela näringskedjan. Den tredje effekten av en temperaturhöjning är att avdunstningen av vatten både från markytan och växternas lövverk ökar. I varma och torra klimat kan ökad avdunstning betyda att marken uttöms på vatten snabbare efter regn.

Mycket tyder på att i synnerhet boreala skogar (till exempel det skandinaviska gran- och tallbältet, och liknande områden i Kanada, Alaska och Ryssland) tillsammans med arktisk tundra kommer att påvisa ökad tillväxt och aktivitet till följd av en förlängd växtperiod och bättre näringsförhållanden under klimatuppvärmningen. Satellitmätningar sedan 1980-talet visar redan en tydlig trend mot ökad ”grönska” över stora delar av dessa områden. Det talar starkt för att den uppvärmning som redan skett har lett till ökad aktivitet hos växterna.

Vattenfattiga områden blir ännu torrare

När det gäller nederbörd är samstämmigheten mellan klimatscenarierna sämre och trenderna olika över olika delar av världen. Mycket förenklat kan man säga att de områden som idag är fuktiga kommer att uppleva en trend mot ökad nederbörd medan de områden där det redan idag råder vattenbrist kommer att bli ännu torrare i framtiden.

Vatten är en kritisk resurs för allt liv. Därmed utgör trender mot ökad torka i regel ett större hot mot människan och naturen än motsatsen. Eftersom temperaturen förväntas stiga överallt så försämras vattenbalansen av att avdunstningen ökar och ”suger ut” vatten från marken samtidigt som tillförsel av vatten i nederbörd minskar. Ekosystem som hotas

av väsentligt försämrad vattenbalans finns i Medelhavsområdet och Centralasien, Sahara, sydvästra Nordamerika och västra Australien. Den befintliga naturliga vegetationen i dessa områden består oftast av öppen skog, savann (glesa träd- eller buskbestånd med ett underskikt av gräs), buskmarker, stäpp eller öken. Risken är stor att vegetationen i dessa regioner glesas ut med följden att öknarna sprider sig in i områden som idag är till exempel buskmark eller savann.

Vissa modellstudier tyder på att även världens största sammanhängande regnskogsområde, Amazonas, kan vara hotat av kraftigt försämrad vattenbalans som i ett extremt scenario skulle kunna leda till att skogen glesas ut och i de ostliga delarna av området förvandlas till savann.

Moln och stoft påverkar solinstrålning

Det är solens ljus som ytterst styr hela ekosystemets dynamik och som möjliggör liv genom att tillföra den ljusenergi som omvandlas till organiska ämnen i växternas fotosyntes. Den mängd energi som når jordens atmosfär från solen kommer inte att förändras nämnvärt de närmaste hundra åren. Däremot kan förändringar i molnighet och luftens halter av stoftpartiklar av olika slag komma att påverka både mängden och karaktären av den instrålning som når växternas lövverk.

Generellt sett innebär en klarare himmel att mer ljus når växterna. Detta gynnar fotosyntesen och därmed tillväxten, med följder för hela ekosystemets funktion. Men eftersom solljus också innehåller våglängder som tenderar att värma upp bladen (infraröd strålning) eller som kan skada enzymer och andra beståndsdelar i växtbiokemiska processer (ultraviolett strålning) så kan det inverka positivt om de starkaste strålarna skingras av dis eller lätta moln.

Mera koldioxid ger tillväxtökning

När koldioxid diskuteras i klimatsammanhang är det oftast i egenskap av växthusgas. Men koldioxid är också en livsnödvändig resurs för växterna och för hela ekosystemen. Koldioxid från luften och vatten från marken omvandlas med hjälp av solenergi i fotosyntesen till kolhydrater (socker), som därefter tjänstgör både som byggstenar för ny biomassa och som energikälla för i princip alla biokemiska processer hos växterna och i hela ekosystemet.

Experiment där hela ekosystem utsatts för ökade luftkoldioxidhalter har visat att tillväxten i regel ökar med 15–25 procent för en koldioxidökning på 200 miljondelar (ppm). Detta motsvarar ungefär de koldioxidnivåer som de lägsta utsläppsscenarierna målar upp för slutet av 2000-talet. En del forskare tvivlar på att så pass stora ökningar i tillväxt kan upprätthållas

i ett längre perspektiv med tanke på andra begränsande resurser, framförallt växttillgängligt kväve.

Modeller reder ut primärproduktion och kolbalans

Förändringar i ekosystemens storskaliga sammansättning och funktion under framtida scenarier har undersökts med hjälp av modeller som beskriver några av ekosystemets viktiga beståndsdelar – främst olika växtgrupper (funktionella växttyper), organiskt material i olika faser av nedbrytning samt markfaunan. Modellerna simulerar hur dessa beståndsdelar samspelar och påverkas när temperatur, nederbörd, instrålning och atmosfärens halter av koldioxid förändras.

När det gäller kolinlagring tyder de flesta studier på att dagens förhållandevis kraftiga kolsänkor kommer att avta globalt sett under 2000-talet, för att i vissa modeller och scenarier övergå till källor före seklets slut. Fotosyntesen minskar i regel inte, men cellandningen ökar till följd av varmare förhållanden och på grund av att det blir större mängder organiskt material som ska brytas ner. Om cellandningen är större än fotosyntesen i genomsnitt över hela jorden så övergår ekosystemen från att vara en sänka till att vara en källa för koldioxid till atmosfären. Det betyder att växthuseffekten ökar och klimatförändringen accelererar!

Kombinationen av varmare förhållanden och ökade koldioxidkoncentrationer resulterar, enligt modellerna, i ökad primärproduktion och tillväxt i många delar av världen, vilket kan båda gott för ekosystemtjänster inom exempelvis jord- och skogsbruk. I regioner som redan idag präglas av ett varmt och torrt klimat visar modellerna att förändringen i primärproduktionen snarare blir negativ, till följd av intensifierad vattenbrist. Tyvärr blir det till övervägande delen fattigare länder som drabbas av sämre skördar, medan den rika världen går mot förbättrade tillväxtförhållanden överlag.

Artrika regioner kan drabbas hårdast

Områden där biologisk mångfald riskerar att drabbas särskilt negativt av klimatförändringarna har kartlagts med hjälp av vegetationsmodeller. Man har fokuserat på storskaliga vegetationstyper som kan antas vara nära kopplade till den livsmiljö som många olika arter kräver för sin överlevnad. Kartläggningarna har visat att känsliga områden finns bland annat i savannbältet kring regnskogsområdet i centrala Afrika, Amazonas regnskog och stäppområdet i Centralasien.

Ett annat sätt att kartlägga potentiella riskområden för biologisk mångfald är att leta efter regioner där den befintliga klimattypen försvinner eller krymper

under framtida klimatscenarier. I en sådan analys pekas återigen Amazonas och centrala Afrika ut som riskområden, men även delar av Sydostasien, södra Australien och Sibirien. Både förändringar av vegetationstyper och krympande eller försvinnande klimattyper tenderar att sammanfalla med länder som har stor artrikedom och många hotade arter. De största förändringarna kan alltså förväntas där det finns mest att förlora av världens biologiska mångfald!

Skäl för bekymmer

Forskare har mycket kvar att utreda kring kopplingen mellan klimatförändringar och landekosystem. Men de studier som finns och de förändringarna som redan konstaterats räcker för att vi borde vara bekymrade. Genom att ta upp och lagra en dryg fjärdedel av våra koldioxidutsläpp hjälper landekosystemen till att dämpa klimatförändringarna. Men förhållandet kan vända tvärt; i framtiden kan kolsänkan övergå till att bli en kolkälla och få klimatförändringarna att accelerera.

Klimatförändringarnas snabba framfart har redan påverkat utbredning, funktion och årsrytm hos många arter, och rubbat balansen i de biologiska samhällen de bildar. Fortsatta förändringar är att vänta, med svåröverblickade konsekvenser för ekosystemtjänster och biologisk mångfald regionalt och i världen.

Docent Benjamin Smith är ekolog och klimatforskare vid Lund universitets Centrum för geobiosfärsvetenskap. Han samordnar ett tvärvetenskapligt projekt (delfinansierat av Formas) som utvecklar verktyg för att undersöka kopplade förändringar i klimat, ekosystem och markanvändning över norra Europa under det kommande århundradet.

World of Warcraft och ekologiska kriser

Ekosystem är komplexa – en insikt som måste avgöra vår hantering av klimatutmaningen. Systemen kan förändras snabbt och på ett sådant sätt att de inte återhämtar sig. Dessutom är jordens olika system inom bland annat information, handel, turism och finanser sammankopplade. En händelse, en sjukdom, en miljöförändring i en del av världen kan skapa problem på en helt annan kontinent. Men en globaliserad värld kan också ses som vår största styrka. Mindre innovationer har nämligen förmågan att snabbt sprida sig över jorden, skriver Victor Galaz.

Orasis foto/MÅ

Victor Galaz, Stockholm Resilience Centre, Stockholms universitet.

Terrorister som sprider sjukdom, tusentals kroppar på marken, hela städer i karantän. Under september 2005 spred sig sjukdomen ”Corrupted Blood” som en löpeld i on line-spelet World of Warcraft. Det som började som ett oskyldigt tillägg i spelet för att ge mer avancerade spelare en utmaning urartade snabbt till en digital pandemi som lamslog spelet i veckor. Sjukdomen spreds från värld till värld, från karaktär till karaktär, innan spelutvecklarna drog i nödbromsen.

Detta är ett extremfall, men illustrerar väl en rad utmaningar som hänger ihop med vår förmåga att hantera planeten jorden som befinner sig i snabb förändring. Och då menar jag inte bara klimatförändringar, utan också det faktum att vi lever i en tid av utfiskade och försurade hav, framväxande megastäder, förlust av biologisk mångfald och mycket snabb teknisk utveckling.

Samtliga dessa trender skapar en planet som inte bara är sammankopplad till sina olika delar, utan också sårbar för överraskningar och kriser. En händelse, en sjukdom, en miljöförändring i en del av världen kan skapa problem på en helt annan kontinent. Så här i backspegeln är det intressant att notera att det tredje årtusendets första tio år i mångt och mycket har präglats av kriser som rört sig över gränser:

11 september-attackerna i USA 2001, den globala SARS-epidemin 2003, klimatfrågans explosionsartade intåg på den politiska agendan, den sammanvävda mat- och energikrisen under 2007 och 2008, finanskrisen och svininfluensapandemin 2009.

Saker du inte kan förutse

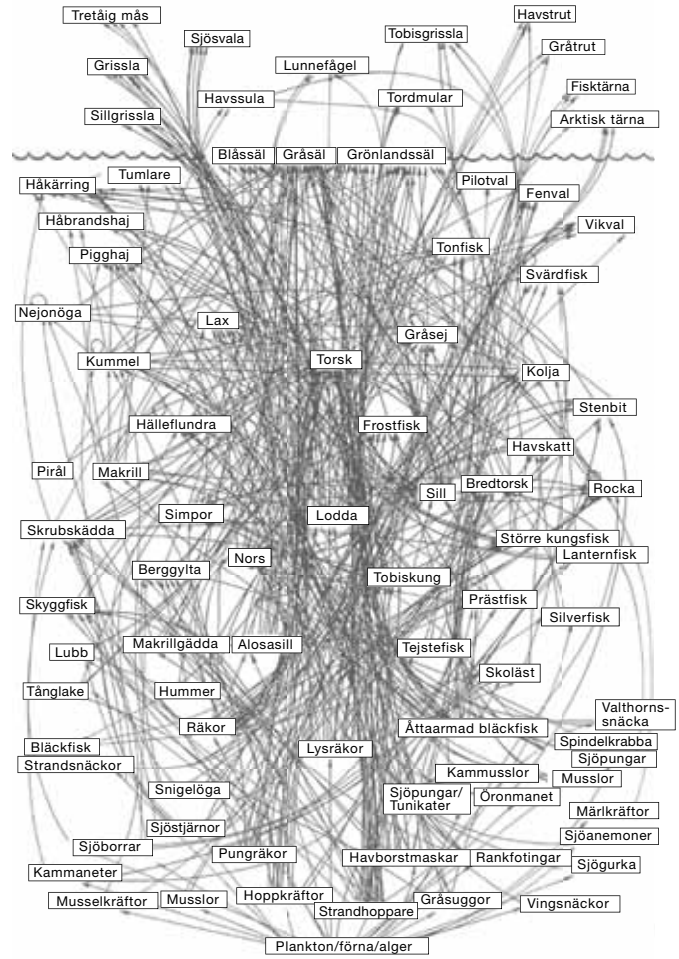
Du har säkert sett dem förr – kurvor, tabeller och kartor som målar upp alternativa framtider som alla innehåller olika förutsägelser om hur temperaturen kommer att förändras på jorden. De matematiska modeller som används som underlag när politiker och myndigheter ska fatta beslut har blivit allt mer sofistikerade. Det går inte att överskatta vikten av den här typen av kunskap från klimatforskare för att människor och politiker ska ta klimatfrågan på det stora allvar den förtjänar.

Det som gör klimatutmaningen mer komplicerad är att planeten jordens olika komponenter och system hänger ihop på ett sätt som vi inte riktigt förstår. Informationssamhällets framväxt, internationell handel, global turism, internationella finansflöden och ekologiska förändringar har alla bidragit till en sammankopplad planet i ständig förändring. Tänk bara på hur mycket av det du äter dagligen som producerats och paketerats i en annan del av världen. Eller hur enkelt människor kan kommunicera,

dela filer eller spela över nätet, oavsett fysiskt avstånd.

Det är dessa senare trender som gör att många forskare blivit intresserade av att försöka förstå egenskaper hos *komplexa adaptiva system*. Dessa system kännetecknas av olika delar som hänger ihop, samspelar och ständigt förändras. Planeten jorden är precis en sådan typ av system. Hav, luft, klimat, växtlighet, arter och människor samspelar; det gör att förändringen ständigt pågår. Vissa menar att hela det internationella finansiella systemet kan ses som ett komplext adaptivt system där pengaflöden och individuella transaktioner samspelar på ett sätt som inte bara är komplicerat, utan som också är svårt att förutsäga exakt. Tänk på den internationella finanskris som startade hösten 2008 om påståendet känns för vagt och akademiskt. Eller på den ständiga utvecklingen av World of Warcraft med dess föränderliga parallella världar, ständiga uppgraderingar och allt mer kunniga spelare.

Ekologer menar att ekosystem som är själva basen för mänskligt liv på jorden (som korallrev, sjöar, kustzoner, skogar, jordbrukslandskap och fiskepopulationer) också kan ses som komplexa adaptiva system sammanvävda med mänskliga. Havets födoväv med torsk centralt placerad är en bra illustration (se figur).



Ekosystemet i havet kan ses som ett komplext adaptivt system, det vill säga ett system där olika delar hänger ihop, samspelar och ständigt förändras. (Källa: Prof. David Lavigne, www.visualcomplexity.com)

När vi gått över gränsen

Insikten om att ekosystem är komplexa är helt avgörande för vår hantering av klimatutmaningen. Även om komplexa system kan vara svårförutsägbara finns det två saker forskningen kan säga säkert. Det första är att systemen alltid bär på överraskningar – händelser som utspelar sig framför våra ögon men som inte gick att förutse i förväg ens med de mest avancerade datormodellerna. Orsaken till detta har att göra just med att vi inte helt förstår hur alla delar av ett ekosystem, det finansiella systemet och mänskligt handlande hänger ihop. Växtsjukdomen svartrost (även kallat Ug99) är ett exempel. Den upptäcktes i Uganda 1999, och angrep snabbt stora arealer vetefält i landet. När den överraskande dök upp igen 2007 i andra länder i Östafrika, i Yemen och norra Sudan var det osäkert om, när och hur den skulle kunna spridas till Turkiet, Mellanöstern och Indien. Detta skedde dessutom mitt under en global matkris när priset på varor som just vete gått upp väldigt snabbt, och lett till hunger och kravaller på nästan samtliga kontinenter.

Det andra som vi säkert vet om komplexa ekologiska system är att de kan förändras snabbt och på ett sådant sätt att de inte återhämtar sig till sitt ursprungliga tillstånd. Systemet går så att säga i ”baklås”. Ekologer har visat att fenomenet gäller bland annat

korallrev som kan gå från att vara produktiva och inkomstbringande oaser av biologisk mångfald till algklädda stenlandskap av litet värde. Andra exempel är sjösystem som kan gå från att ha klart vatten till grumligt och övergött vatten, och jordbrukslandskap som kan gå från att vara högproduktiva ekosystem till torra lågproducerande system.

Flera kriser på en gång

Ytterligare en dimension som komplicerar vår förmåga att exakt förutse effekterna av klimat- och ekosystemförändringar har att göra med möjligheten för kriser att röra sig från ett ekosystem till ett annat och skapa inte bara ett, utan flera problem. Kopplingen mellan minskade fiskefångster och utbrott av den smittsamma sjukdomen ebola i centrala Västafrika är ett exempel. I takt med att fiskeresurser minskar vid den västafrikanska kusten (bland annat på grund av högteknologiska europeiska fiskeflottor) ser sig människor tvungna att i större utsträckning leva av det som kallas för ”bushmeat”, det vill säga apor, fladdermöss och andra däggdjur som lever i djungeln. Även om dessa däggdjur är ett bra komplement till födan vet vi också att de är källor för en lång rad sjukdomar som sprids mellan djur och människor. Ebola till exempel är en blödarfeber som har förmåga att smitta även mellan människor, vilket innebär att det alltid finns en risk för spridning till större områden.

Fladdermöss är inte bara smittkällor utan har också en viktig funktion för skogar och jordbrukslandskap som pollinatörer. När fladdermöss försvinner från ett landskap innebär det att skog och lantbruk kan få svårare att återhämta sig efter exempelvis en skogsbrand eller en torkperiod, två saker som skulle kunna öka som ett resultat av klimatförändringar.

Ekologiska kriser är alltså långtifrån enkla fenomen, och visar på det samspel som pågår mellan klimatförändringar, ekosystemförändring, politiska beslut, handelsflöden och mänsklig sårbarhet. Och den som tror att detta endast är ett problem för utvecklingsländer misstar sig.

Kan tekniken rädda oss?

En stor del av diskussionen kring klimatfrågan har cirklat kring teknikens möjligheter att minska våra utsläpp. Diskussionen är viktig, men kan inte erbjuda någon lösning på den typ av snabbt eskalerande och plötsliga ekologiska kriser som jag beskrivit ovan.

Ta hotet om allt knappare vattenresurser som exempel. Vid en vetenskaplig konferens i Amsterdam på temat ”Klimatförändringar och vatten” pågick vägg i vägg den årliga Aquatechmässan, en fullständigt överväldigande uppvisning av den senaste vattentekniken. Långa rader av glänsande maskiner och

ingenjörer i kostym redo att svara på alla dina frågor. Kontrasten till verklighetens vattenutmaningar kunde inte bli tydligare. För vi vet redan idag att det inte är bristen på teknik som är huvudproblemet. Istället handlar det om utbredd korruption som systematiskt drabbar nödvändiga vatteninvesteringar i de fattigaste länderna. Det handlar om svaga stater med en ibland helt obefintlig miljöförvaltning, och om lokala myndigheter som varken har resurser eller kompetens att genomföra nödvändiga reformer. Och det handlar inte minst om en ständig frånvaro av politisk vilja.

Ett annat exempel är den plötsliga återkomsten av smittsamma sjukdomar. Det är försvinnande regnskogar, ökat befolkningstryck, förändrat klimat, svaga miljöpolitiska institutioner och nedbantad sjukvård som nu gör att gula febern och dengue är tillbaka i stora delar av Latinamerika. Teknik har lite med lösningen att göra.

Jag är inte teknikfientlig, men den som söker lösningar måste inse att de finns i skärningspunkten mellan teknik, politik och ekologi. Den holländske forskare Chris Reij presenterade vid ett besök i Stockholm upplyftande resultat från sin forskning i Niger som är ett av de fattigaste länderna i världen, i ett av de torraste områdena på jorden. Det som imponerar är lantbrukare i landet som genom att återuppta

traditionella sätt att gräva smågropar och skydda bar mark mot vindar och häftiga regn med små stenmurar, på dryga tjugo år har lyckats inte bara få öken att grönska utan dessutom ökat sin välfärd och blivit mindre sårbara mot torka. En prestation som backades upp av samarbete mellan byar, samverkan mellan icke-statliga organisationer och forskare, och nationella politiska reformer som säkrar lokala äganderätter till mark och vatten.

Det finns globala exempel på lösningar i skärningspunkten också. Världshälsoorganisationen (WHO) får numera det mesta av sina första varningar om överraskande utbrott av smittsamma sjukdomar som fågelinfluensan från speciellt utformade sökmotorer som på jakt efter tidiga varningssignaler läser av allt som publiceras på internet, 24 timmar om dygnet, sju dagar i veckan och på sju olika språk. Men denna informationstekniska innovation skulle vara meningslös om den inte backades upp av ett nytt internationellt hälsoregelverk och ett globalt samarbete mellan hälsoexperter, myndigheter och icke-statliga aktörer.

Alla konkreta lösningar på miljöproblem på en planet i snabb förändring måste alltså stå på åtminstone tre ben: teknik, politik och ekologisk förståelse.

Innovationer i en sammankopplad värld

Det finns en gammal klyscha som är värd att upprepas, nämligen att ur krisen föds innovation och förändring. Det finns en vida spridd föreställning om att global förändring skapas av politiska ledare som skakar hand framför CNN:s kameror. Det är en skev bild. Bakom kulisserna av pågående internationella klimatförhandlingar ser vi nämligen att det formligen kokar av lokala experiment, innovationer och nya samarbetsformer. Det kan handla om helt nya sätt att förvalta ekosystem i snabbt växande städer i Indien; eller om innovativa sätt att använda mobiltelefoner för att göra ekonomiska transaktioner i Afrika – utan ett utvecklat bankväsende!

Det är dessa mindre experiment som har förmågan att skapa positiv förändring, deras förmåga att lösa konkreta utmaningar, att inspirera och att snabbt sprida sig över jorden. Och detta ironiskt nog just *tack vare* den komplexa väv av information, transporter, politik och finansflöden som håller ihop planeten.

En ny generation tar vid

Många undrar om det inte är deprimerande att jobba med miljöfrågor med tanke på vilka enorma utmaningar klimatkris och globala ekosystemförändringar innebär. Jag är optimistisk, särskilt med

tanke på den generation som föddes under 1980- och 1990-talet. Anledningen är att vi forskare kommit att inse att lösningar på de stora utmaningarna kräver allt större uppfinningsrikedom, och samarbete över gränser. Just samarbete över gränser har visat sig vara en stor utmaning för äldre generationer uppväxta i en tid då nationen var den självklara referenspunkten i ens liv, där kommunikation över gränser var dyrt och krångligt, och där tillgång på vetenskaplig information och internationella nyheter tillhörde ett fåtal privilegierade samhällsgrupper.

Allt detta är i mycket snabb förändring. Du känner säkert fler icke-svenskar nu än vad dina mor- och farföräldrar gjorde under hela sitt liv. Du förstår betydligt mer engelska än svenskar som växte upp i början på seklet, och du delar med dig av och använder information i sådana mängder och till så många individer att vilken äldre bibliotekarie som helst skulle gapa av förvåning. Och när denna kreativa generation knackar på portarna till universiteten kommer de att mötas av en ny generation forskare involverade i globala tvärvetenskapliga samarbeten, ett bibliotek med enkel och gratis tillgång till oceaner av vetenskaplig information, och med studenter som ser samarbete över nationsgränser som något fullständigt självklart.

Så parallellen mellan World of Warcraft och ekologiska kriser är inte bara negativ. Det finns nog en världsförbättrarpotential i alla timmar framför datorskärmen, trots allt.

Victor Galaz är filosofie doktor i statsvetenskap och forskningstemaledare på Stockholm Resilience Centre. Han arbetar för närvarande med politiska dimensioner av globala miljöförändringar med särskild fokus på ekologiska kriser, smittsamma sjukdomar och informationsteknologiska innovationer. Hans arbete finansieras av Formas satsning ”Centre of Excellence” om hållbar utveckling och resiliens.

För surt för reven när havet tar upp koldioxid

Temperaturen ökar snabbare i luften än i havet. Däremot finns det andra faktorer än temperatur som inverkar kraftigt på marina ekosystem, till exempel salthalt och surhet. Havet surnar när det löser koldioxid, och organismer som bildar skal eller skelett av kalk får svårare att göra det i det sura vattnet. Korallreven kan vara borta helt om trettio år. En positiv klimatkonsekvens är att vissa fiskar sprider sig norrut när klimatet blir varmare, skriver Keith Brander.

Keith Brander, Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks tekniska universitet.

Marina ekosystem har årstider och reagerar på variationer i en rad olika klimatfaktorer precis som landekosystem gör. Vissa faktorer är desamma som för landklimatet (temperatur, vind och ljus) medan andra faktorer bara gäller för vattensystem, till exempel salthalt och vertikal blandning av vattnet. Regn och vattentillgång i allmänhet spelar stor roll för hur klimatförändringarna påverkar levande organismer på land. För havet är regnet inte lika viktigt, utom där det kan påverka salthalten, densiteten och näringstillförseln från land, som i vissa kustområden och inneslutna havsområden.

Vattnets densitet är ungefär 800 gånger högre än luftens, och värmelagringskapaciteten är mycket högre. Därför värms inte haven upp och kyls av lika snabbt som luften, och skillnaden mellan dag- och nattemperatur är mycket liten i havet. Skillnaderna mellan årstiderna är också mindre än i luften, och på stora djup är skillnaden mellan vinter och sommar nästan obefintlig. Trots det varierar havsklimatet från ett år till ett annat, särskilt på grunt vatten där en stor del av de havslevande organismerna finns. Den globala genomsnittstemperaturen vid havsytan har ökat med cirka 0,4 grader sedan 1980, medan motsvarande ökning av lufttemperaturen är cirka 0,7 grader.

Både plus och minus för primärproduktionen

Precis som på land behöver växter i havet ljus och näring. Genom sin fotosyntes producerar de organiskt material som förs vidare i näringskedjan till djur, bakterier och andra mikroorganismer. Denna växternas produktion kallas primärproduktion. De flesta växter i havet är mikroskopiska fritt flytande plankton som transporteras genom vertikala och horisontella vattenrörelser.

Växters fotosyntes fungerar bara under rätt ljusförhållanden. Eftersom ljuset absorberas snabbt i vatten innebär det att havsproduktionen endast sker i det ytliga vattnet, ofta bara ned till tio meters djup. Men hur djupt produktionen sker påverkas av i vilken utsträckning vattnet blandas vertikalt. En viss vertikal blandning är nödvändig för att tillföra näring från djupt vatten, men om den vertikala blandningen blir för kraftig dras växtplankton ned under den ljusnivå där näringen kan användas till fotosyntes. Klimatet (vindar, värme och ändringar i densiteten) påverkar i hur stor utsträckning det sker vertikal blandning, och följaktligen mängden primärproduktion från världshaven. När yttemperaturen ökar i havet till följd av varmare klimat så minskar den vertikala omblandningen, och det leder till mindre näringstillförsel och lägre primärproduktion.

Satellitmätningar sedan tidigt 1980-tal visar att planktonproduktionen kan ha börjat minska på höga breddgrader, vilket kan vara ett tidigt tecken på klimatets påverkan på den marina produktionen. En av de få saker vi kan förutsäga med stor säkerhet om primärproduktionen i framtiden är att havsisarnas smältning, som går mycket snabbt, gör att produktionen kommer att öka eftersom mer ljus når havsytan.

Havet tar upp mer kol än det avger

Haven och deras organismer påverkas av klimatet. Men haven påverkar också klimatet, framförallt på grund av sin förmåga att lagra värme och kol. Kol tas upp från luften som koldioxid, och en viss del av detta kol binds in i organiskt material vid fotosyntesen. När plankton dör sedimenterar de till havsbotten och sedimentlagret byggs upp. Sett över miljontals år omvandlas organiskt material till fossilt bränsle (olja och gas) och skal av kalciumkarbonat blir till kalksten.

Om koldioxid inte avlägsnades från luften på detta sätt skulle nivån av växthusgaser vara mycket högre och den globala uppvärmningen gå mycket snabbare. Det finns alltså en koppling mellan klimatet och de marina ekosystemen.

Korallreven försvinner på trettio år

När koldioxid tas upp i havet blir havsvattnet surare eftersom koldioxid och vatten bildar kolsyra. Det här påverkar alla havsorganismer som har skelett eller skal uppbyggda av kalk. Det gäller främst koralldjur och vissa planktonarter, men även mollusker (snäckor, musslor och bläckfiskar), tagghudingar (sjöstjärnor och sjöborrar) och flera andra grupper. Det är bara några år sedan forskarna fick upp ögonen för det här problemet, och vi vet ännu inte tillräckligt mycket för att säga något om följderna.

Korallrev finns i mindre än en procent av världshaven, men de ger struktur och skydd åt ett stort antal marina arter som ofta inte kan överleva utan korallerna. Fiskar och andra organismer i korallreven utgör en del av livsmedelsförsörjningen för cirka hundra miljoner människor och utgör grunden för ekonomiskt viktig turism, särskilt i utvecklingsländerna. Den senaste tidens temperaturökningar och försurning har redan visat sig i långsammare tillväxt av de koraller som bygger upp reven. Extrema temperaturer i många delar av världen har orsakat blekning av korallerna, eftersom de alger som lever i symbios med korallerna dör. Om koldioxiden i atmosfären fortsätter att öka i nuvarande takt kommer de flesta tropiska korallrev troligtvis att vara borta om mindre än trettio år. Förlusten av biologisk mångfald,

fiske och vacker miljö som följer på detta är en av de mest omedelbara och olyckliga följderna av de globala klimatförändringarna.

Det finns nu många bevis på att klimatförändringarna påverkar spridning, artsammansättning, säsongsvariationer och produktion i de marina ekosystemen. Jag ska ta upp några av de bästa exemplen på detta.

Krillen minskar i Antarktis

Antarktiskrill (*Euphausia superba*) är ett av de mest talrika djuren i världen och utgör huvudsaklig föda för fiskar, fåglar och valar. Beståndet har minskat sedan 1976, troligen på grund av att havsisarnas utbredning vintertid har minskat kring den västra antarktiska halvön. Krill är anpassad till att det finns havsis, och den kan inte dra nytta av den ökade växtplanktonproduktion som uppstår när isen minskar. Den är beroende av sommarens rikliga växtplanktonblomning i området öster om den antarktiska halvön. Salper, en sorts sjöpungar som simmar fritt i havet i de vidsträckta lågproduktiva områdena i Antarktiska oceanen, tål varmare vatten än krill och har ökat.

De här förändringarna har haft djupgående effekter på Antarktiska oceanens näringskedja. Pingviner, albatrosser, sälar och valar söker föda inom stora områden, men påverkas ändå av bristen på krill. Det är alltså

inte bara hur mycket krillen har minskat som är viktigt, utan även hur stort område minskningen gäller.

Säsongsvariationer är viktiga för Nordsjöfisken

Hoppkräftan *Calanus finmarchicus* är en av Nordatlantens viktigaste arter av djurplankton. Den har sedan 1958 minskat i de flesta områden där den finns. Orsaken är uppvärmningen och den ändrade utbredningen av kalla djupa vattenmassor som arten övervintrar i. I Nordsjön har den i stor utsträckning ersatts av *Calanus helgolandicus* som är en liknande art som kommit söderifrån. Men det har också skett förändringar i olika arters förekomst under året. Detta påverkar näringskedjans struktur och ekosystemets funktion. Det påverkar bland annat fiskar som äter plankton och har livscykler som är synkroniserade med särskilda planktonarters årstidsbundna produktion.

Överlevnaden för ung torsk i Nordsjön verkar vara beroende av dels mängd och storlekssammansättning på födan, dels när under säsongen olika arter är som vanligast. Förändringar i alla de här faktorerna ledde till att yngel av Nordsjötorsken under 1960- och 1970-talen överlevde ovanligt bra och kunde bygga upp ett stort bestånd. Men under de senaste trettio åren har bestånden minskat allt snabbare. De

europeiska torskbeståndens minskning till följd av överfiske har påskyndats av klimatbetingade förändringar i planktonproduktion och säsongsvariation. Bestånden möjliggör inte längre det fiske som fanns under 1960- och 1970-talen. Allteftersom torskbestånden har minskat har de också blivit känsligare för klimatpåverkan eftersom åldersspridningen (färre gamla torskar) och den geografiska utbredningen har minskat.

Salthalten kritisk i Östersjön

I Östersjön är hoppkräftan *Pseudocalanus acuspes* en viktig art och den främsta födan för fiskyngel och vuxna planktonätande fiskar. Stora variationer i Östersjöns miljö från ett decennium till ett annat, särskilt när det gäller salthalten i de djupa områdena, tros vara orsaken till att planktonförekomsten varierar. Detta påverkar födotillgången för sillen (strömmingen) och har orsakat stora fluktuationer i dess tillväxt. Även torskbestånden i Östersjön påverkas av variationer i födodjurens säsongsvariationer och utbredning. Dessutom är torskens yngelproduktion beroende av att det finns vatten med tillräckliga halter av salt och syre.

Östersjöns förändringar av temperatur och salthalt kan kopplas till både det regionala och det globala klimatet. Salthalten i Östersjön beror på balansen

mellan saltvatten som kommer in från Nordsjön och sötvatten som kommer från floder. Klimatförändringen förväntas minska inflödet av saltvatten och öka regnandet och därmed utflödet av sötvatten runt Östersjön. Men de grunda och komplexa bottnarna i Östersjön och dess tillflöden, och den korta tidsskalan för de väderhändelser som styr inflödena av saltare vatten från haven runt omkring, gör det mycket svårt att förutspå framtida inflöden i Östersjön.

Sammansättningen av Östersjöns marina ekosystem sträcker sig från arter som kan klara en hög salthalt till sådana som kan klara sötvatten. Spridning och förekomst av flera av de viktigaste arterna, till exempel torsk, påverkas av förändringar i salthalten. Östersjön är därför ett av de större hav som är mest känsligt för klimatförändringar. Men känsligheten beror snarare på salthalten än på temperaturen. Det visar vikten av att undersöka alla faktorer som påverkas av klimatförändringarna, och inte bara temperaturen.

Plankton och fiskar sprider sig norrut

Under de senaste femtio åren har man varje månad samlat in planktonprover från en stor del av nordöstra Atlanten längs med rutterna för handelsfartyg och färjor. Proverna utgör grunden för ett av världens mest kompletta och detaljerade register över förändringar i utbredning och förekomst. De visar mycket

tydligt att de flesta planktonarter har förskjutits norrut sedan 1960-talet och nu går mer än hundra mil längre norrut än före 1960.

Det kommer ofta nya belägg för att även fiskarter sprids norrut längs den europeiska kontinentalsockeln. Den nordliga gränsen för ett antal tropiska och subtropiska arter har förskjutits norrut med en hastighet av 50 kilometer per år.

Återhämtning för Grönlandstorsken

Klimatförändringar som beror på ökning av växthusgaser har blivit uppenbara först under de senaste trettio åren. Men klimatet varierade även tidigare. En av de varma perioderna inträffade över en stor del av Nordatlanten 1920 till 1945 och ger oss viss insikt i vilka förändringar vi kan förvänta. Konsekvenserna av uppvärmningen har beskrivits uttömmande, och litteraturen från 1930- och 40-talen visar hur mycket uppmärksamhet klimatpåverkan fick redan för 65 år sedan.

Torskbeståndens historia vid Grönland har dokumenterats särskilt väl, och visar hur snabbt en arts område kan vidgas (50 kilometer per år) och sedan minska igen. Torskbeståndens ökning och utbredning norrut berodde delvis på att de lokala bestånden ökade produktiviteten, delvis på att mycket ung fisk

förflyttade sig från Island med ytströmmarna. Det här gjorde att torskpopulationen vid Grönland ökade kraftigt, men det var också till fördel för det isländska beståndet eftersom den vuxna fisken återvänder till Island för att leka sex eller sju år senare. När fiskarna från 1945 återvände 1953 motsvarade det en ökning av det isländska beståndet med 700 000 ton åttaåriga vuxna fiskar, med ett värde på över 1 miljard dollar. Under sent 1960-tal minskade det grönländska torskbeståndet beroende på en kombination av överfiske och ogynnsamma miljöförändringar. Nu ser vi mycket lovande tecken på en återhämtning eftersom miljön återigen har blivit gynnsam för ungtorsken från Island.

Alla förändringar är inte dåliga

Klimatförändringarna påverkar redan många marina ekosystem och vissa kommer troligtvis att förändras inom de närmaste trettio åren, bland annat korallreven och Östersjön. Även om vi gör stora internationella ansträngningar för att hålla tillbaka klimatförändringarna kommer vi troligen inte att kunna motverka alla förändringar i havens ekosystem de närmaste årtiondena eller århundradena. Men alla förändringar är inte dåliga, och vi kan redan se hur fisket utvecklas för arter som havsabborre och mullusfisk som har spritt sig norrut.

Vår förmåga att förutse framtida förändringar i de marina ekosystemen är mycket begränsad, och när vi får förhållanden som är nya för oss innebär det också oväntade konsekvenser. Ett scenario som ger upphov till oro är att förekomsten av skadegörare skulle öka, till exempel maneter, men grunden för detta är mycket osäker. Det är viktigt med noggrann övervakning och att vi ser till att kunna svara snabbt och flexibelt på framtida förändringar av de marina ekosystemen.

Keith Brander är seniorforskare på Institut för Akvatiske Ressourcer vid Danmarks tekniska universitet. Han forskar numera om klimatpåverkan på fiskföryngring och planktonekologi, och arbetar som samordnare av ICES/GLOBEC Cod and Climate Change programme. Han var huvudförfattare till fiskavsnittet i IPCC-rapporten 2007.

Hälsorisker i ett varmare klimat

Fler värmeböljor och mer torka, fler svåra oväder och översvämningar – det här är konsekvenser av klimatförändringen som kan innebära direkta risker och hälsoeffekter för människan. Indirekta hälsoeffekter kan bli till exempel ökade problem för pollenallergiker och ökad spridning av smittsamma sjukdomar dels via insekter och djur, dels via mat och vatten. Afrika kommer troligen att drabbas hårdast av klimatförändringen, bland annat genom torka, matbrist och utbredning av malaria, skriver Bertil Forsberg och Anna-Karin Hurtig.

Bertil Forsberg, Yrkes- och miljömedicin, Umeå universitet.

Anna-Karin Hurtig, Epidemiologi och folkhälsovetenskap, Umeå universitet.

Det råder inget tvivel om att klimatet förändras. Risker och hälsoförhållanden för människor kommer sannolikt att påverkas på många olika sätt. Det kan ske direkt till följd av förändringar i extremtemperaturer och nederbörd samt förekomsten av svåra oväder med skador och dödsfall som följd, och indirekt genom förändringar i till exempel spridningen av smittsamma sjukdomar, förekomsten av vissa allergen och ökade halter av luftföroreningar.

Klimatförändringarnas befarade inverkan på risker och hälsoläge har i vissa länder redan initierat anpassningsåtgärder inom hälso- och sjukvårdssektorn, exempelvis varningssystem och handlingsplaner för värmeböljor. Till stor del beror detta på den mycket höga dödligheten under värmeböljan i Europa 2003, då myndigheterna togs på sängen och inte visste hur man skulle organisera insatserna för äldre och känsliga grupper. Vi behöver få bättre kunskaper och ökad medvetenhet även i Sverige om hur hälsan och behovet av förebyggande och vård kan komma att påverkas av klimatförändringar.

Olika sätt att bedöma hälsokonsekvenser

Det finns flera olika metoder att förutsäga hälsokonsekvenser av klimatförändringar. Man kan utnyttja kunskaper om samband mellan klimat och hälsa som framkommit vid jämförelser mellan olika

regioner och vanliga lokala skillnader utifrån exempelvis höjdgradienter som påverkar klimatet. Till de senare hör till exempel att kvalsterallergi hos barn blir mindre vanligt med högre höjd över havet på grund av kallare vintrar med torrare inomhusklimat. Den geografiska utbredningen hos många insektsöverförda infektionssjukdomar styrs av klimatet och ekosystemet, även om den materiella standarden i praktiken ofta avgör ifall sjukdomarna blir till ett betydande hälsoproblem.

En annan metod är att göra förutsägelser som bygger på observationer av hur ohälsa akut påverkas av vädret, exempelvis studera hur dödlighet och sjuklighet hänger samman med höga och låga temperaturer. Eftersom dödsfall i hjärt- och lungsjukdom liksom magsjuka och matförgiftningar har ett mönster som påverkas av temperaturförhållanden kan detta användas för att göra förutsägelser av hur det skulle kunna bli med en annan temperaturfördelning. Om stormar och översvämningar redan inträffat i ett område kan man skatta konsekvenserna av att ovädren blir mer vanliga.

Ytterligare en metod är att bygga sina bedömningar på redan dokumenterade förändringar av riskfaktorer eller ohälsa som satts i samband med förändringar av klimatet, exempelvis att värmeböljorna blivit fler,

att fästingarnas utbredning norrut i Sverige redan pågår och att vegetationsperioden redan förlängts så att pollen förekommer under allt större del av året.

Värmeböljor kan leda till många dödsfall

Sambandet mellan extrema temperaturer och dödlighet är känt sedan lång tid tillbaka. Vid värmeböljor tycks effekten på dödligheten främst förklaras just av värmen, men även luftföroreningar som ozon och partiklar kan vara en bidragande faktor. Den förhöjda dödligheten i samband med kyla antas delvis bero på kylan i sig, men även på att virusepidemier bryter ut under den kalla årstiden. Sambandet mellan dygnstemperatur och antal dödsfall har i de flesta studier konstaterats ha formen av ett V. Överallt tycks det dagliga antalet dödsfall vara som lägst vid dygnsmedeltemperaturer en bit över årsmedeltemperaturen. Den ”optimala temperaturen” skiljer sig därför mycket mellan olika delar av världen beroende på platsens klimat och samhällets och befolkningens anpassning till klimatförhållandena. I Norge är den optimala temperaturen cirka 12 grader Celsius, i London cirka 20 och i Aten cirka 25 grader.

Värme medför olika stor risk för olika individer beroende på deras hälsotillstånd. Ökningen av antalet dödsfall är större bland äldre personer, speciellt äldre kvinnor. Åldrandet medför fysiologiska förändringar

i kroppens värmereglering och vätskebalans som gör att äldre troligen inte reagerar lika bra på effekter av värmen. Av betydelse är också att äldre personer oftare har de sjukdomar som ger särskild känslighet för värme, främst hjärt- och kärlsjukdom, lungsjukdom och försämrad njurfunktion. Läkemedel som ofta används av äldre kan också förändra värmereglering, cirkulation och vätskebalans. Huvuddelen av de värmerelaterade dödsfallen beror på cirkulationsrubbningar som hjärtsvikt eller proppar i hjärtat (hjärtinfarkt) eller i hjärnan (slaganfall). Risken för blodproppar ökar mest hos personer med dåliga kärl och redan höga blodfetter.

Värmeböljan över stora delar av Europa sommaren 2003 fick mycket omfattande konsekvenser. Totalt i Europa beräknas 45 000–70 000 fler dödsfall än normalt ha inträffat under två veckors värmebölja. Frankrike drabbades värst och hade förhöjd dödlighet i alla åldersgrupper.

Även i Sverige dör fler personer när det är varmt. En studie av Storstockholms befolkning visar att dödligheten är lägst vid dygnsmedeltemperaturer på 11–12 grader Celsius. Däröver ökar dödsfallen med över en procent per grad högre temperatur. Vid dygnsmedeltemperaturer över 22–23 grader och efter flera dagar i rad med denna temperatur är dödligheten förhöjd

med cirka 14 procent jämfört med svalt sommarväder. Effekten av värme på dödligheten i Stockholm verkar ha ökat under senare tid. Hög luftfuktighet ger en kraftigare riskökning. Om sommartemperaturen i genomsnitt stiger med 4 grader i Sverige och sambandet från Stockholm gäller, uppskattas de värmerelaterade dödsfallen kunna bli cirka tusen fler per år. Större variabilitet i temperaturen (mer extrema temperaturer) och anpassningsåtgärder kan dock påverka hur det skulle bli.

Allergen och luftföroreningar

Förändringen i klimatet under de senaste årtiondena har uppmärksammats av botaniker och pollenforskare som uppmätt allt tidigare start på pollensäsongen och allt längre säsonger. Det varmare klimatet leder också till att nya pollenproducerande växter etablerar sig allt längre norrut och att vissa allergenproducerande gräs och lövträd breder ut sig. Forskare har även visat att pollenproduktionen ökar med ökad koldioxidhalt och att högre temperatur ökar mängden allergen. Allergi är vanligt i länder som Sverige, och klimatförändringen kan medföra att perioden med besvär blir längre för dem som är allergiska mot pollen. Allergenexponeringen har också betydelse för risken att man utvecklar allergisk snuva och astma.

Ökad nederbörd och fler översvämningar kan göra det vanligare med fuktskadade hus, vilket kan öka människors exponering för ämnen från fuktskadade material och för mögelsporer. Visserligen är mögelallergi ovanligt, men risken för astma och luftvägsproblem är betydligt förhöjd i fuktskadade hus och kan ha med andra ämnen att göra.

Astma hos barn är i milda klimat ofta förknippad med kvalsterallergi. I norra Skandinavien och på högre höjd är vintrarna så kalla att luftfuktigheten inomhus i uppvärmda utrymmen på vintern blir mycket låg. Kvalster överlever inte kyla och torr inomhusmiljö varför allergi mot husdammskvalster ytterst sällan ses på dessa platser. I Västeuropa är förekomsten av astma hos barn högre ju högre inomhusluftens genomsnittliga relativa fuktighet är, medan hög höjd och stora temperaturskillnader mellan sommar och vinter leder till lägre astmarisk. Med några grader mildare vintrar kommer förekomsten av kvalster att spridas till nya områden vilket kan göra att fler utvecklar allergin.

Förändringar i klimatet kan påverka luftföroreningssituationen. Högre temperaturer påskyndar många kemiska reaktioner i atmosfären, exempelvis ozonbildningen. Dessutom ökar avdunstningen av flyktiga ämnen. Där klimatförändringen främst väntas

medföra högre temperaturer och torka, som i södra Europa, väntas bildningen av ozon och partiklar öka. Dessa föroreningar har väldokumenterad negativ effekt på människor, och kan både kortsiktigt och långsiktigt påverka sjuklighet och dödlighet. Torka kan komma att öka spridningen av partiklar från torra områden samt utsläppen av sot och gaser från skogsbränder. Å andra sidan kan mildare vintrar minska uppvärmningsbehoven och därmed utsläppen. Likaså kan områden som får mera regn gynnas av att föroreningar ”tvättas ur” luften. Effekterna på luften är sammantaget svårbedömda.

Smittspridning genom vatten och mat

Översvämningar och ökade vattenflöden kan leda till att sjukdomsframkallande organismer som finns i jord och mark hamnar i dricksvattnet. Man har på många håll i världen sett att utbrotten av diarréer ökar just efter kraftiga regn. Extrema väderhändelser kommer också att öka risken för översvämningar och störningar på avloppsreningsverk som gör att sjukdomsframkallande organismer eller farliga ämnen kan hamna i vattenledningsnätet.

Ökade temperaturer kan leda till ökad bakterietillväxt och sämre dricksvattenkvalitet. Det kan också leda till att badvatten påverkas. Under senare år har man dokumenterat ett antal fall av badsårsfeber som

orsakas av vattenlevande bakterier, en infektion som kan vara dödlig för känsliga personer.

Matförgiftningar är relativt vanliga. Särskilt känsliga är äldre, små barn och de som redan har en sjukdom. Vid ökad temperatur kan matförgiftningar bli vanligare. Hanteringen av maten är viktig. Felaktig kylning, otillräcklig tillagning eller upphettning är vanliga orsaker till matförgiftning. Ändrat beteende vid varmare väder ökar också matförgiftningarna, till exempel att man tillagar maten utomhus, äter mer sallader och äter ute i naturen.

Kommer malaria till Sverige?

Temperaturökningar kan göra att tropiska sjukdomar drabbar Europa. En del tropiska sjukdomar som sprids via myggor har dykt upp i Europa, till exempel utbrott av chikungunyafeber i Italien. Det är fortfarande ovanligt med den här typen av infektioner, men det är viktigt att ha ett bra övervakningssystem så att insatser snabbt kan sättas in för att bromsa utbrott.

Många funderar över om klimatförändringen kommer att leda till att malaria kommer tillbaka till Europa. Man har inte kommit till några definitiva slutsatser, men det är inte troligt att vi kommer att få problem med malaria i Sverige. Vi har idag myggor som skulle

kunna sprida malaria, och med ökad temperatur kommer det att finnas fler myggor under längre tid. För att malaria ska få fotfäste krävs det dock att det finns en överföring av malariaparasiten från människa till nya myggor. Det som talar emot att malaria blir ett problem i Sverige är att myggorna kommer att ha svårt att träffa på infekterat blod när de sticker. De fall av malaria som uppstår kommer troligen snabbt att upptäckas och behandlas.

Sjukdomar från fästingar och gnagare

I Europa är fästingen *Ixodes ricinus* den huvudsakliga smittbäraren för två smittor som drabbar människor, nämligen borrelia (Lymes sjukdom) och fästingburen hjärninflammation (TBE). Denna fästing sprids norrut i landet utmed Östersjökusten och förväntas komma att sprida sig i Norrland, utom i fjälltrakterna. Man har funnit att det ökade antalet fall av TBE i Stockholmstrakten sedan mitten av 1980-talet hänger samman med periodens mildare och kortare vintrar. I områden där TBE är spritt rekommenderas vaccinering.

Vid Lymes sjukdom kommer symtomen från huden, centrala nervsystemet, hjärta och leder. Smågnagare är vanliga reservoardjur. Fästingen suger blod från smågnagarna, blir på så vis infekterade och kan föra över smittan till människor. I Sverige förekommer

omkring 10 000 fall årligen hos människor. Det finns inget vaccin, men infektionen behandlas med antibiotika.

Under de senaste åren har man i Västerbotten haft en kraftig ökning av sorkfeber, troligen beroende på de milda vintrarna och ökad förekomst av skogssork. Smittan överförs från skogssork till människa, antingen genom inandning av dammpartiklar som förorenats av sorkens utsöndring eller via annan kontakt med virussmittat material. En majoritet av smittade uppger att de anser sig ha smittats vid aktiviteter i vedbodar och andra uthus, men också i boningshus. Sorkfeber kan ge hög feber, buksmärtor och njurpåverkan. Behandlingen är inriktad på symtomen.

Vi kan i ett varmare klimat förvänta oss att få problem med ökat antal insekter. Speciellt problematiskt kan det på våra nordliga breddgrader bli med bin, getingar och hästflugor. Allergiska reaktioner på bett av getingar och bin kan få allvarliga konsekvenser eftersom känsligheten ökar med ökad exponering.

De fattigaste länderna drabbas värst

Vi i Sverige är med vår utvecklade infrastruktur i en relativt god position för att möta ökade krav på anpassning till klimatförändringar. Det ser värre ut i många andra delar av världen. Många av världens

länder har låg kapacitet för anpassning och kommer att vara sårbara. Afrika anses vara den region som kommer att drabbas hårdast. Forskare spår minskad nederbörd på stora delar av kontinenten under de kommande hundra åren. Brist på vatten beräknas drabba 600 miljoner afrikaner fram till 2050 (att jämföra med dagens cirka 200 miljoner). Det kommer att påverka den lokala matproduktionen med ökade undernäringsproblem som följd. Malaria och andra infektioner kommer troligen att öka och spridas till nya områden.

Stora delar av Asien kommer att drabbas. Glaciäravsmältning i Himalaya kan på kort sikt komma att ge fler översvämningar och ras. På längre sikt förväntas minskad tillgång på färskt vatten. Låglänta kustområden som de i Bangladesh, Burma och Kambodja kommer att drabbas av ökade havsnivåer och fler stormar. Ökade temperaturer och fler värmeböljor kan komma att öka dödligheten hos Asiens snabbt växande grupp av äldre, framförallt de fattigare i storstäderna.

Klimatförändringen tillsammans med en kraftig befolkningstillväxt och urbanisering kan leda till konflikter och en ökad flyktingström. Även om det är de närliggande områdena som beräknas få ta emot den största delen av de potentiella ”klimatflyktingarna”,

kan en del väntas söka sig till Europa. Enligt svensk lag är det inte bara de flyktingar som uppfyller Genèvekonventionen som har rätt att söka asyl i Sverige, utan även de som är ”skyddsbehövande” vilket inkluderar behov av skydd på grund av miljökatastrofer. Ett effektivt biståndsarbete som tar hänsyn till klimatförändringarnas olika aspekter kan göra att risken för miljörelaterade konflikter minskar och behovet av akut katastrofhjälp begränsas.

Bertil Forsberg är docent och enhetschef vid Yrkes- och miljömedicin, Umeå universitet. Han forskar huvudsakligen om hälsokonsekvenser av luftföroreningar och klimatförändring, delvis med stöd av Formas.

Anna-Karin Hurtig är docent vid Epidemiologi och folkhälsovetenskap, Umeå universitet. Hennes forskning är fokuserad på hälsosystem i låginkomstländer.

Så kan vattnet räcka till både mat och bioenergi

Mera bioenergi behövs för att minska utsläppen av växthusgaser. Samtidigt växer efterfrågan på mat, och det kan uppstå konkurrens om begränsade resurser som mark och vatten. Vatten är redan idag en bristvara på många håll, och när klimatet förändras kan situationen förvärras. Då gäller det att använda vattnet smartare så att mängden producerad och nyttiggjord biomassa per liter vatten kan öka. Här finns mycket som kan förbättras, och efterfrågan på bioenergi öppnar för nya möjligheter, skriver Göran Berndes, Louise Karlberg och Jan Lundqvist.

Göran Berndes, Institutionen för energi och miljö, Chalmers.

Louise Karlberg, Stockholm Environment Institute.

Jan Lundqvist, Stockholm International Water Institute.

Klimatförändringarnas konsekvenser för jordbruket kommer att variera mellan olika regioner i världen. Studier pekar på att många utvecklingsländer, där anpassningskapaciteten är lägst, kan drabbas hårt av både torrperioder och översvämningar. En höjning av havsytan och översvämningar orsakade av stormar kan också orsaka stor skada genom att havsvatten tränger in över landet och allvarligt begränsar färskvattentillgången.

En tredjedel av världens odlingsmark befinner sig lägre än fem meter över havsnivån. Himalayas glaciärer – varifrån de stora asiatiska floderna får sitt vatten under den torra delen av året – kan komma att försvinna, vilket skulle leda till svåra konsekvenser för det bevattnade jordbruket i regionen. Även andra områden kan komma att drabbas av att tillflödet från glaciärer avtar, såsom USA:s västkust som får en stor del av sitt vatten från glaciärer i klippiga bergen och Sierra Nevada. Det råder fortfarande stor osäkerhet kring hur viktiga faktorer som temperatur och nederbördsmönster kommer att ändras i olika delar av världen, men det är inget tvivel om att förändrad vattentillgång kan påverka förutsättningarna för jordbruk dramatiskt.

Samtidigt förväntas trycket på jordbruket öka avsevärt, dels genom att efterfrågan på mat stiger som ett

resultat av en växande och allt rikare global befolkning, dels genom att efterfrågan på bioenergi förväntas öka då kraven höjs på att minska användningen av fossila bränslen för att lindra klimatpåverkan från samhället. Många bedömare ser också att användningen av fossilbaserade drivmedel måste ersättas av något annat på sikt på grund av världens begränsade oljetillgångar, och biodrivmedel blir då ett alternativ.

Konkurrens och synergier mellan mat och bioenergi

En mycket omdebatterad fråga på senare tid är hur konkurrenssituationen ser ut mellan produktion av mat och bioenergi. När livsmedelspriserna stiger snabbt drabbas utsatta grupper i olika delar av världen mycket hårt. Det är omtvistat hur sambanden ser ut mellan ökad bioenergiproduktion och stigande liv medelspriser, men det är ändå befogat att ställa frågan: Kan bioenergi få en betydande roll utan att matsäkerheten äventyras? Och vad kan en expansion av både mat- och bioenergiproduktion få för konsekvenser på andra ekosystems uthållighet? Minst lika viktig, men sällan uttalad, är frågan: Hur kan vi genom förändrad kosthållning och bättre hushållning minska trycket och mildra den framtida påverkan från jordbruket?

Vi ska beskriva olika strategier för att möta en ökande efterfrågan på mat och bioenergi. Redogörelsen tar sin utgångspunkt i ett vattenperspektiv. Den är också

relevant för bland annat diskussionen om kolsänkor, där exempelvis skogar etableras för att binda atmosfärisk koldioxid. På samma sätt som expanderande bioenergi- och matproduktion innebär även beskogning ett förändrat vattenanspråk i förhållande till tidigare markanvändning, vilket i sin tur påverkar omgivande ekosystem. Generellt kan sägas att om åker, betesmark eller naturekosystem med sparsam vegetation beskogas så ökar sannolikt vattenåtgången genom att växterna suger upp mera vatten som avges via transpiration genom bladens klyvöppningar. Det kan innebära en ytterligare pressad situation i områden som redan kännetecknas av vattenbrist. Samtidigt kan beskogning om den sker på ett genomtänkt vis – liksom etablering av energiskog och andra typer av växtlighet – leda till positiva effekter som exempelvis minskad erosion i vissa regioner.

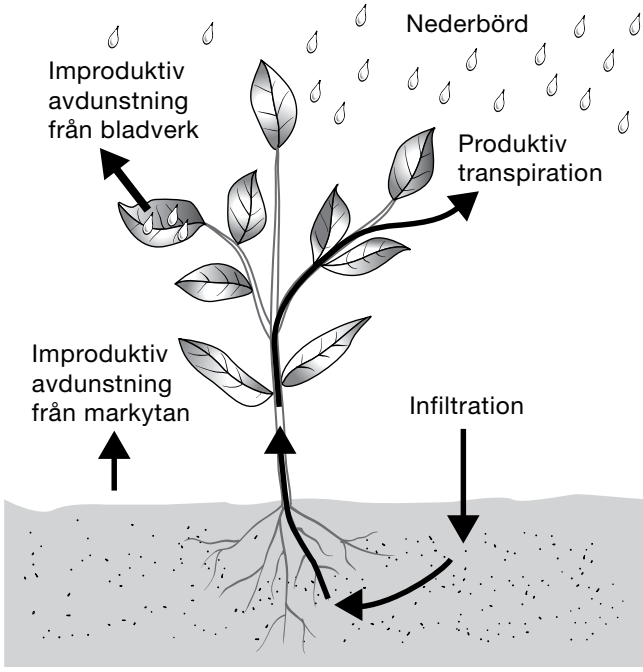
Markanvändningsstrategier måste naturligtvis också ses i ett socioekonomiskt sammanhang. Biomassaproduktionen – för mat, bioenergi eller andra ändamål – utvecklas som svar på efterfrågan, och världens bönder väljer därmed inte i första hand att producera det som är bäst ur ett renodlat vattenperspektiv.

Vattnet och växterna

Vattnets kretslopp drivs av solen och är en förutsättning för en mångfald funktioner som människor,

djur och växter är helt beroende av. Den totala mängden nederbörd som faller över land uppgår i genomsnitt till cirka 110 000 kubikkilometer per år. Av detta återgår ungefär 70 000 kubikkilometer till atmosfären per år genom avdunstning från mark, bladverk, sjöar och vattendrag, samt genom växternas transpiration (figur på nästa sida). Hur återflödet av vatten till atmosfären ser ut bestäms dels av klimatfaktorer som temperatur och luftfuktighet, dels av hur marken och vegetationen ser ut. Återstående 40 000 kubikkilometer per år bildar ytavrinning eller dränerar ner till grundvattnet för att sedan fortsätta genom landskapet i sjöar och vattendrag, och når slutligen havet.

Transpirationen är själva grunden för produktion av både mat och bioenergi. Det vatten som sugs upp av växterna och passerar genom deras kärlsystem kan nämligen användas i fotosyntesen i växtens gröna delar. Där bildas energirika ämnen av vatten och koldioxid med hjälp av energi från solen. Det vatten som sugs upp ur marken gör också att växtens celler hålls utspända så att växten inte vissnar. När vattnet i kärlen när växtens klyvöppningar så avdunstar det, och detta är själva transpirationen. Transpirationen skapar ett undertryck i växtens kärl och gör att rötterna suger upp mera vatten ur marken.



Det vatten som infiltreras i marken kan sugas upp av växten och passera dess kärlsystem. En del av det vattnet används i fotosyntesen. En annan del avgår från bladens klyvöppningar genom transpiration och bidrar till att hålla uppe suget efter mera vatten ur marken. En del vatten avdunstar direkt från mark och bladverk och bidrar inte till produktionen i växten.

Ungefär en fjärdedel av avdunstning och transpiration från landområden sker från jordbruksmark, det vill säga odling för mat och djurfoder samt betesdrift, men variationen är stor mellan olika länder. Huvuddelen av det här vattnet är ursprungligen regnvatten

som fallit över jordbruksmarken, men en betydande del är också ytavrinning eller grundvatten som avleds från floder och sjöar eller pumpas upp från grundvattnet och utnyttjas för bevattning.

Strategier för effektivare vattenanvändning

Sett ur ett vattenperspektiv kan vi inom jordbrukssystemet öka produktionen av mat, bioenergi och andra biomassabaserade produkter genom att:

- expandera odlings- och betesmark och/eller öka bevattningen inom jordbruket (ökat vattenanspråk).
- investera i brukningsmetoder som möjliggör att en del av det vatten som avdunstar från mark och bladverk istället återgår till atmosfären genom växternas transpiration; detta bidrar till ”more crop per drop” utan att nödvändigtvis leda till ökad total vattenförbrukning (ökad vattenproduktivitet).
- förädla den producerade biomassan effektivare till mat, bioenergi eller andra produkter som även utnyttjas effektivare, bland annat genom kaskadanvändning där till exempel trä först kan användas för att producera papper som sedan återanvänds innan det slutligen används för energiändamål (ökad effektivitet).

Strategierna innebär att vi måste göra avvägningar mellan värdet av ökad produktion, kostnaden för att

åstadkomma den ökade produktionen (genom ökad biomassaproduktion eller effektivare utnyttjande av redan producerad biomassa) samt den påverkan på omgivande ekosystem som de olika strategierna ger upphov till.

När naturen blir jordbruksmark

Rent biofysiskt finns det fortfarande förutsättningar för en areell expansion av jordbruket i vissa avrinningsområden. Den areella expansionen kan drastiskt förändra (både öka och minska) tillgången på vatten i andra delar av landskapet, speciellt i nedströms områden. På många håll i världen sker den pågående areella expansionen på bekostnad av naturekosystem med hög biodiversitet, ekosystem som också upprätthåller andra viktiga ekosystemtjänster. Ett exempel är den gradvisa omvandlingen av Brasiliens regnskog och artrika savann (*cerrado*) till jordbruksmark. Ett annat exempel är expansionen i Sydostasien av oljepalmsplantager som på många håll har orsakat omfattande förluster av regnskogar.

Utöver de biodiversitetsförluster som är förknippade med omvandling av naturekosystem kan sådan jordbruksexpansion också leda till stora koldioxidutsläpp. Speciellt skogar innehåller stora mängder kol bundet i mark och biomassa, kol som till stor del avgår som koldioxid vid markomvandlingen.

Mer vatten utnyttjas genom areell expansion. Mer vatten kan också utnyttjas för biomassaproduktion genom att mer ytavrinning eller grundvatten utnyttjas för bevattning inom jordbruket. I många länder sker redan en storskalig transport av vatten från ett avrinningsområde till ett annat och nya megaprojekt diskuteras eller är på gång, till exempel i Indien och Kina. Genom att borra brunnar, bygga dammar och omfördela vatten mellan geografiskt skilda områden kan vi i viss utsträckning utnyttja vatten som annars inte är tillgängligt därför att det befinner sig långt från odlingsområdena, bara finns tillgängligt utanför växtsäsongen eller helt enkelt avgår som stora flöden under regnperioder.

Men strategier som fokuserar på att utnyttja avrinnings- eller grundvattenflöden har i många länder blivit allt mer kontroversiella och dyrare i såväl finansiella, sociala som miljömässiga termer. Dammar och stora uttag av yt- och grundvatten äventyrar uthålligheten i akvatiska och terrestra ekosystem och kan skapa problem när det gäller sedimenttransport, utspädning och temperaturreglering. Det kan också leda till sjunkande grundvattennivåer som på sikt kan resultera i saltvatteninträngning.

Att ”skörda” regnvatten

En viktig möjlighet är att lokalt fånga in ytavrinning,

till exempel i små dammar (*rain water harvesting*, RWH), som sedan kan användas till bevattning. Den här typen av lösningar är mest relevanta för tropiska områden där nederbörden ofta faller som häftiga skyfall, och där några dagars till några veckors torka regelbundet infaller under regnperioderna. Dessa torrperioder orsakar idag stora skördebortfall och i värsta fall missväxt. Eftersom torrperiodernas frekvens förväntas öka i ett förändrat klimat blir den här typen av åtgärder allt viktigare.

Förutom att överbrygga torrperioder kan RWH-strategier begränsa erosion och minska sedimentation i floder och sjöar. Men en storskalig utbyggnad skulle i en del områden eventuellt kunna orsaka negativa effekter genom minskad vattentillgång nedströms. Här behövs mer forskning för att bättre förstå sambanden mellan uppströms RWH-strategier och nedströms vattentillgång – för att kunna väga uppströms fördelar och nedströms nackdelar i utvecklingsstrategier.

Minska den improduktiva avdunstningen!

Det är omöjligt att ange absoluta gränser för vårt utnyttjande av ytavrinnings- och grundvattenflöden – inte minst på grund av osäkerheter kring hur klimatförändringarna påverkar. Men baserat på uppskattningar som görs kan vi konstatera att vi på global

nivå redan tar i anspråk mer än hälften av vad som kan bli tillgängligt inom ramen för ett hållbart vattenutnyttjande och att det i flera regioner redan idag råder brist på vatten. Det gör att möjligheterna till ökad biomassaproduktion baserat på ökat vattenuttag är relativt begränsade.

Förbättrad vattenproduktivitet inom jordbruket kan dämpa ökningen av det framtida vattenbehovet för matproduktion avsevärt. Med vattenproduktivitet menas förhållandet mellan den mängd biomassa som produceras och den mängd vatten som förbrukats (transpirerat eller avdunstat) vid produktionen. Knappt hälften, och ibland betydligt mindre, av det vatten som återgår till atmosfären från jordbrukssystemet används idag på ett produktivt sätt, det vill säga via växternas transpiration, men den regionala variationen är stor. Genom att öka andelen som går till transpiration kan vi förbättra systemets vattenproduktivitet. Detta kan vi åstadkomma genom olika typer av skötselmetoder, till exempel marktäckning, förändrade markberedningsmetoder, skyddsbevattning, gödsling och inte minst genom ett markbruk som innebär ett tätare vegetationsskikt som skuggar jorden och därmed minskar avdunstningen från marken.

Det är viktigt att i så stor utsträckning som möjligt öka den produktiva transpirationen *på bekostnad*

av den improduktiva avdunstningen från mark och bladverk, eftersom det innebär att man kan producera mera utan att nödvändigtvis minska vattentillgången för andra användare eller områden nedströms. Om en avsevärd del av den ökade transpirationen sker på bekostnad av nedströms vattentillgång riskerar man att vinsterna av ökad uppströms produktion tas ut av minskad nedströms produktion. Ett exempel är Sydafrika där negativa erfarenheter från uppströms beskogningsprojekt nyligen har resulterat i ett krav på vattenanvändningstillstånd innan nya skogsplantager får etableras.

Samodling ökar vattenproduktiviteten

Den ökande bioenergiefterfrågan innebär inte bara en ytterligare belastning på redan hårt ansträngda vattentillgångar, utan också nya möjligheter. För närvarande används konventionella jordbruksgrödor för biodrivmedelsproduktion, men på sikt förväntas lignocellulosa utgöra den huvudsakliga bioenergirråvaran både för kraft- och värmeproduktion och för produktion av drivmedel. Därmed blir det intressant att producera nya sorters grödor. Många av de grödor som kan komma att användas för bioenergi är fleråriga och har längre växtsäsong än traditionella jordbruksgrödor. Ett väl utvecklat vegetationsskikt under en större del av året innebär att mer av den årliga nederbörden kan kanaliseras till växternas

transpiration. Genom att integrera bioenergigrödor med traditionella jordbruksgrödor och med betesdrift går det att nå stora förbättringar i den totala vattenproduktiviteten.

Samtidigt kan förstås den totala vattenomsättningen (alltså summan av avdunstning och transpiration) inom systemet öka, vilket kan resultera i vattenrelaterade problem i områden nedströms. Det finns dock omfattande arealer med degraderad mark eller extensivt utnyttjad betesmark, och på delar av dessa marker bör odling av energigrödor kunna ske utan att sådana problem uppstår.

Vattensmart konsumtion

I takt med förbättrade ekonomiska villkor och ändrade levnadsförhållanden har konsumtionsmönstren när det gäller mat ändrats drastiskt. Den inledande frågan om den här utvecklingen kan fortsätta om vi dessutom ska producera biomassa för energi är högst relevant. Svaret på frågan bör sökas utifrån ett brett perspektiv som greppar över hela utbudskedjan, från produktionen av biomassa till den slutliga konsumtionen. En viktig fråga blir hur den biomassa som produceras kan omvandlas effektivare till mat, bioenergi eller andra produkter – och också utnyttjas effektivare. På samma sätt som vi idag börjar bli bekanta med begreppet klimatsmart konsumtion kan

Vattenproduktiviteten kan förbättras genom att energigrödor integreras med till exempel majsodling eller med betesdrift. Exemplen är hämtade från Brasilien.

vi prata om vattensmart konsumtion, det vill säga konsumtion med hög vatteneffektivitet.

Det är stor skillnad mellan vad som produceras, vad som finns i butikerna (utbudet) och det faktiska matintaget, det vill säga hur mycket vi äter. Här behövs fler studier, men de som finns indikerar att i storleksordningen hälften av den mat som finns på bondens fält på olika sätt förloras i matkedjan. Svinnet på fälten och i transport- och lagringsleden är ett stort problem i fattiga länder med varmt och fuktigt klimat. Även den mat som försvinner eller slängs har kostat vatten och andra resurser att producera. En effektivare livsmedelskedja med mindre förluster kan förbättra våra möjligheter att klara av den framtida matförsörjningen till en ökande befolkning som får allt mer pengar att röra sig med.

En stor möjlighet finns i att utnyttja organiskt avfall och restprodukter för bioenergiändamål. Det innebär att biomassa vars produktion redan tagit vatten i anspråk utnyttjas bättre; den totala vattenproduktiviteten kan förbättras avsevärt. Men återigen gäller det att göra avvägningar. Restprodukter används för andra ändamål som till exempel djurfoder och markvård; en del skörderester måste lämnas kvar för att åkerns bördighet ska bevaras. Men modellbaserade analyser antyder att en omfattande bioenergiproduktion

kan baseras på ett hållbart utnyttjande av dessa restproduktflöden. Om även delar av restproduktflödena inom skogssektorn och organiskt konsumentavfall utnyttjas kan kanske i storleksordningen 50–100 exajoule (EJ; 1 EJ = 10^{18} joule) biomassa bli tillgängligt runt 2030. Detta kan jämföras med den globala oljeanvändningen som år 2005 var ungefär 160 EJ.

Viktiga framtidsfrågor

Det återstår många viktiga frågor att besvara, till exempel hur vi kan hantera en snabbt ökande efterfrågan på mat som är mycket vatten-, areal- och resurskrävande och som dessutom medför stora utsläpp av växthusgaser. Det gäller framförallt köttproduktion, särskilt nötkött; globalt sett är växthusgasutsläppen i nivå med utsläppen från transportsektorn. Räknat per energiinnehåll i maten kräver köttproduktion i genomsnitt åtta gånger så mycket vatten som vegetabilier, men skillnaderna mellan olika typer av kött är stora.

Andra frågor som kommer att behöva besvaras i framtida utvecklingsstrategier är:

- Var kan biomassaproduktionen för energiändamål komma att expandera, och vad får det för konsekvenser för tillgången på vatten i nedströms områden?
- Hur påverkas vattenflödena i hela avrinningsområdet av förändrad markanvändning och skötsel, och vad innebär det för ekosystemens uthållighet och livsbetingelserna för människorna lokalt?

Om vår konsumtion av biomassa kunde göras mer vattensmart skulle det skapas större utrymme för alla tre: mat, bioenergi och naturekosystem. Men hur kan incitament skapas för att stimulera till vattensmart konsumtion? Här finns ett stort behov av användarvänliga beslutstödssystem som kan dels illustrera konsekvenser av olika markanvändnings- och skötselalternativ, dels hjälpa avnämare och beslutsfattare att identifiera potentiella konflikter och se behovet av ny policy inom dessa områden.

Göran Berndes är forskare på Institutionen för energi och miljö, Avdelningen för fysisk resursteori på Chalmers. Hans forskning handlar om markanvändning och energisystem inklusive deras inbördes påverkan. Han är särskilt intresserad av hur bioenergi kan produceras och användas för att bidra till både klimatnytta och en mer bärkraftig mark- och vattenanvändning.

Louise Karlberg är verksam som forskare vid Stockholm Environment Institute och Stockholm Resilience Centre. Hon arbetar främst inom området ekohydrologi som omfattar studiet av vattnets funktioner och flöden i ekosystemen.

Jan Lundqvist arbetar vid Stockholm International Water Institute där han är ordförande i den vetenskapliga kommittén. Han har arbetat mycket med vatten och utvecklingsfrågor i olika delar av Afrika, Asien och Mellanöstern, bland annat inom ramen för ett Formasprojekt om överintecknade vattenresurser i södra Indien.

Lästips

- *Water for food*, Formas 2008 (www.formas.se).
- *Multifunctional bioenergy systems*. The AGS Pathways Report 2007:EU1. The Alliance for Global Sustainability (www.agschalmers.se/publications.html).
- *Tema: Vatten för liv och samhälle.* Miljöforskning nr 5–6, 2007 (www.formas.se).
- Göran Berndes, Julia Hansson och Stefan Wirsenius. *Biomassa – en knapp resurs i globalt perspektiv*, i pocketboken Bioenergi – till vad och hur mycket? (www.formasfokuserar.se)

Biobränslen med flera fördelar – exempel från Zambia

Ökad produktion av moderna biobränslen i utvecklingsländer kan minska fattigdom och mildra klimatpåverkan. Men det gäller att välja grödor som passar till de ekologiska och sociala villkoren. I Zambia har man bedömt att busken Jatropha curcas är den allra lämpligaste grödan för produktion av biodiesel. Men Jatropha kan även leverera en rad andra produkter. Och den kan bidra till minskad avskogning, bättre jordmån och en positiv landsbygdsutveckling, skriver Francis X. Johnson och Thomson Sinkala.

Francis X. Johnson, Stockholm Environment Institute.

Thomson Sinkala, University of Zambia.

Bioenergi har de senaste åren framstått som en viktig del i övergången till hållbar energi i både industri- och utvecklingsländer. Bioenergi är den enda kategori av förnybara energikällor som är tillgänglig kontinuerligt, och det är också den enda som kan ge energi i alla former och energibärare – värme, el, mekanisk energi, gas och flytande bränslen. Bioenergi har ytterligare en fördel i att den kan bidra till bättre utveckling av jordbruket och förbättra förstörd jordar som inte lämpar sig för livsmedelsproduktion.

Samtidigt innebär storskalig utbyggnad av bioenergi – och i synnerhet flytande biobränslen – en rad miljömässiga och sociala utmaningar, till exempel konkurrens med livsmedelsgrödor, utslagning av småbönder samt markförstöring. Bioenergi lagrar kol och minskar koldioxidutsläppen jämfört med fossila bränslen. Men när skog eller andra kolrika markområden röjs för bioenergiodlingar kan det faktiskt vara en nettoförlust med tanke på växthusgaser snarare än en nettovinst, beroende på vilken typ av mark det gäller och den tidshorisont som väljs.

För att undvika sådana problem är det nödvändigt att välja grödor som passar bra till de ekologiska och sociala villkoren i den region det gäller. I tropiska och subtropiska klimat är sockerrör och oljepalm de mest

produktiva biobränslegrödorna, i tekniska termer. Men eftersom dessa grödor odlas i monokulturer och har särskilda krav på klimatförhållanden finns ett ökat intresse för andra alternativ som kanske inte är så tekniskt avancerade men som har starka sociala och/eller miljömässiga fördelar. Grödor som kan ge en mängd andra produkter och tjänster utöver energi är särskilt tilltalande i vissa utvecklingsländer där biprodukter kan ersätta dyr import och/eller förbättra hälsa och livskvalitet på landsbygden.

Ett sådant exempel är *Jatropha curcas*, en oljegröda som kan växa i en mängd tropiska och subtropiska klimat och ger många biprodukter som ofta är värdefulla för landsbygden. Vi fokuserar på fallet Jatropha i Zambia och undersöker i detalj hur små familjejordbruk kan dra nytta av sin odling. Vi diskuterar också Jatropha i ett nationellt sammanhang som en del av Zambias energipolitik och biobränslestrategi.

Zambias energipolitik och biobränslestrategier

Zambia är ett litet land i södra Afrika. Även om det är ett mycket fattigt land så är jordbruksvillkoren bra och det finns tillräckligt mycket mark av hög kvalitet för att föda de egna medborgarna. Det är i allmänhet bara under torra perioder som landet är nettoimportör av mat. Zambia är ett inlandsområde och har låg befolkningstäthet. Därför innebär transporter

och infrastruktur stora kostnader och har betydande inverkan på den socioekonomiska utvecklingen i landet. Säkerheten i bränsletillförseln är därför en lika viktig fråga som livsmedelsförsörjningen, eftersom jordbrukare och små företag kämpar för att få sina produkter till marknader och distributionscentraler.

I november 2007 införde den zambiska regeringen en energipolitik där det ingår biobränslen, och det förväntas bli obligatoriskt att blanda biodrivmedel i bensin. Den zambiska regeringen inser också behovet av att minska utsläppen av växthusgaser och har undertecknat Kyotoprotokollet. Zambia har utvecklat en politik för att utnyttja sitt utrymme som producent av förnybara bränslen och underlätta tillväxten av biobränslen inom industrin för att bidra positivt till den zambiska ekonomin. Den ramen har skapat en marknad i Zambia för flera år framöver, åtminstone för att ersätta fossil diesel med biodiesel.

Jatropha rankad högst för biodiesel

Det finns flera möjliga grödor för produktion av biobränslen. För biodiesel kan det vara bomull, Jatropha, raps, solrosor, sojabönor, jordnötter, oljepalm, avokado och castoroljefrön. För bioetanol kan möjliga källor vara majs, sockerrör, sweet sorghum, kassava, sötpotatis och switchgrass. Valet av råvaror beror

på klimatet och det socioekonomiska sammanhang som råder i ett visst land eller en viss region.

I Zambia har man bedömt och analyserat olika energigrödor för utveckling av biodrivmedel. Vid bedömningen har man använt tolv kriterier, bland annat typ av ägande, produktion, teknik, nya arbetstillfällen, motståndskraft mot yttre påverkan, mångfald av biprodukter, minsta storlek på investeringar som krävs, marknadens omfattning, krav på mark, krav på vatten, livsmedelsförsörjning, markens bördighet, geografisk täckning och miljöpåverkan.

När det gäller biodiesel blev *Jatropha curcas* den högst rankade, följd av oljepalm. Jatropha är härdig mot torka och kan odlas i hela landet. Palmolja ger hög energiproduktion, men kan odlas bara i vissa områden med hög nederbörd och är mindre öppen för småskalig odling och förädling. Till skillnad från palmolja är jatrophaolja inte ätlig och det är därför mycket mindre sannolikt att det blir konflikter med livsmedelsproduktion.

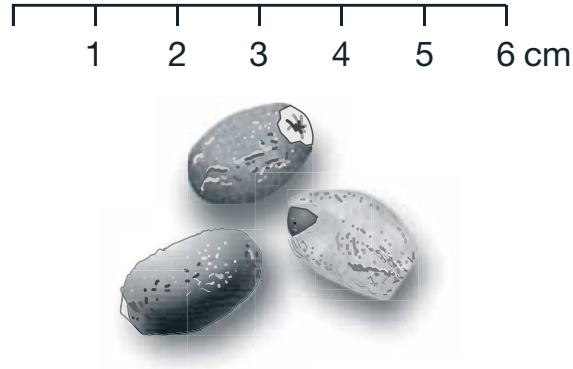
Vad produceras – och för vilken marknad?

Alla delar av jatrophaväxten inklusive rötter, blad, mjölksaft, frön, bark och kvistar används för allt från läkemedel till bränslen och även miljökontroll för att försvara odlad mark från djur. Jatropha

Jatropha curcas

Jatropha curcas (familjen *Euphorbiaceae*) är en stor och grov buske på 5 till 8 meter. Frukterna är kapselliknande och 2,5–4 centimeter i diameter. De är gula som mogna och blir mörkbruna efter torkning. Frukterna innehåller två eller tre frön. Fröna innehåller i genomsnitt 35–37 procent olja, men det finns rapporter om upp till 55 procent olja. Jatropha kan föryngras med hjälp av frön, sticklingar eller plantor. Sticklingar har en livslängd på 10–15 år medan växter från frön eller plantor ger en livslängd på mer än 50 år. Jatropha är relativt lätt att etablera, men som alla grödor kräver den markberedning. Jatropha växar bra på dränerad mark i varma områden med temperaturer från 20 till 32 grader Celsius. Den tål inte frost och kalla nätter och vill ha mellan 300 och 1 500 millimeter regn om året. Den kan växa på upp till 1 500 meter över havet. Vid långvarig torka ramlar de flesta bladen av för att minska transpirationen.

Jatropha anses komma från Centralamerika och Västindien. I Zambia har den funnits i mer än 300 år. Den odlas på en mängd olika sätt beroende på syftet, till exempel som levande staket runt hem och odlingar (växten är giftig och håller djur borta), som prydnadsföremål i privata trädgårdar, som stöd för andra grödor såsom vanilj, och i kommersiella odlingar för produktion av till exempel biodiesel.



Jatrophafrön är ungefär 2 centimeter långa – och mycket rika på olja.

rapporteras ha mer än 1 600 användningar, främst på grund av att den vegetabiliska oljan kan omvandlas till alkoholen glycerol som i sig har cirka 1 500 användningsområden.

I århundraden har jatrophaolja använts i lampor, en ljuskälla som brinner utan att avge rök. Oljan används för att göra tvål i flera afrikanska länder, och den har nyligen börjat användas som bränsle till fordon och generatorer. Den presskaka man får som biprodukt från oljeproduktionen kan användas för direkt förbränning eller omvandlas till träkol. Den används också allmänt för produktion av biogas till matlagning och uppvärmning. Jatrophakakan är rik på kväve, fosfor och kalium och kan också användas som organisk gödsel, som har visat sig vara långt

bättre än kodynga. Olika analyser har utförts som visar att halten av växtnäringsämnen är relativt hög jämfört med oorganiska (fossila) gödselmedel. Landsbygden kan därmed producera organiskt gödselmedel som inte bara är lättillgängligt utan även bidrar till att minska jordbrukets produktionskostnader, båda delarna med positiva effekter för en tryggad livsmedelsförsörjning.

Biodiesel tillverkad av vegetabiliska oljor har visat sig vara den enda möjligheten att på kort sikt ersätta fossil diesel, som dominerar över bensin i de flesta regioner i världen. Beroendet av petroleumprodukter genomsyrar alla sektorer, inte bara transporter. Läkemedel, kemikalier och nästan alla basindustrier är beroende av oljeprodukter. Men oljeutvinningen tycks närma sig sin globala topp, och med stora pristoppar som den som inträffade under 2007–2008 är utvecklingsländer som Zambia särskilt utsatta eftersom det höjer priset på i stort sett alla varor och tjänster till höga nivåer.

Det finns flera typer av oljeutvinningsmaskiner, allt från mycket enkla pressar för familjejordbruk till större och mer sofistikerad utrustning för storskalig verksamhet. Med hjälp av enkla oljepressningsmetoder kan landsbygdsbefolkningen engagera sig i småskalig jatrophaindustri. Produkterna kan

antingen fylla deras egna behov eller säljas till företag och kommersiella distributörer.

Kommersiella engagemang i biobränsleindustrin i Zambia har i allmänhet varit baserade på några olika funktionssätt, bland annat 1) *självdrivande system* för dem som redan äger mark; kan placeras var som helst i Zambia, 2) *outgrower*, för små till stora jordbrukare som kontrakteras för att odla Jatropha för en entreprenör; odlarna placeras inom en för kontraktsparten ekonomisk radie, 3) *öppna system*, för dem som är fria att sälja till en köpare på marknaden; ska vara spridda över hela landet, samt 4) *hybridsystem*, med kombinationer av de övriga systemen.

Viktig växt för familjejordbrukens ekonomi

En intressant aspekt när det gäller jatrophabaserad industri i ett utvecklingsland som Zambia är att odlaren blir den första marknaden, det vill säga produkterna från jatrophaväxten används för självförsörjning i första hand. Ett familjejordbruk med två föräldrar och sex barn behöver varje år vissa nyttigheter, som framgår av exemplet i tabellen. Mängden gödsel är för odling av majs och grönsaker för familjen och andra som arbetar i familjejordbruket. Elektricitet är inte tillgänglig i landsbygdsområden, och den angivna mängden är vad som behövs för att generera el för belysning ett par timmar på kvällarna.

Ett exempel som illustrerar värdet av jatrophaindustrin för hushållens ekonomi i Zambia. Tabellen visar vad det skulle kosta för ett familjejordbruk att skaffa sig samma nyttigheter med hjälp av andra energikällor än Jatropha.

Typ av nyttighet	Liter	Kilogram	Kostnad (USA-dollar per år)
Bränsle (diesel per år)	4 224		9 051
Tvål (motsvarande olja per år)	24		288
Träkol		4 800	1 097
Gödselmedel		1 000	1 143
Myggmedel (motsvarande olja per år)	3		103
Elproduktion	1 095		2 346
Summa	**5 346**	**5 800**	**14 028**

Den årliga kostnaden för att leverera dessa nyttigheter från andra energikällor än Jatropha är ungefär 14 030 USA-dollar. Med Zambias mått mätt är detta en mycket betydelsefull del av familjens ekonomi. Alla nyttigheterna i tabellen kan tas fram med hjälp av jatrophaolja och jatrophakaka.

Minskar avskogning och förbättrar jordbruket

Användning av jatrophaolja och jatrophakaka minskar växthusgasutsläppen från fossila bränslen, men innebär även andra fördelar för miljön. Användningen av kol och ved som bränsle ökar i alarmerande takt i Zambia. Kol och biogas från jatrophakaka och elektricitet genererad med hjälp av jatrophaolja/biodiesel i generatorer kan minska avskogningen genom att ersätta kol och ved. Dessutom kan de områden som redan har avskogats åter göras gröna genom jatrophaodling. Jatropha är en flerårig växt med djupa rötter som kan förbättra jordmånen.

Hotet om dyra fossila bränslen och konsekvenserna av energibrist kan hindra landsbygdsutveckling och utgör ett allvarligt orosmoment för fattiga länder som Zambia. Jatropha verkar därför ha en viktig roll för att lindra osäkerheten när det gäller olja, bidra till landsbygdsekonomin och förbättra jordbruket. Zambia har gott om mark och matproduktionen hotas inte av biobränsleindustrin. Tvärtom, när Zambia kan uttnyttja energigrödor som Jatropha så kan biobränslen skydda marken från utarmning och samtidigt ge ett mer hållbart energisystem och minska utsläppen av växthusgaser.

Frågor som behöver uppmärksammas för att främja utvecklingen av jatrophaindustrin är bland annat politik och reglering, sektorsövergripande strategier, markfördelning, produktionskostnader, handelsrelaterade åtgärder, utnyttjande av effektivitetsvinster – och bättre genomslag hos allmänheten.

Francis X. Johnson leder en grupp som forskar på bioresurser och energipolitik vid Stockholm Environment Institute. Han har varit vetenskaplig rådgivare åt flera internationella organisationer. Han har också varit vetenskaplig koordinator för ett forskningsnätverk med fokus på bioenergi från sockerrör i södra delen av afrika.

Thomson Sinkala är adjungerad professor vid University of Zambia. Han har disputerat vid Luleå tekniska universitet med en avhandling om sociala och miljömässiga aspekter av gruvor i Zambia. Han är ordförande för Zambias bioenergiförening och verkställande direktör för Thomro Biofuels som producerar biodiesel och andra produkter av Jatropha.

Lockande kuster ger sårbara samhällen

Många kustområden är utsatta för klimatförändringar. Samhällena måste anpassa sig genom långsiktiga investeringar. Det är viktigt att diskutera de framtida effekterna av dagens beslut och kostnaderna för kommande generationer. Att göra ingenting blir dyrt, både ekonomiskt och mänskligt, skriver Richard Klein och Annika E. Nilsson. De belyser med exempel från Bangladesh, Arktis och Nederländerna. Bästa sättet att begränsa kostnaderna är att minska utsläppen av växthusgaser, anser de och har svårt att föreställa sig hur ens ett rikt land skulle klara av en höjning av havsytan på flera meter.

Richard J.T. Klein, Stockholm Environment Institute.

Annika E. Nilsson, Stockholm Environment Institute.

Områden där land möter hav har alltid lockat människor. Här finns stora floddeltan med bördiga jordbruksmarker, samtidigt som närheten till vattnet ger möjlighet till fiske och effektiva transporter. Kusternas produktiva ekosystem har dessutom lagt en grund för ekonomisk utveckling som har gjort kustområdena ännu mer attraktiva. Kusternas dragningskraft märks i befolkningsstatistiken. Sexton av världens tjugo största städer ligger vid en kust. Sammanlagt bor en fjärdedel av världens befolkning inom 100 kilometer från kusten och lägre än 100 meter över havet. Och andelen växer snabbt.

Det snabbt växande antalet människor sätter tryck på ekosystemen och på städernas infrastruktur. Samtidigt har människan stört många av de naturliga processer som en gång skapade kusterna, till exempel genom att hugga ner skog och bygga dammar och kanaler. Särskilt känsliga är kuster som har skapats av sediment. Klimatförändringarna innebär ytterligare påfrestningar. I takt med att världen blir varmare vidgar sig vattnet i haven samtidigt som isen i glaciärer och inlandsisar smälter. Detta gör att havsytan höjs. Höjningen har accelererat de senaste åren och ligger nu på ungefär 3 millimeter per år. En varmare värld betyder också att stormarna får mer energi, särskilt i tropikerna där redan 120 miljoner människor drabbas av sådana stormar varje år.

Mellan 1980 och 2000 dödades 250 000 människor av tropiska stormar.

Vad som händer längs kusterna när världen blir varmare kommer att bero på en rad olika omständigheter, där klimatet samspelar med ekosystemens dynamik, sociala förändringar, ekonomi och politik. Här ger vi tre exempel som visar hur klimatförändringar redan påverkar eller kommer att påverka människor som bor granne med havet. Budskapet är att människor i kustområden runtom i världen kommer att behöva anpassa sig till klimatförändringarna, och att kostnaderna både från effekterna och för anpassningen kommer att öka exponentiellt om den globala uppvärmningen inte kan hejdas.

Bangladesh

I november 2007 drog en av många cykloner in över Bangladesh. Den hette Sidr. I likhet med andra cykloner hade Sidr samlat energi över Bengaliska bukten innan den med kraftiga vindar och hårt regn rörde sig in över det lågt liggande deltat. Vindar på över 260 kilometer i timmen och fem meter höga vågor svepte in över fält och byar. Efteråt gick människor omkring bland bråten från förstörda hus i jakt på något som gick att rädda. De dödas kroppar låg kvar på fälten. Den officiella dödssiffran är 3 447 men vissa källor rapporterade upp till 10 000 döda.

En del lokala tjänstemän beskrev skadorna från Sidr som värre än skadorna från den värsta cyklonen som drabbat Bangladesh under de senaste tjugo åren, den i april 1991. Men cyklonen 1991 dödade betydligt fler: 140 000 människor. Under en cyklon 1970 som var svagare är Sidr dödades mer än en halv miljon. Mot den bakgrunden är det nästan överraskande med en dödssiffra på under 10 000 när en så kraftig cyklon som Sidr drabbar världens mest tätbefolkade delta i ett av världens fattigaste länder. Hur kunde dödstalen trots allt begränsas? Svaret ligger i att den förödande cyklonen 1991 öppnade människors ögon för att supercykloner inte är unika händelser. Förr eller senare skulle Bangladesh drabbas igen. Samtidigt blev både allmänhet och politiker mer medvetna om klimatförändringarna, där Bangladesh har lyfts fram som ett av de mest sårbara länderna eftersom så många människor bor i utsatta låglänta områden nära havet.

Under 1990-talet påbörjade regeringen i Bangladesh tillsammans med flera internationella hjälporganisationer och ett stort antal nationella och lokala organisationer ett mycket ambitiöst program för att öka beredskapen för cykloner bland kustbefolkningen i Bangladesh. Cyklonskydd byggdes (de används även som skolor och samlingslokaler), mangroveträsket Sundarban skyddades (mangrove skyddar mot höga

vågor), och människor fick utbildning om hur man ska bete sig när larmet går. Dessutom blev ansvaret för katastrofhantering tydligare på såväl nationell som lokal nivå. Särskilda insatser riktades mot kvinnor. Vid tidigare cykloner var en stor majoritet av offren kvinnor och barn som stannade hemma medan männen flydde till högre liggande mark. Nu finns det cyklonskydd enbart för kvinnor.

Att åtgärder har varit effektiva syns inte bara när man jämför dödssiffrorna från Sidr med dem från tidigare cykloner i Bangladesh, utan också i jämförelse med länder som saknar liknande program. I april 2008 drabbade cyklonen Nargis grannlandet Burma. Cyklonberedskapen var minimal. Nargis var en svagare cyklon än Sidr, ändå dödades minst 140 000 människor.

Klimatförändringarnas effekter är mest dramatiska i samband med tropiska stormar när människors liv och hälsa står i fokus, men även långsamma landförluster när havsytan stiger är ett allvarligt problem i tätbefolkade länder som Bangladesh där all tillgänglig mark behövs för bostäder och jordbruk. När trycket på kusten ökar från en kombination av människors verksamhet och klimatförändringar är risken stor att de kustnära ekosystemen kommer i kläm. De utgör ofta en viktig resurs både för lokalbefolkningen och

globalt. Mangroveskogarnas ekosystem är till exempel viktiga för fisk och skaldjur samtidigt som de binder kol och utgör ett viktigt skydd mot stormfloder. Ironiskt nog hotas detta skydd när det behövs som bäst.

Arktis

I byn Shismaref i Alaska bor ungefär 590 inupiat (ett inuitfolk). Byn ligger på en sandig ö utanför Sewardhalvöns nordvästra kust. 2002 röstade befolkningen i Shismaref för att flytta byn till högre mark. Anledningen är att stranden rasar bit för bit. Och husen följer med.

FN:s klimatpanel IPCC har pekat på Arktis som en av de regioner där klimatförändringarnas effekter på kusterna redan märks, och Shismaref är en av många byar i nordamerikanska Arktis som har drabbats. En studie har nämnt inte mindre än 184 byar i Alaska i riskzonen för översvämningar och erosion. Fyra byar planerar redan att flytta. Som ofta är fallet med klimatförändringarnas effekter och den anpassning som krävs är det oklart vem som ska stå för kostnaderna, i detta fall för att flytta hela byar.

Bakom erosionen och rasen ligger en kombination av faktorer som belyser kustprocessernas komplexitet. Shismaref ligger i ett område med permafrost där

bara det översta lagret i marken tinar på sommaren medan resten är kvar i djup tjäle. Det är också ett område där havet är istäckt under större delen av året, vilket skyddar kusten från vågor. Isens skydd är särskilt viktigt under höststormarna. Men Arktis är ett av de områden i världen där uppvärmningen går som snabbast, med en ökning av medeltemperaturen under vinter/vår på en grad per decennium sedan 1980-talet. Bland de direkta konsekvenserna märks tinande permafrost och allt mindre havsis. De senaste åren har isens utbredning minskat betydligt snabbare än klimatmodellerna har förutspått.

För urbefolkningen i Arktis är stranderosion bara en av många förändringar som följer med ett varmare klimat och påverkar människors liv. Högre temperatur och mindre is kommer också att få följder för djurlivet. Eftersom jakten är en central del av kulturen för många arktiska urbefolkningar blir klimatförändringen ett hot även mot den kulturella och religiösa identiteten. Samtidigt står många samhällen i Arktis inför stora sociala utmaningar i ett allt intensivare möte med en globaliserad värld.

Även om framtiden ser dyster ut finns det också möjligheter. Att flytta på en by ger möjligheter att planera för framtida klimatförändringar och att bygga infrastruktur som svarar mot grundläggande

behov, till exempel rent vatten och fungerande sanitära förhållanden. Vad som kommer eller inte kommer att hända beror på en rad faktorer som är viktiga för alla samhällen som måste anpassa sig till klimatförändringarna. Vilka ekonomiska resurser kan ett samhälle uppbringa? Vilken social och politisk kapacitet finns för att fatta beslut och genomföra dem? I hur hög grad förmår man att anpassa sig till de nya förhållandena utan att upplösa de sociala nätverk och den kulturella identitet som krävs för fysiskt och psykiskt välbefinnande?

Nederländerna

I Nederländerna har samhället under mycket lång tid försökt styra över vattnet för att floderna Rhen, Maas och Scheldes deltan ska bli beboeliga. Århundradens arbete med att vinna land från havet har lett till att mer än halva Nederländerna idag ligger under havsytans nivå. Mer än 60 procent av befolkningen på 16 miljoner bor i dessa områden. Det behövs alltså ett effektivt system för att kontrollera vattnet och hålla landet torrt. Början till ett sådant system fanns redan på 900-talet, då man började bygga vallar för att förhindra översvämningar i vissa områden. På 1200-talet bildades vattennämnder för att övervaka vallarna, underhålla vattenvägarna och kontrollera vattennivåerna. Det är de äldsta demokratiska institutionerna i Nederländerna och de har i stort sett samma funktioner idag.

Men det har inte alltid gått att styra över vattnet. Så sent som 1953 brast vallarna i den sydvästra delen av landet. I den efterföljande översvämningen dog 1 853 människor. Den nederländska regeringen svarade med att påbörja ett mycket ambitiöst ingenjörsprogram, Deltaprojektet. Syftet var att blockera ett stort antal tidvatteninflöden och förvandla dem till sötvattensjöar. Planerna för projektet ändrades på grund av miljöhänsyn, vilket ledde till att två rörliga barriärer skapades.

Klimatförändringarna och havsnivåhöjningen är en utmaning för Nederländerna. I likhet med Bangladesh är landet utsatt för en höjning av havsytan, men till skillnad från Bangladesh har det redan ett omfattande skyddssystem. Befolkningstätheten och den stora ekonomiska betydelsen av områdena under havsytans nivå gör att man inte har något annat val än att fortsätta skydda landet mot havet, till allt högre kostnader för framtida generationer.

Dyrt att göra ingenting

Vi har belyst några olika kustmiljöer och deras sårbarhet för klimatförändringar. Det finns många andra kustområden som är utsatta för klimatförändringarna, bland annat små öar i Stilla havet, Indiska oceanen och Karibien. Trots olikheterna kan man dra vissa generella slutsatser.

För det första är klimatförändringar något som sker nu och som synliggör befintliga svagheter i samhället. Kustområden är särskilt utsatta på grund av en kombination av fysiska faktorer, till exempel höjning av havsytan och erosion, och socioekonomiska faktorer som försvårar anpassningen, till exempel snabbt växande befolkningar, snabb urbanisering och fattigdom.

För det andra kommer det i allt högre grad att bli nödvändigt att anpassa sig. Många åtgärder kan få positiva effekter helt oberoende av hur mycket klimatet förändras eftersom de kan rädda liv och förbättra skyddet för land och egendom, särskilt i samband med extrema väderförhållanden. Anpassningen måste inte vara storskalig, dyr och övervägande teknisk, som i Nederländerna. Anpassningen kan även handla om bättre katastrofhantering, system för tidig varning och institutionella förändringar, som i Bangladesh.

För det tredje kommer anpassningen att kräva långsiktiga investeringar. Det räcker inte med engångslösningar, vilket har blivit tydligt i Nederländerna. Det är därför viktigt att diskutera de framtida effekterna av beslut som rör anpassningen, inklusive kostnaderna för kommande generationer. Men att göra ingenting kommer att bli dyrt, både ekonomiskt och mänskligt.

Det bästa sättet att begränsa kostnaderna för anpassningen är att begränsa klimatförändringarna genom att minska utsläppen av växthusgaser. På sikt är det en förutsättning för att anpassningen ska kunna skydda människor och samhällen. Det är svårt att föreställa sig hur ens ett rikt land som Nederländerna skulle klara av en höjning av havsytan som på sikt kan uppgå till 6–7 meter, vilket skulle ske om inlandsisen på Grönland smälte.

Doktor Richard J.T. Klein är geograf med inriktning på klimatanpassning och klimatpolitik. Han är seniorforskare vid Stockholm Environment Institute där han ansvarar för samordning av institutets klimatarbete. Han har medverkat i flera IPCC-rapporter och leder ett antal forskningsprojekt med fokus på sårbarhet och klimatanpassning som process.

Doktor Annika E. Nilsson är tvärvetenskaplig forskare med bakgrund som vetenskapsjournalist. Hon är verksam vid Stockholm Environment Institute med forskning om samspelet mellan vetenskap och politik, bland annat på klimatområdet. Förhållandet mellan globala och lokala processer samt klimatförändringarna i Arktis är två aktuella forskningsområden.

Åtgärda klimatet – för säkerhetens skull

Kommer klimatförändringarna att ge upphov till konflikter och krig? Frågan måste synas vetenskapligt i sömmarna, skriver Peter Haldén. Han har undersökt konsekvenserna i framtiden av måttliga klimatförändringar i Darfur och Arktis. Slutsatsen är att klimatet inte ger upphov till konflikter – det är människor som gör det. Men torka och hungersnöd kan förvärra situationen. Oljan som blir tillgänglig i Arktis när isen smälter är en tickande klimatbomb. Om vi inte lyckas minska klimatförändringarna kommer vi att ha en osäker värld mot slutet av århundradet.

Peter Haldén, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI.

Klimatet förändras – det är nu världens mest framstående forskare på området eniga om. De är också eniga om att det beror på mänsklig påverkan. I IPCC:s senaste rapport kan man dessutom utläsa en stigande klarhet om vilka effekter ett förändrat klimat kommer att kunna få för människor, djur, växtliv och ekosystem. Frågan har fått brett genomslag i medierna, i det allmänna medvetandet och inom politiken. Åtminstone på ett övergripande plan tycks enighet råda om att något måste göras. ”Vad” och ”hur” verkar däremot fortfarande vara öppna frågor.

På den naturvetenskapliga sidan är forskarna alltså eniga i hög grad när det gäller klimatförändringarna, och de ekologiska konsekvenserna börjar bli allmänt kända. Däremot är osäkerheten stor när det gäller klimatförändringarnas konsekvenser för samhällen. När det gäller studier av internationell politik har mycket lite gjorts på området. Men spekulationer har inte saknats. Både medier och politiker har talat om att klimatförändringarna kan ge upphov till en rad konflikter. Ibland har farhågorna kopplats till en kommande brist på livsviktiga resurser, som vatten och jord. Ibland har de kopplats till de flyktingströmmar som enligt vissa bedömare kommer att uppstå på grund av torka eller därför att havsytan stiger.

Frågan om klimatförändringar leder till eller bidrar till konflikter är viktig för politiker och allmänhet. Just därför måste de möjliga sambanden synas i sömmarna på ett vetenskapligt sätt. IPCC har utvecklat scenarier med olika grad av klimatförändringar, beroende på hur mycket vi gör för att hejda dem. I min forskning har jag framförallt tittat på möjliga konsekvenser i en framtid då vi delvis har hejdat klimatförändringarna men ändå fått ett varmare klimat och problem med torka, översvämningar och ”vildare” väder, det vill säga måttliga klimatförändringar. Den viktigaste slutsatsen är att klimatet inte ger upphov till konflikter, utan det är människor som gör det.

Politisk struktur avgör konfliktrisk

Vissa framställningar ger intryck av att ett förändrat klimat per automatik leder till konflikter, framförallt inom men kanske också mellan stater. Men för att avgöra konfliktrisken måste man ta hänsyn till en hel rad andra omständigheter än klimatet. För det första ”filtreras” klimatförändringarna in i den internationella politiken genom redan existerande förhållanden. I en region präglad av fattigdom, odemokratiska regimer som befäster sin makt med våld och vars stater har stor konfliktbenägenhet kan klimatförändringarna innebära ökade risker. Regioner med stabila ekonomier, ansvarstagande och kapabla

regeringar och fredliga internationella relationer har däremot möjligheter att hantera utmaningarna i samarbetets tecken. Klimatförändringarna kan också komma att användas som politiska slagträn av skrupelfria ledare som vill stärka sin maktställning med våldsmedel. Även i detta fall beror konfliktrisken inte bara på klimatet utan också på politiska strukturer och beslut.

Två områden lyfts ofta fram i debatten som pågående eller möjliga områden för klimatkonflikter, nämligen Darfur och Arktis. I båda fallen ligger avgörandet om konflikter kommer att uppstå i politikernas händer – inte hos vädrets makter.

Inbördeskrig i Darfur – torkan gör livet svårare

Enligt en del bedömare beror konflikterna i Darfurregionen i Sudan på att en långvarig torka har gjort att boskapsskötande nomadfolk har börjat strida med bofasta jordbrukare om den allt knappare bördiga jorden. Även om denna förklaring låter logisk är den bristfällig. Konflikten i Darfur måste ses i det större sammanhanget där ett inbördeskrig råder mellan Sudans regering och olika grupper som strävar efter självständighet. Ända sedan 1980-talet har regeringen behärskat oroliga områden genom att ställa olika milisgrupper mot varandra och genom att bedriva krig mot civilbefolkningen i de områden som kan tänkas

stödja rebellerna. Konfliktens grundorsaker ligger alltså inte i klimatet utan i inbördeskriget. Torkan gör emellertid livet mycket svårare för de hundratusentals flyktingarna och hotar dessa redan utsatta människor.

Många har uttryckt farhågor om att försämrad tillgång till naturresurser som jordbruksmark, vatten och ekosystem skulle kunna leda till konflikter. Men forskningen har visat att det är svårt att koppla miljökatastrofer av detta slag till väpnade konflikter. Vad som däremot står helt klart är att människors hälsa, livsvillkor och möjlighet till utveckling drastiskt försämras. FN:s utvecklingsorgan UNDP har myntat begreppet ”mänsklig säkerhet” för att förtydliga skillnaden gentemot den traditionella förståelsen av säkerhet som förknippas med väpnade hot mot stater och samhällen. Mänsklig säkerhet är mycket bredare eftersom det har att göra med välfärd och utveckling, och hoten är inte bara väpnad konflikt utan snarare miljöförstöring, svält, naturkatastrofer och bristen på utveckling. Det är framförallt säkerhet i denna bemärkelse som hotas av klimatförändringar, både mer och mindre allvarliga sådana.

Sjövägarna öppnas i Arktis

När det gäller Arktis gör det varmare klimatet att isarna smälter både till havs och på land. Enligt de

senaste beräkningarna kommer havsisen att ha dragit sig tillbaka så mycket inom högst tio års tid att det kommer att vara möjligt med sjöfart över den tidigare igenisade oceanen. Den stora förändringen innebär åtminstone teoretiskt att man skulle kunna omdirigera stora delar av den frakt som går mellan Europa och Asien och mellan Europa och USA:s västkust. Rutten mellan Hamburg och Yokohama skulle då kunna kortas till hälften och stora besparingar göras. Det har spekulerats huruvida de nya sjövägarna skulle kunna leda till konflikter mellan stormakterna. Även om detta kan låta både rimligt och skrämmande finns det två viktiga saker som sällan nämns i debatten.

För det första finns det sedan 1980-talet ett folkrättsligt ramverk som reglerar internationell sjöfart och i synnerhet hur mycket territorium till havs som en enskild stat kan bestämma över och hur mycket som är gemensamt område. De flesta länderna i världen har skrivit under FN:s havsrättskonvention (UNCLOS). USA har inte gjort det men förklarade nyligen att när det gäller Norra Ishavet kommer man att respektera konventionens regler som säger att ett lands territorialvatten sträcker sig 200 sjömil ut från kusten. Utanför det råder internationellt vatten. Enligt havsrättskonventionen har dock handelsfartyg rätt att passera genom ett lands territorialvatten. Det

innebär att det inte finns några lagliga hinder för trafik i Arktis.

För det andra ligger det i alla länders ekonomiska intresse, i synnerhet Rysslands, att hålla sjövägarna öppna. Följaktligen är det svårt att tänka sig allvarligare konflikter när det gäller frågan om de ska hållas öppna eller stängda. Riskerna för mellanstatliga konflikter på grund av det förändrade klimatet i Arktis är inte så stora, men ökad mänsklig aktivitet i form av sjöfart och utvinning av naturresurser innebär stora påfrestningar på vad som idag är ganska orörd natur.

Arktis naturtillgångar blir tillgängliga

En kanske större fråga i Arktis handlar om de stora naturtillgångarna och vem som har rätt att utvinna dem. Det finns stora fyndigheter av olja, gas och mineraler både på land och till havs i Arktis och dessa kommer man att kunna utvinna i framtiden när isen smälter och tekniken förbättras. Man kan se detta ur tre olika perspektiv: energisäkerhet, traditionell militär säkerhet och klimatsäkerhet. Ur ett energisäkerhetsperspektiv kan man säkerställa tillgången på olja när källorna på andra håll i världen sinar.

Från ett traditionellt militärt perspektiv har farhågor väckts om att de nu åtkomliga fyndigheterna skulle kunna leda till spänningar mellan de länder som

gränsar till Ishavet: Danmark, Kanada, Norge, Ryssland och USA. Även om detta kan verka sannolikt vid första påseende finns det en hel del som talar emot det. För det första finns ett folkrättsligt regelverk som dels reglerar vem som har rätt till vilka tillgångar på havsbotten, dels ger klara regler för hur man avgör eventuella tvister i internationella domstolar.

För det andra är de arktiska staternas ekonomier sammanflätande. Även om det förekommer situationer där man kan utnyttja en konsuments beroende av en viktig resurs så skulle alla aktörer som är inblandade i Arktis förlora på en situation där alla strävar efter att behålla oljan för sig själva snarare än att handla med den. Dessutom är många av staterna och företagen beroende av samarbete med varandra för teknik och kunskaper vilket gör en framtid där stat står mot stat i Arktis mindre sannolik. Ledningarna i de arktiska strandstaterna har också insett detta och nyligen skrivit under ett mellanstatligt fördrag, Ilulisaatdokumentet, där alla förbinder sig att hantera frågan om Arktis framtid gemensamt och i samarbete.

Arktis olja en tickande bomb för klimatet

Ur ett klimatsäkerhetsperspektiv innebär oljan och gasen i Arktis stora problem eftersom det kommer att bli mycket svårare att nå målet att dämpa klimat-

förändringarna om man börjar utvinna oljan där. En stor utmaning i framtiden blir alltså att försöka kompromissa och balansera mellan dessa tre säkerhetsperspektiv: energisäkerhet, militär säkerhet och klimatsäkerhet. Detta kan bli svårt eftersom möjligheterna att ta upp stora mängder olja ur Ishavet erbjuder en frestande kortsiktig lösning på den stigande efterfrågan på energi, men samtidigt innebär en tickande bomb för klimatet.

I sammanhanget är det viktigt att inte glömma bort de sex miljoner människor som lever i Arktis: inuiter, indianer och sibiriska ursprungsfolk. För dem får den smältande havsisen och det förändrade klimatet dramatiska följder. Det traditionella levnadssättet och kulturen är uppbyggda kring ett samspel med en polarnatur. När naturen förändras i grunden måste även levnadssättet ändras. För dem är klimatförändringarna en säkerhetsfråga om än inte en militär sådan. Det är heller ingenting som de kan försvara sig emot.

Osannolikt med stora krig

Om måttliga klimatförändringar inte behöver leda till konflikt utan rentav kan leda till samarbete, hur är det då med stora klimatförändringar? Frågan är svår eftersom vi inte har någon tidigare erfarenhet att gå på och de mer extrema förändringarna ligger långt

in i framtiden. Trots dessa brasklappar kan man konstatera att om vi inte gör något åt klimatförändringarna så kommer jorden att erfara stora omvandlingar inom ett sekel. Om det blir som i IPCC:s värsta scenarier, med havsytehöjningar på 1 meter eller mer och en 6 grader varmare jord kommer samhällen och stater att utsättas för enorma påfrestningar. I dessa scenarier kan vi se försvårad livsmedelsförsörjning på många håll och en mycket kraftig nedgång i världsekonomin. En sådan framtid är ingen stabil värld, utan kan innebära svåra utmaningar för fred och säkerhet.

Det är dock viktigt att påpeka att även svåra naturkatastrofer och hungersnöd inte nödvändigtvis innebär väpnade konflikter. Ofta innebär sådana svåra påfrestningar att resurserna för storskaliga konflikter minskar på samma sätt som resurserna för att sköta och styra samhället gör det. Följden kan bli mycket mänskligt lidande och en hel del små konflikter, vissa av dem väpnade, men stora krig är osannolika. Alltså står vi inför en osäker värld mot slutet av detta århundrade om ingenting görs för att minska klimatförändringarna. Men om vi minskar utsläppen av växthusgaser kan vi mycket väl lyckas med att undvika ökade konflikter på grund av klimatförändringar. Med andra ord står vi inför viktiga vägskäl.

Peter Haldén är filosofie doktor i statsvetenskap. Han har arbetat på Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, med klimatförändringar, miljö och säkerhet samt säkerhetspolitik i Afrika, och arbetar för tillfället vid Helsingfors universitet på ett post doc-projekt om författningar och internationell säkerhet.

Lästips

- Peter Haldén. *The Geopolitics of Climate Change*, FOI 2007 (www2.foi.se/rapp/foir2377.pdf).

ÅTGÄRDER FÖR ATT BEGRÄNSA KLIMAT-FÖRÄNDRINGAR

Klimatåtgärder i osäkert läge

När vi ska bestämma utsläppsmål för koldioxid får vi leva med många osäkra faktorer. Det är osäkert vilken temperaturökning det blir när växthusgashalten i atmosfären ökar, och det är osäkert vilka effekter en global temperaturökning får, skriver Daniel Johansson. Det är inte heller självklart vad som är ”farlig” mänsklig klimatpåverkan. Om vi vill vara relativt säkra på att nå EU:s tvågradersmål måste vi börja minska utsläppen kraftigt redan idag och fortsätta de kommande decennierna. Då ökar handlingsutrymmet längre fram.

Daniel J.A. Johansson, Institutionen för energi och miljö, Chalmers, och Institutionen för nationalekonomi med statistik, Göteborgs universitet.

Att klimatet håller på att förändras är en realitet. Att det främst beror på mänsklig påverkan kan också sägas med nästan lika stor säkerhet. De aktiviteter som bidrar mest är samhällets användning av fossila bränslen, den globala avskogningen och världens livsmedelsproduktion. Dessa aktiviteter har lett till att koncentrationen av växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas har ökat kraftigt i atmosfären. Som en följd av det har balansen mellan inkommande solstrålning och utgående värmestrålning förändrats, vilket i sin tur leder till att temperaturen på jorden ökar. Denna onaturligt höga temperaturnivå kommer att bestå tusentals år in i framtiden. Om vi ska förhindra alltför stora temperaturförändringar – hur mycket och på vilket sätt ska vi då minska våra utsläpp av växthusgaser?

I och med undertecknandet av FN:s klimatkonvention 1992 var det tydligt att beslutsfattare världen över inte kunde acceptera en kraftig mänsklig påverkan på jordens klimat. Centralt i konventionen är att halterna av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå för att "*förhindra farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet*". FN:s klimatkonvention är en utgångspunkt för att diskutera hur mycket utsläppen av växthusgaser bör minskas och vilka klimatförändringar som är acceptabla. Men det är inte enkelt att översätta innehållet i denna konvention

till konkreta målformuleringar när det gäller global medeltemperatur, koncentrationer och utsläpp av växthusgaser.

När blir mänsklig klimatpåverkan "farlig"?

Det sägs ofta att de globala utsläppen av växthusgaser måste börja minska före 2015 för att det inte ska vara för sent att hindra farliga klimatförändringar. Sådana uttalanden ger sken av en fullständig och helt objektiv kunskap och värdering av vad som är farligt, men detta är långt ifrån sanningen. Man kan inte utesluta att dagens koncentration av växthusgaser redan är för hög för att undvika farliga klimatförändringar, att de globala utsläppen borde ha vänt nedåt för kanske tio eller till och med tjugo år sedan. Men man kan inte heller utesluta att utsläppen kan fortsätta öka ett antal årtionden utan att det är för sent att hejda farliga klimatförändringar. Det hela beror på vad man menar med farlig mänsklig påverkan, hur känsligt klimatet är för ökad halt av växthusgaser i atmosfären och vilka effekter en ökad temperatur får på bland annat ekosystem och samhälle.

För det första är en tolkning av farlig mänsklig klimatpåverkan subjektiv och värdeladdad. Många kan hålla med om att en avsmältning av Grönlands istäcke med en havsnivåhöjning på 6 meter som följd eller en uttorkning av Amazonas regnskog är farlig

mänsklig påverkan. Det är svårare att dra gränsen för vad som är farligt när det gäller geografiskt spridda förändringar som förändringar i nederbörd eller avsmältning av mindre glaciärer. Dessa geografiskt spridda förändringar kan ske mycket abrupt och te sig allvarliga för de inblandade, men kanske inte för dem som inte direkt påverkas. Tolkningen av vad som är farligt beror, utöver grundläggande värderingar, också på faktorer som hur stor möjlighet man har att anpassa sig till förändringar i klimatet, vilket i sin tur beror på bland annat inkomstnivån. Det är de fattiga som kommer att drabbas värst av klimatförändringarna.

Två mycket osäkra faktorer

För det andra är kopplingarna mellan global medeltemperatur och olika effekter osäkra och mycket komplexa. Trots detta vet man med säkerhet att sannolikheten för farliga klimateffekter ökar ju mer växthusgaser som släpps ut. Kopplingen mellan farlighet och global medeltemperatur måste alltså tolkas ur ett riskperspektiv.

För det tredje råder det också stor osäkerhet kring hur den globala medeltemperaturen ändras till följd av förändringar i halten av växthusgaser i atmosfären. FN:s klimatpanel IPCC skrev i sin senaste rapport att när uppvärmningen har stabiliserats efter

en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären så kommer den globala medeltemperaturen vid mark- och havsytan troligen att öka mellan 2 och 4,5 grader. Detta mått brukar kallas för klimatkänsligheten och ska inte blandas ihop med IPCC:s scenarier för temperaturförändringar år 2100. Notera dock att *klimatkänsligheten* både kan vara högre och lägre än vad som anges i IPCC:s intervall.

Sammanfattningsvis – två mycket osäkra aspekter måste beaktas vid bestämning av utsläppsmålsättningar, både osäkra effekter av en global medeltemperaturförändring och en osäker nivå på klimatkänsligheten. Dessutom måste det tolkas vad som är farligt.

Klimatkänslighet – en definition

Med klimatkänslighet menas den långsiktigt stabila höjning av den globala medeltemperaturen vid mark- och havsytan som sker till följd av en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären jämfört med den förindustriella nivån.

EU:s tvågradersmål som utgångspunkt

EU har antagit ett mål på en maximal global medeltemperaturökning på 2 grader över den nivå som rådde då industrialiseringen tog fart i Västeuropa i början på 1800-talet. Detta är alltså EU: s tolkning av vilken global medeltemperaturförändring man

kan acceptera för att med en tillräckligt stor sannolikhet undvika farlig påverkan på klimatsystemet.

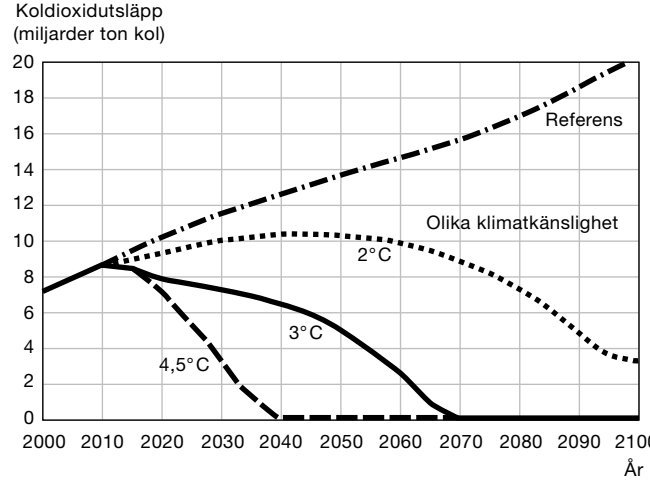
Detta är också den temperaturförändring som en rad andra länder har antagit som mål och som många klimatforskare har föreslagit som en övre gräns. Men man kan inte utesluta att det i efterhand kommer att ses som ett för svagt mål, eller tvärtom ett onödigt stringent mål. Ett sådant temperaturmål ger ändå en utgångspunkt för att diskutera nödvändiga utsläppsreduktioner idag och kommande decennier.

Klimatkänsligheten avgörande

Jag skrev tidigare att klimatkänsligheten är mycket osäker. Dess betydelse för nödvändiga utsläppsreduktioner av koldioxid från det globala energisystemet för att nå EU:s tvågradersmål är illustrerad i figur 1. Figuren är uppritad efter resultat från MiMiC-modellen som har utvecklats på Avdelningen för fysisk resursteori vid Chalmers. Modellen söker lösningar för att minska utsläppen av koldioxid, metan och lustgas till lägsta kostnad för att uppnå ett givet mål för den globala medeltemperaturen. Den tar hänsyn till faktorer som klimatkänslighet, trögheten i temperaturförändringarna, gasernas livslängd i atmosfären och uppskattade kostnader för att minska de globala utsläppen.

Figur 1 visar tydligt att olika värden på klimatkänsligheten ställer fundamentalt olika krav på vad som behöver göras i form av utsläppsreduktioner från det globala energisystemet för att uppfylla tvågradersmålet. Är klimatkänsligheten hög (4,5 grader) måste utsläppen minska drastiskt de kommande decennierna och framåt, men är klimatkänsligheten låg (2 grader) är problemet inte alls lika akut.

Utsläppsscenarier förenliga med EU:s tvågradersmål



Figur 1 visar utsläppsscenarier för koldioxid från energisystem som är förenliga med EU: s tvågradersmål. Utsläppsprofilerna är beräknande med olika antaganden om klimatets känslighet för förändringar i den atmosfäriska halten av växthusgaser. 2 grader, 3 grader och 4,5 grader indikerar jämviktstemperaturökningen som blir följden av en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären, det vill säga värdet på klimatkänsligheten. Referensscenariot indikerar vad utsläppen kan väntas bli om inget görs för att minska samhällets klimatpåverkan.

Om vi vill vara relativt säkra på att nå tvågradersmålet måste vi idag följa ett stabiliseringsscenario i linje med de i figur 1 där klimatkänsligheten är medelhög (3 grader) eller hög (4,5 grader). Utöver rena försiktighetsskäl så leder kraftiga åtgärder idag och kommande decennier till ett större spelrum att senare bestämma önskvärda koncentrationsnivåer av växthusgaser i ljuset av ny och bättre kunskap. Om vi släpper ut mycket växthusgaser idag och över de kommande decennierna minskar möjligheten att senare stabilisera koncentrationerna på en låg nivå. Vi har då både skapat högre halt av växthusgaser i atmosfären och expanderat kapitalstocken av teknik som genererar utsläpp.

Minst en halvering till 2050

Låt oss utgå från att vi ska försöka nå tvågradersmålet med ganska stor säkerhet. Då bör utsläppen minska i takt med de två lägsta utsläppsscenarierna i figur 1. Dessa scenarier visar på en avsevärd skillnad i utsläpp jämfört med referensscenariot. Det krävs till exempel en halvering eller till och med en betydligt större minskning av de globala koldioxidutsläppen från energisystemet år 2050 jämfört med idag. Hur ska vi kunna minska utsläppen av koldioxid från energisystemet så mycket? Det vore naivt att påstå att det är enkelt, men jag tror att det är genomförbart med tanke på den tekniska utveckling som mänskligheten

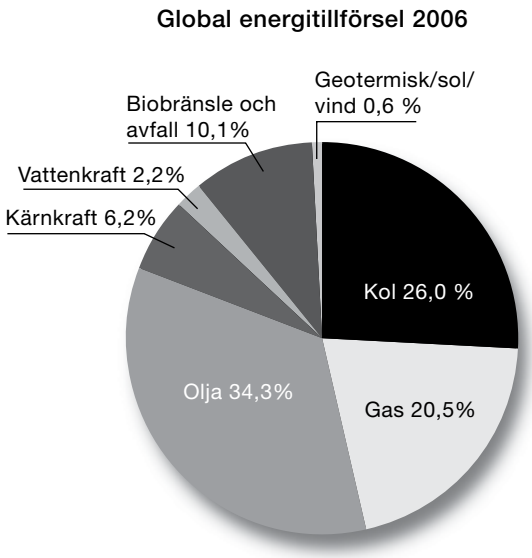
har åstadkommit de senaste århundradena och därför att det naturvetenskapligt sett är möjligt att tillföra förnybar energi i tillräckliga mängder.

Självklart är det omöjligt för mig eller någon annan att säga med säkerhet vilka tekniska eller politiska lösningar som kommer att vara gångbara decennier eller till och med århundraden in i framtiden. Det som går att göra är att dra några generella riktlinjer och diskutera vilka principer som kan ligga till grund för betydande utsläppsminskningar. Jag kommer att fokusera på viktiga och idag kända åtgärder för att minska koldioxidutsläppen från energi- och transportsektorn och inte diskutera den stora betydelsen av att minska utsläppen av metan och lustgas samt koldioxidutsläpp från markanvändning.

Tre sätt att minska energianvändningen

Den globala primära energitillförseln domineras idag kraftigt av de fossila bränslena kol, olja och naturgas (figur 2). Man kan grovt dela in möjligheterna att minska koldioxidutsläppen från energisektorn i tre kategorier: 1) minska energianvändningen, 2) byta bränslen, och 3) fånga in och lagra koldioxiden.

Minskad energianvändning kan man åstadkomma genom att göra teknik mer energieffektiv. Exempel är passivhus, lågenergilampor och hybridbilar. Det finns



Figur 2. Diagrammet visar hur stor andel av den globala primära energitillförseln år 2006 som olika energislag bidrog med. Storleken på den globala energitillförseln var cirka 137 000 terawattimmar (TWh), vilket kan jämföras med Sveriges energitillförsel på cirka 624 terawattimmar (inklusive alla förluster från elproduktion i kärnkraftverken).

en väldigt stor potential i att använda mer energieffektiv teknik. Men minskad energianvändning behöver inte bara vara ett resultat av tekniklösningar utan kan också komma som ett resultat av livsstilsförändringar, exempelvis i form av att vi väljer bort ökad materiell konsumtion mot mer fritid. Självklart är detta inget alternativ för den stora majoriteten av världens befolkning ännu, men kan vara av betydelse

i rika delar av världen, till exempel i delar av EU och USA.

Att byta till energislag som ger mindre eller inga koldioxidutsläpp är kanske det man först tänker på för att minska koldioxidutsläppen från energisektorn. Vi kan åstadkomma utsläppsreduktioner antingen genom att byta mellan olika fossila bränslen (naturgas släpper ut minst koldioxid per energienhet och kol mest) eller byta från fossila bränslen till förnybara alternativ (sol och vind, men även biomassa) eller kärnkraft.

Sol- och vindenergi växer snabbt

Den teoretiska potentialen för solenergi är enorm. Solinstrålningen till jordens yta är cirka tiotusen gånger större än dagens samhälleliga energitillförsel. Tyvärr är solenergiteknik fortfarande ganska dyr och lönsam utan subventioner bara på ett fåtal platser. Men med ekonomiskt stöd ökar användningen och med ökad användning lär kostnaden falla. Kostnaderna för teknik att utvinna vindenergi är lägre än för solenergi, och är idag på många platser det billigaste sättet att producera ny el. Vindenergi kan spela en betydande roll när det gäller att minska koldioxidutsläppen redan de kommande decennierna, medan solenergi kan väntas spela mycket stor roll längre fram i tiden. Även om energitillförseln från vind och sol är ganska liten idag så växer båda mycket snabbt.

Biobränslen (ved, jordbruksrester, med mera) väntas spela en betydande men begränsad roll. Biobränslen kan spela en betydande roll för att de på många sätt liknar de fossila bränslena och för att de, om de utnyttjas på ett kostnadseffektivt sätt, är ett relativt billigt sätt att minska koldioxidutsläppen. Det innebär att biobränslen kan spela en ganska stor roll inom en snar framtid. Men deras roll kommer att vara begränsad eftersom biomassa för energiändamål kan förväntas bli en bristvara. Restflödena från jord- och skogsbruket kan inte ersätta mer än cirka en tredjedel av dagens globala oljeanvändning, och tillgången på bördig mark för att odla energigrödor är begränsad. Detta i sin tur innebär att det finns en betydande risk för konkurrens om mark mellan bioenergiplantager, livsmedelsproduktion och bevarande av orörda ekosystem.

En bättre värld utan storskalig kärnkraft

Till sist kärnkraften. Den är i princip växthusgasneutral men den har ett antal andra problem som leder till att jag inte hoppas den ska spela någon avgörande roll när det gäller att minska koldioxidutsläppen. Den viktigaste anledningen är att jag helt enkelt tror att världen är en bättre plats utan en storskalig expansion av kärnkraft.

Ett av de allvarligaste problemen med kärnkraft är att det från produktionen av bränsle tekniskt sett

inte är långt till produktion av kärnvapen. Bränsleproduktionen omgärdas av globala politiska tvister. Ett exempel är det politiska spelet om Iran idag, och inte lär det bli bättre om kärnkraften expanderar flerfaldigt över dagens nivå. Dessutom, ju fler reaktorer det finns, desto större problem med avfallshanteringen och desto större sannolikhet för en olycka.

Koldioxidlagring – teknik med en övre gräns

En teknik som jag är övertygad om kommer att ha en avgörande betydelse för möjligheterna att minska koldioxidutsläppen kraftigt om några decennier är infångning och lagring av koldioxid från stationära och storskaliga utsläppskällor som kraftverk, stålverk och värmeverk. Det troligtvis säkraste sättet att lagra koldioxiden är under marken i täta reservoarer för att undvika att den kommer upp i atmosfären.

Den stora fördelen med den här tekniken är att den förväntas bli relativt billig och att den tillåter att delar av energisystemet inte behöver ändras på ett radikalt vis. Man kan i princip använda liknande kraftverk som idag men med ett antal förändringar. I en värld med starka särintressen (till exempel kolkraftsindustrin) kan en gradvis förändring av nuvarande situation vara politiskt enklare än en radikal förändring. Det största problemet med tekniken är

att det finns en liten risk att koldioxiden långsamt kan läcka ut från reservoarerna vilket kan vara ett stort problem även om det årliga läckaget är relativt litet. Denna risk tillsammans med att reservoarerna är begränsade kommer att sätta en övre gräns för teknikens betydelse på lång sikt.

Att åstadkomma förändringen

För att åstadkomma den förändring som jag beskrivit behövs politiskt samarbete världen över. Just nu diskuteras det hur man ska gå vidare för att minska utsläppen av växthusgaser när perioden för Kyotoprotokollet löper ut år 2012. Det är inte orimligt att tycka att i-länderna bör gå före u-länderna med att minska utsläppen, ta på sig kostnader att utveckla och sprida ny teknik samt ersätta u-länderna för de skador klimatförändringarna kommer att orsaka. Men de u-länder som har en snabbt växande ekonomi bör snarast möjligt ta ansvar genom att börja använda teknik som leder till låga växthusgasutsläpp. Det tar tid att ändra ett energisystem och dess tillhörande infrastruktur, så vad som sker nu och de närmaste åren kommer att ha stor betydelse många decennier framöver.

Att minska utsläppen så drastiskt som jag beskrivit kommer inte att bli lätt. Men jag är övertygad om att en dag kommer det att bli möjligt att använda

endast teknik som ger låga växthusgasutsläpp för att möta världens energiefterfrågan. Vad som behövs för att snabba på processen dit är politiskt samarbete världen över, kraftfulla ekonomiska styrmedel och en allmän opinion för att lösa detta!

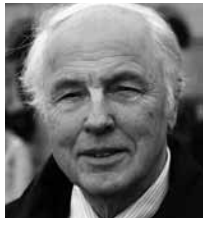
Daniel Johansson är forskare på Institutionen för energi och miljö, Avdelningen för fysisk resursteori vid Chalmers, och på Institutionen för nationalekonomi med statistik vid Göteborgs universitet. Han innehar för närvarande en post doc finansierad av Göteborg Energis forskningsstiftelse. Hans forskning inriktar sig mot integrerade klimat-, energi- och ekonomianalyser samt systemanalytiska frågor kring den långsikta omställningen till ett samhälle med låga växthusgasutsläpp.

Lästips

• Christian Azar. *Makten över klimatet*, Albert Bonniers Förlag 2008.

Lättare klara tvågradersmålet i ett elsamhälle

Enligt studier inom Kungl. Vetenskapsakademiens energiutskott beräknas koldioxidutsläppen från fossila energikällor kunna minska från dagens 28 miljarder ton per år till 20 miljarder ton år 2050, skriver Sven Kullander. Detta bör enligt beräkningar utifrån IPCC:s scenarier räcka för att klara EU:s tvågradersmål. Målet att tillåta jordens medeltemperatur att öka högst två grader kommer att kunna nås med råge när det gäller koldioxidutsläpp om vi går över till ett elsamhälle. Men världens ledare måste vara överens förstås, och avskogningen måste upphöra.



Sven Kullander, Kungl. Vetenskapsakademien.

Aldrig torde världen ha stått inför så stora förändringar. Energitillförseln som nu till 81 procent kommer från kol, olja och fossilgas måste inom de närmaste 50–100 åren förändras på ett drastiskt sätt om vi ska undvika de klimatförändringar som beskrivs i IPCC:s olika scenarier.

Sedan 1970 har den globala årliga energitillförseln dubblerats och för 2006 var den nästan 140 000 terawattimmar (TWh) per år. Samtidigt ökar energianvändningen i världen för varje år. I de rika länderna försöker man minska den genom att använda energin mer effektivt. I de fattiga länderna väntas energianvändningen öka, men från en mycket låg nivå. I Europa används sex gånger mer energi per invånare än i Afrika och Asien, och tre gånger mer än i Latinamerika.

Under 2006 emitterades 28 miljarder ton koldioxid i världen från fossila bränslen; det innebar en ökning med 80 procent jämfört med 1973. Utgångspunkten för EU:s och Sveriges klimatpolitik är att jordens medeltemperatur inte ska tillåtas öka med mer än två grader. För att översätta denna temperaturhöjning till utsläpp måste modellberäkningar utnyttjas som gjorts inom ramen för IPCC.

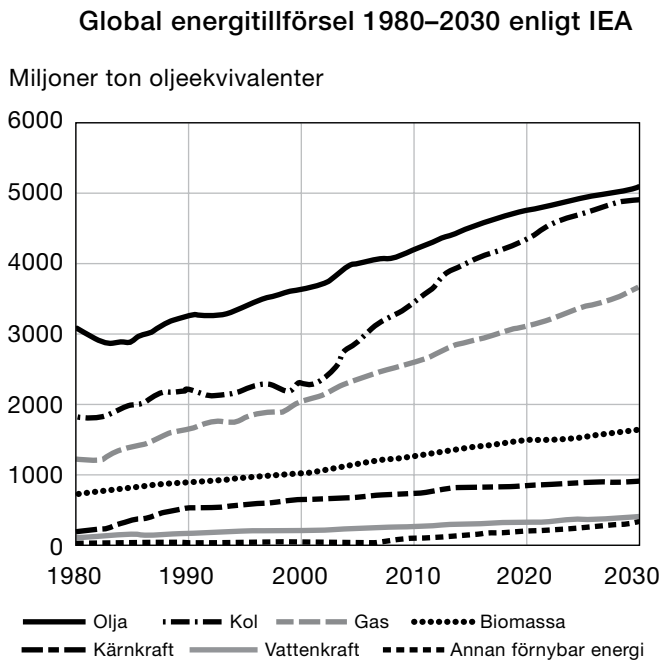
Ett par energibegrepp

Med *energitillförsel* menas den energimängd (primärenergi) som inkluderar bränslets hela energiinnehåll, det vill säga även den energi som går förlorad som värme vid elproduktion i fossilkraftverk och kärnkraftverk som inte har värmeåtervinning.

Mängden *använd energi* är den slutliga energimängd som får lampor att lysa, motorer att arbeta, rum att vara varma, och så vidare.

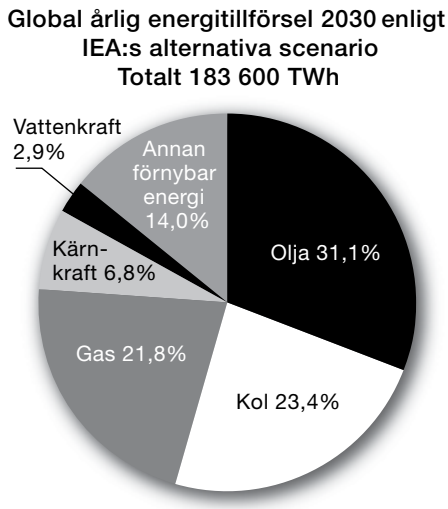
IEA:s prognos går stick i stäv med målen

Den internationella energiorganisationen IEA (International Energy Agency) har i sin World Energy Outlook från 2008 gjort scenarier om energisituationen i världen fram till 2030. I ett referensscenario (figur 1) bygger uppskattningarna på rådande policy, medan ett alternativt policyscenario (figur 2) förutsätter att nuvarande produktions- och konsumtionsmönster ändras. I det senare mer restriktiva fallet beräknas energitillförseln ändå öka till 183 500 terawattimmar per år fram till 2030. Men andelen fossil energi beräknas minska från 81 till 76 procent. En omfattande datainsamling ligger till grund för IEA:s scenarier och de torde framförallt vara realistiska när det gäller efterfrågan på energi. Däremot underskattar IEA troligen den starka politiska viljan att reducera koldioxidutsläppen, speciellt efter USA:s presidentskifte.



Figur 1. Enligt World Energy Outlook 2008 (publicerad av International Energy Agency, IEA) beräknas den årliga globala energitillförseln öka mellan 2006 och 2030 från 136 500 TWh till 206 100 TWh, det vill säga en ökning med 45 procent eller 1,6 procent per år. De fossila bränslena antas öka mest. Detta referensscenario baseras på den rådande policyn bland de deltagande staterna inom IEA. (1000 miljoner ton oljeekvivalenter = 11 630 TWh)

Den förnybara energins andel av energitillförseln beräknas enligt IEA:s alternativa scenario öka från 12,3 till 16,9 procent under perioden 2006 till 2030.



Figur 2. I ett alternativt scenario från IEA uppskattas den primära energitillförseln 2030 baserat både på rådande policy och på policy som övervägs men som ännu inte beslutats. Observera att jämfört med figur 1 inkluderas här också bioenergin som annan förnybar energi.

I OECD-länder där vattenkraften i stort är utbyggd förväntas tillskotten komma från vindkraft och biomassa. I andra länder, speciellt Asien och Mellan- och Sydamerika, förväntas merparten komma från vattenkraft. Kärnkraftens andel i energitillförseln beräknas öka från 6,2 till 6,8 procent per år; då är en tredjedel elenergi och resten spillvärme.

Enligt IEA:s prognoser kommer koldioxidutsläppen från fossila bränslen mellan 2006 och 2030 att öka

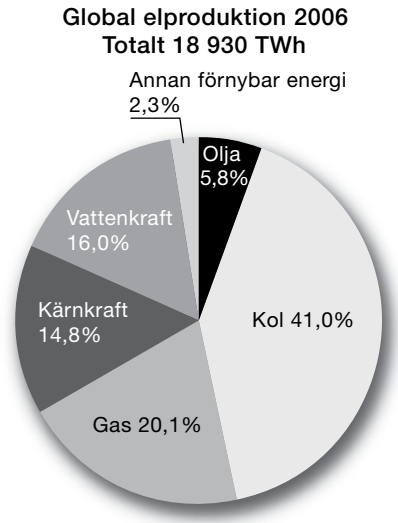
från 28 till 34 miljarder ton per år. Efter 2030 kommer de största utsläppen från kolkraftverken eftersom deras bidrag till energitillförseln ökar. Som jämförelse behöver utsläppen enligt IPCC begränsas till 2 200 miljarder ton under de närmaste hundra åren (22 miljarder ton per år i genomsnitt) för att stabilisera koldioxidhalten till 450 ppm (miljondelar) vilket med 50 procent sannolikhet innebär att tvågradersmålet kommer att uppfyllas. (I IPCC-siffrorna ingår även avskogning som idag bidrar med 25 procent av koldioxidutsläppen.) IEA:s prognos går stick i stäv med politikernas önskningar. Exempelvis har EU som mål att minska koldioxidutsläppen med 20 procent till 2020.

Alternativ till 2030

Men det finns också andra sätt att se på framtidens energitillförsel än det som speglas i IEA:s prognoser. Kungl. Vetenskapsakademien i Sverige arbetar genom sitt energiutskott med energifrågorna. Siktet är inställt mot ett globalt perspektiv med en tidshorisont kring 2050. Den svenska situationen är föremål för en speciell analys. Alla akademiens ämnesområden är representerade i arbetet med en oberoende värdering av kunskapsläget: matematik, astronomi och rymdvetenskap, fysik, kemi, geovetenskap, biologi, medicin, teknik, ekonomi, idéhistoria och miljövetenskap. Akademiens omfattande nationella och

internationella nätverk är en viktig resurs för arbetet. De överväganden som görs i den här artikeln baseras till stor del på energiutskottets arbete.

På ett par decenniers sikt ter sig bioenergi, vattenkraft, vindkraft och kärnkraft som de energislag som globalt kan bidra substantiellt till energitillförseln. Av särskilt intresse är att elenergins andel av energitillförseln ökas eftersom de nämnda energislagen producerar i huvudsak koldioxidfri el. Idag produceras elen till stor del av kol (figur 3).



Figur 3. Global elproduktion 2006 enligt IEA:s World Energy Outlook 2008. Annan förnybar energi inkluderar el från biomassa, sol, vind samt geotermiskt genererad el.

Bioenergi

Bioenergin antas fortsätta öka framförallt genom bättre odlingsmetoder, genmodifiering och effektivare gödsling. Men ett flertal ekologiska aspekter måste beaktas, bland annat bibehållande av biodiversitet, en godtagbar klimatfunktion, minskad skogsskövling samt ett mindre högintensivt och mer ekologiskt anpassat skogs- och jordbruk. Uppskattningar av den framtida bioenergipotentialen varierar våldsamt. Klart är att bioenergin kommer att öka i betydelse, men produktion av livsmedel, papper, sågvirke samt råvara för den petrokemiska industrin kommer att konkurrera om råvaran. Dessutom måste åtgärder vidtas för att minska den pågående avskogningen som för närvarande årligen leder till en minskning av den växande skogens upptag och bindning av koldioxid i en storlek som motsvarar hela USA:s koldioxidutsläpp.

Dagens 6,7 miljarder människor behöver mat till ett energivärde av 7 100 terawattimmar per år vilket nätt och jämt kan tillgodoses av dagens jordbruk. Utöver energin i maten på ”borden” behövs insatsenergi, främst fossil energi, som är 5–10 gånger större än energiinnehållet i maten. Primära jordbruksprodukter bör inte användas för energiändamål eftersom de behövs för att tillgodose livsmedelsbehov för ett växande antal människor på vår planet. När det

gäller bioenergi bör fokus istället vara på skogs- och jordbrukets restprodukter. Stort intresse riktas för närvarande mot andra generationens drivmedel som fås genom nedbrytning av cellulosa till socker, eller genom förgasning av biomassa. Dessa drivmedel bedöms kunna introduceras i större skala inom det närmaste decenniet. Energiutskottet har bedömt att den globala bioenergitillförseln bör kunna fördubblas fram till år 2030, främst genom användning av avverkningsrester från jord- och skogsbruk. På längre sikt bör den kunna ökas med ytterligare 20 procent genom effektivare odlingsmetoder.

Vattenkraft och vindkraft

Den traditionella vattenkraften är en ren och uthållig energikälla som har den stora fördelen att den snabbt kan regleras efter behov. De största vattenkraftproducenterna är Kina, Kanada, Brasilien och USA. Totalt produceras årligen 3 000 terawattimmar vattenkraftsel i världen, medan den uppskattade tekniska potentialen är 9 000 terawattimmar per år. Två tredjedelar av möjligheterna är alltså outnyttjade, främst utanför Europa. Olika slags miljöhänsyn måste tas vid utbyggnad av vattenkraft. Det har inte minst det stora dammbygget Three Gorges i Kina visat.

Vindkraften byggs nu ut på många håll och det produceras 260 terawattimmar vindkraftsel per år i

världen. Olägenheten är att fossil el ofta måste användas under den tid det inte blåser så bra. Tyskarna använder kolkraft, spanjorerna gasturbiner medan danskarna till en del kan utnyttja den nordiska vattenkraften för reglering. Vindkraftverken genererar el mellan 2 000 och 3 000 timmar per år. Två till tre gånger mer el behövs från en annan energikälla om syftet är att garantera en stabil eltillförsel. Givetvis kan tillgängligheten av vindkraft komma att förbättras en del genom havsbaserade vindkraftverk och via utbyggda kraftledningsnät över stora avstånd där vindens fluktuationer delvis kompenseras.

Kärnkraft

Kärnenergin står för 14,8 procent av världens eltillförsel, det vill säga 2 800 terawattimmar per år. De flesta av de 439 reaktorer som är i drift byggdes under perioden 1970 till 1990. EU:s 150 reaktorer bidrar till 33 procent av unionens eltillförsel. Stora utbyggnadsprogram planeras i Kina, Indien, Ryssland och USA. Kina har planer på att beställa hundra moderna reaktorer hos den amerikanska tillverkaren Westinghouse med målet att de ska tas i bruk eller vara under konstruktion kring 2020. Även inom EU diskuteras nya reaktorer. Men det tar tid för kärnkraftsindustrin att komma igång igen efter de senaste tjugo årens relativa stiltje. För att kärnkraften ska bli accepterad av allmänheten måste dock avfallsproblemen lösas

tillfredställande, ett område där Sverige ligger långt framme. Om den politiska viljan finns torde det vara möjligt att fram till 2030 hinna bygga ett par hundra nya kraftfulla reaktorer.

En stor del av dessa reaktorer blir den tredje generationens reaktorer som är förbättrade både prestanda- och säkerhetsmässigt jämfört med dagens reaktorer. Potentiellt intressanta är också fjärde generationens reaktorer som troligen är färdigutvecklade mot slutet av perioden och byggs på lite längre sikt. Bränsleåtgången blir mycket mindre, det långlivade avfallet förstörs, och förutom elproduktion planeras olika användningsområden såsom produktion av vätgas och processvärme samt avsaltning av havsvatten. Fjärde generationens reaktorer är högtemperaturreaktorer som kan använda både naturligt uran och torium, med väsentligt mindre avfallsmängder.

Perioden 2030 till 2050

Sannolikt kommer efterfrågan på energi att öka ytterligare fram till 2050 med tanke på de stora behov som måste tillgodoses för ett växande antal människor. Två olika saker beräknas slå igenom med full effekt under perioden: effektivisering och solenergi.

Effektivisering kommer att påverka energianvändningen successivt, men det rör sig om tröga system.

Det tar tid att förnya och förbättra bostadsbestånd och industrins maskinpark samt att byta ut befintliga bilar mot bilar med alternativa drivmedel. Elen är tack vare sin höga kvalitet (förmåga att generera arbete) den starkaste effektiviseringsfaktorn i energianvändningen. Speciellt användning i transportsektorn är intressant. Elen har där mycket hög verkningsgrad jämfört med bensin där cirka 25 procent av energiinnehållet går till framdrivning medan 75 procent blir restvärme. Introduktionen av elbilar kommer därför att innebära en betydande effektivisering eftersom i princip all elenergi omvandlas med små förluster till framdrivning av bilen. Dagens oljeanvändning inom transportsektorn (25 000 terawattimmar i förbränningsmotorer) skulle teoretiskt sett kunna ersättas med 6 000 terawattimmar el till elmotorer.

Solenergi

De flesta prognoser utgår från att solenergin på sikt kommer att bli en allt viktigare komponent i den direkta energitillförseln. Användning av solfångare och solpaneler expanderar snabbt. En mycket lovande utveckling sker för närvarande genom förbättring av effektiviteten för konvertering av solenergi till solel hos solpaneler med flerlagers halvledarskikt. Man har nyligen lyckats nå en effektivitet på 40 procent att jämföras med de 10 procent som är typiska för dagens kommersiella solpaneler. Dock är dessa system

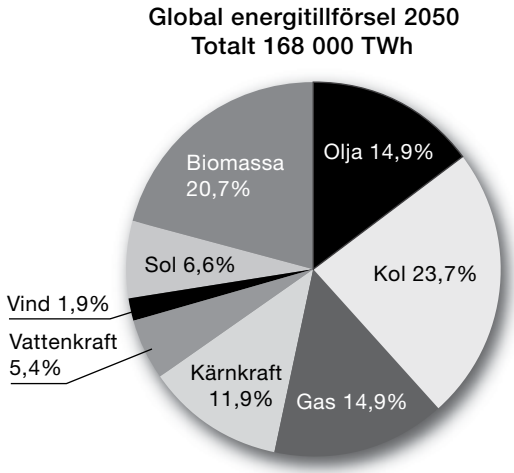
liksom vindkraften beroende av reglerkraft under perioder då solen inte lyser på panelerna.

Denna nackdel har undanröjts i en annan lovande teknik, den så kallade CSP-tekniken (CSP = Concentrating Solar Power). Den går ut på att solinstrålningen koncentreras med hjälp av speglar utlagda på en stor yta. Solstrålningen koncentreras antingen mot en tank som ligger på på ett centralt torn, eller mot rör där vätska värms till flera hundra grader. Den uppvärmda vätskan kan ledas till en stor behållartank där den förvaras under flera timmar upp till ett dygn. På så sätt elimineras dygnsvariationer. Den varma vätskan kan tas ut kontinuerligt och omvandla vatten till ånga som driver turbiner för elgenerering. El kan alltså produceras även nattetid när solen inte lyser. Med denna teknik elimineras alltså en av olägenheterna med de förnybara energikällorna. Erfarenheter finns redan från Spanien och USA och för närvarande utvecklas CSP-solkraftverk med en sammanlagd effekt på 9 gigawatt (GW, miljarder watt).

Tekniken är alltså utprovad och flera stora projekt diskuteras. I Spanien planeras för mer än 60 gigawatt till 2030. Ett annat stort projekt är Desertec-projektet som siktar mot en storskalig utbyggnad av CSP-tekniken i Sahara och Mellanöstern med planer på storskalig överföring av el till Europa. Teoretiskt

sett skulle all världens el kunna genereras på mindre än en procent av världens ökenområden.

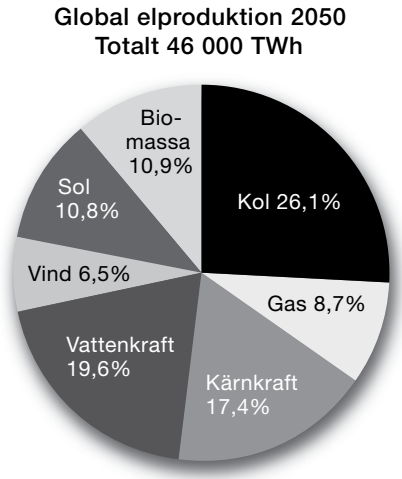
Hur mycket som hinner byggas ut av solel till 2050 beror på politiska beslut, exempelvis beslut om utbyggnad av storskaliga kraftledningsnät. När det gäller småskaliga solelssystem baserade på halvledarteknik beror utbyggnadstakten på hur balanserande reglerkraft kommer att utvecklas.



Figur 4. Uppskattningar av den globala energitillförseln år 2050. Uppskattningarna baseras dels på uppgifter från Uppsala universitets grupp för Globala energisystem när det gäller de fossila bränslena, dels på de studier som gjorts inom Kungl. Vetenskapsakademiens energiutskott när det gäller de icke-fossila energikällorna.

Situationen kring år 2050

Låt oss anta att vattenkraften och vindkraften i huvudsak byggts ut till sin fulla tekniska potential, att solelsproduktionen har hunnit bli en viktig komponent i eltillförseln, att ytterligare 400 reaktorer byggts efter 2030 och att bioenergins expansion fortsatt efter 2030. Det leder till de scenarier för årlig energitillförsel och eltillförsel 2050 som visas i figurerna 4 och 5.



Figur 5. Uppskattningar av den globala elproduktionen år 2050. (Samma underlag som för figur 4.)

När det gäller de fossila energislagen antas att oljetillförseln år 2050 har halverats jämfört med idag, att gastillförseln efter några decenniers uppgång är tillbaka

på dagens nivå och att kolkraften inte byggts ut mer än nödvändigt, i huvudsak som reglerkraft för att kompensera de tillfälliga bortfallen av förnybar energi. Sammantaget tillförs då årligen 90 000 terawattimmar fossil energi att jämföras med 110 000 terawattimmar 2006.

Det är fullt realistiskt att anta att en stor del av framtida kolkraftverk ska kunna byggas med avskiljning och lagring av koldioxid, en teknik som i dag bedöms väsentligt mer optimistiskt än för bara fem år sedan. Avskiljning och lagring av koldioxid uppskattas minska verkningsgraden i kraftverken med cirka 10 procentenheter och höja kostnaderna för elproduktion med 10 till 20 procent.

I det här beräknade scenariet är den sammanlagda energitillförseln 168 000 terawattimmar, det vill säga 15 500 terawattimmar lägre än i IEA:s alternativa scenario för 2030. Detta kompenseras mer än väl av produktionen av 46 000 terawattimmar el som är 50 procent högre än IEA-prognosen: el har cirka tre gånger större effektivitet då den används än de fossila bränslen den ersätter.

Vi antar att tack vare effektivisering kommer energianvändningen inte att behöva öka mellan 2030 och 2050. Effektiviseringar på cirka 30 procent anses

vara möjliga att nå och ska kunna kompensera den ökande efterfrågan på energi.

Efter 2050

Utvecklingen efter 2050 kommer med säkerhet att domineras av fortsatt byggnad av solkraftverk. Ett första fusionskraftverk beräknas vara klart att tas i drift kring 2050 och kommer att öppna intressanta möjligheter för framtiden. Det finns även stor potential att få ut el från tidvatten, vågor och marina strömmar. Av dessa har hittills endast tidvattenkraften gett bidrag till elproduktionen: 0,6 terawattimmar under 2007, men den teoretiska potentialen är 300 terawattimmar per år. Ännu större potential har vågkraften som teoretiskt kan ge mellan 8 000 och 80 000 terawattimmar per år. Geotermisk energi är en annan möjlighet, men bedöms inte bidra substantiellt till storskalig energitillförsel före 2050.

Vätgas är en energibärare som kan utnyttjas både vid förbränning och vid kemisk omvandling till el i bränsleceller. I denna artikel har betoningen lagts på ett framtida elsamhälle eftersom elen är effektivare vid energianvändning. Vätgas produceras ur vatten antingen genom elektrolys eller genom spjälkning vid hög temperatur. Vätet tillsammans med syre ger sedan el i en bränslecell. Det är effektivare att använda elen direkt än att gå via vätgas!

Först blir det energiförluster då väte produceras ur vatten med hjälp av el och sedan då el genereras och vatten återbildas.

En möjlighet till vätgasproduktion är genom artificiell fotosyntes, som kan vara praktiskt användbar kring 2050. En fördel med väte är dess höga energitäthet. Per vikt räknat fås tre gånger mer energi vid förbränning av väte än vid förbränning av bensin. Väte kan alltså bli av intresse i flera olika sammanhang, till exempel som flygbränsle. Alternativt kan vätgasen tillsammans med koldioxid omvandlas till metanol, eller till energirika kolväten tillsammans med biomassa och avfall.

Tvågradersmålet klaras med råge

De 110 000 terawattimmar fossil energi vi nu använder årligen kommer enligt det presenterade scenariot (figur 4) att minska till 90 000 terawattimmar år 2050, och koldioxiden från 10 000 terawattimmar kolkraft antas kunna avskiljas och lagras under mark. De årliga koldioxidutsläppen från fossila bränslen minskar med detta antagande från dagens 28 miljarder ton till 20 miljarder ton år 2050. Denna minskning väntas fortsätta efter 2050 med fortsatt utbyggnad av ”utsläppsfria” energikällor.

Koldioxidutsläppen från användning av fossil energi under en hundraårsperiod kommer alltså att bli betydligt lägre än de 2 200 miljarder ton som utifrån IPCC:s scenarier krävs för att klara EU:s tvågradersmål – ett mål som alltså kommer att kunna klaras med råge rent tekniskt sett. Men då måste också starka åtgärder sättas in mot avskogning och övriga utsläppskällor för både koldioxid och andra växthusgaser. Det kommer definitivt att fordras en mycket stark samsyn av världens ledande beslutsfattare för att realisera tvågradersmålet.

Sven Kullander är professor emeritus i högenergifysik vid Uppsala universitet och verksam vid Kungl. Vetenskapsakademien där han är ordförande för Energiutskottet.

Lästips

- *Energi – Möjligheter och dilemman*, en bok framtagen av KVA och IVA 2007 (beställ hos IVA). En elektronisk version finns på akademiernas webbplatser: www.kva.se och www.iva.se
- David J.C. MacKay. *Sustainable Energy – without the hot air* (www.withouthotair.com).

Lagring av koldioxid – lösning eller dimridå?

Både EU och världen i övrigt har stora förhoppningar på tekniken att avskilja och lagra koldioxid. Men det finns skäl att ha ett kritiskt förhållningssätt, skriver Anders Hansson och Mårten Lind. Osäkerheterna är många och erfarenheterna få. Kritikerna beskriver tekniken som en dimridå som energiindustrin har skapat för att få fortsätta elda fossila bränslen. De menar att tekniken är komplicerad och dyr och själva lagringen osäker. Förespråkarna menar att koldioxiden kan lagras säkert och att det kan ske utan alltför höga kostnader.

Anders Hansson, Institutionen för TEMA, Linköpings universitet.

Mårten Lind, Institutionen för kemiteknik, KTH.

Ända sedan den industriella revolutionen har fossila bränslen (stenkol, brunkol, olja och naturgas) tillskrivits en fundamental betydelse för industriell utveckling och tillväxt. Samtidigt är det de största källorna till koldioxidutsläpp i det globala energisystemet. Ett modernt samhälle utan fossilt kol ses av de flesta som omöjligt att uppnå annat än på mycket lång sikt, samtidigt som omfattande åtgärder mot växthuseffekten måste vidtas omgående.

Först på senare år har en teknik presenterats som skulle kunna hantera denna motsättning och som kanske kan möjliggöra en mer hållbar kolanvändning. Metoden kallas för avskiljning och geologisk lagring av koldioxid och förkortas på engelska CCS (Carbon dioxide Capture and Storage). Den innebär att koldioxid tas ut från rökgaserna vid kolkraftverk eller från andra storskaliga industrianläggningar. Koldioxiden transporteras sedan till en deponeringsplats djupt nere i marken.

Stora förhoppningar

Förhoppningarna kring CCS är mycket stora och utvecklingsinsatserna har ökat dramatiskt. FN:s klimatpanel IPCC anger att CCS har potential att under detta århundrade reducera hälften av de växthusgasutsläpp som behöver reduceras om målsättningen är en stabilisering på under 2 grader Celsius

i temperaturökning. Sådana värden bör tas med en nypa salt eftersom det finns många osäkerheter med CCS. Trots osäkerheterna har EG-kommissionen sagt att det inte går att minska vare sig EU:s eller världens koldioxidutsläpp med 50 procent fram till 2050 utan att använda CCS. CCS har därför kommit att ingå i EU:s nya energipaket som antogs 2009 och ska de finansieras med stora summor EU-medel under en övergångsperiod tills tekniken är fullt utvecklad.

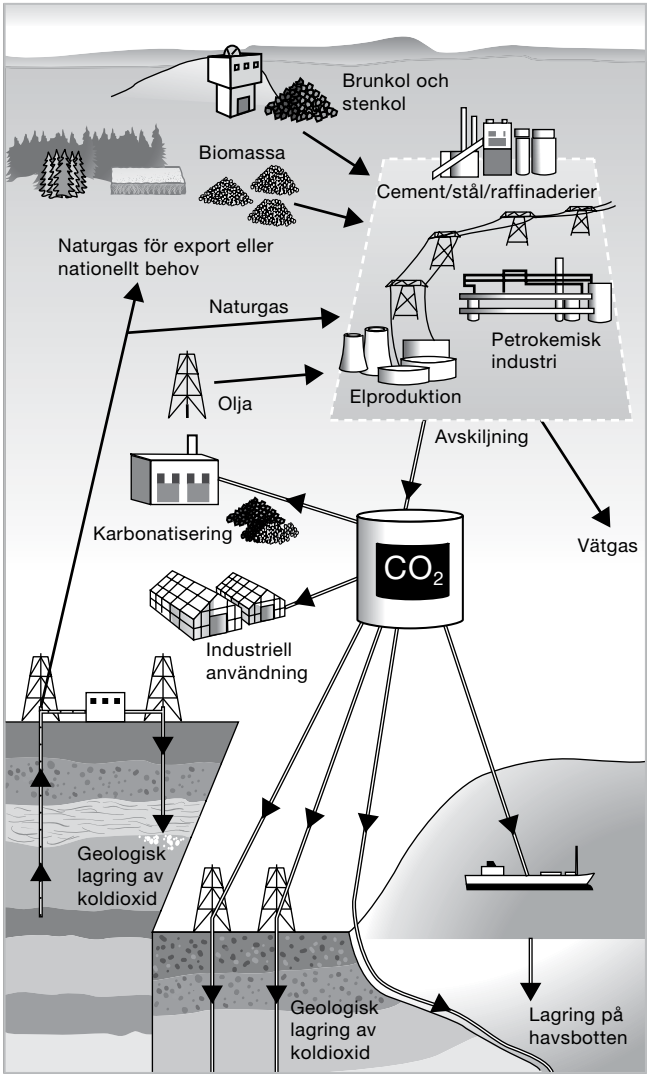
Även USA tog för några år sedan ställning för CCS. En av förklaringarna till USA:s stora entusiasm är att man med CCS kan fortsätta att använda landets stora kolreserver, de största i världen, och på så vis bli mindre beroende av importerad olja från främst Mellanöstern. Samma argument väger tungt även inom EU. Att kunna exportera CCS-teknik till utvecklingsländer med stor kolanvändning, främst Kina, är också ett tungt vägande argument för CCS. Den snabba utvecklingen av CCS motiveras även med att förnybar energi inte har den potential som behövs på kort och medellång sikt för att få ner utsläppen.

Men vad innebär denna teknik som på kanske kortare tid än någon annan klimatrelaterad teknik har kunna mobilisera så stort stöd? Finns det några osäkerheter och risker med tekniken, och vilken kritik finns? Detta är några av de frågor vi kommer att diskutera.

Lönsamt för stora anläggningar

CCS omfattar tre steg: avskiljning, transport och geologisk lagring. Avskiljningen kan med dagens teknik inte ske från små utsläppskällor; det är med andra ord inte aktuellt på till exempel bilar, lastbilar eller flygplan. För att metoden ska vara ekonomiskt lönsam måste den årliga mängden hanterad koldioxid vara minst 100 000 ton. Därför är det främst kol-, olje- och naturgaskraftverk som är aktuella samt stora industriella anläggningar som cementindustrier, stålverk, raffinaderier och naturgasproduktion. CCS går även att ha på anläggningar där biobränsle eldas, men den användningen spås inte bli lika stor som för fossila bränslen. Om däremot världspolitiken riktas in mot mycket ambitiösa utsläppsreduktioner kan det bli attraktivt att använda CCS tillsammans med biomassa. Sådana system möjliggör nämligen en minskning av koldioxidkoncentrationen i atmosfären eftersom biomassa i sig anses ta upp lika mycket koldioxid som släpps ut vid förbränningen. Om dessutom

Bilden visar möjliga framtida CCS-system. Aktuella anläggningar för avskiljning är främst kol-, olje- och naturgaskraftverk samt stora industrianläggningar som cementindustrier, stålverk, raffinaderier, massabruk och anläggningar för naturgasproduktion. Den avskilda koldioxiden kan lagras dels geologiskt och då främst i akvifärer samt uttjänta olje- och gasreservoarer, dels i fast form efter så kallad karbonatisering där koldioxid binds till olika typer av mineraler såsom olivin. Till viss del kan koldioxid också användas industriellt, exempelvis för att höja produktionsnivån i växthus samt för att tillverka olika typer av drivmedel. Ett exempel på drivmedel är metanol som kan tillverkas av vätgas och koldioxid.



den utsläppta koldioxiden avskiljs och lagras så blir nettot minusutsläpp. Med tanke på storleken på Sveriges skogsbrukssektor skulle CCS då kunna spela en strategiskt viktig roll även i vårt land.

I dagsläget finns drygt 30 platser runtom i världen där CCS eller delar av CCS testas, men fullskaliga CCS-anläggningar för kraftproduktion finns ännu inte någonstans. Några projekt har även avbrutits i förtid på grund av exempelvis oväntat höga kostnader, brist på lämpliga lagringsplatser, allmänhetens protester eller oklara regelverk.

Tre metoder för avskiljningen

Det finns grovt räknat tre olika typer av teknik för avskiljningen: före förbränning, efter förbränning samt oxyfuelförbränning. Gemensamt för dem är att de inte är kommersiella nu. Därför går deras kostnader och miljöprestanda inte att veta säkert än.

Avskiljning av koldioxid före förbränning sker efter förgasning av bränslet och från gasblandningar som oftast består till övervägande delen av koldioxid och vätgas. Efter avskiljningen återstår då främst vätgas som kan förbrännas i exempelvis en gasturbin. Avskiljning efter förbränning är en process som utgår från rökgas från exempelvis koleldade pannor. Oxyfuel är den teknik som Vattenfall utvecklar vid

Schwarze Pumpe i östra Tyskland och som har fått stor uppmärksamhet världen över. Tekniken går ut på att bränslet förbränns i ren syrgas från en syrgasanläggning. Rökgasen som produceras består till övervägande delen av koldioxid och vattenånga. Efter kondensering av vattenångan till vatten återstår en ren koldioxidström som är klar för lagring. De olika avskiljningsmetoderna har utvecklats olika mycket och baseras i varierande grad på sedan tidigare känd och beprövad teknik.

Beroende på bland annat teknikval, kvaliteten på bränslet och möjligheterna till kylning uppskattas att 80–95 procent av koldioxiden kan avskiljas, medan resten släpps ut som vanligt. En kraftanläggning med CCS kräver dessutom 10–40 procent mer bränsle för att kunna producera samma mängd elektricitet som en anläggning utan CCS. Följden blir att det är skillnad på avskild mängd koldioxid och från atmosfären undanhållen mängd koldioxid. Mer bränsle måste alltså användas med resultatet att inte bara bränslekostnaden ökar utan även den många gånger miljöskadliga kolbrytningen. Kolbrytningen orsakar i sin tur utsläpp av den starka växthusgasen metan. Om denna räknas in i kalkylen för en CCS-anläggnings utsläpp kan mängden från atmosfären undanhållen växthusgas bli bara runt 65 procent, något som många kritiker är noga med att poängtera.

Dyr dimridå

Som en följd av det ökade bränslebehovet för CCS samt investeringar i teknisk utrustning blir elproduktionskostnaderna högre. Beroende på lokala förutsättningar och teknikval blir de från cirka 20 procent högre till uppemot dubbelt så höga. De i dagsläget höga kostnaderna ses av många som det största hindret för att CCS ska kunna utvecklas överhuvudtaget.

Även den dag CCS är en mogen teknik kan det bli mycket kostsamt att göra så kallade efterinstallationer. CCS är därför i första hand tänkt att installeras när nya kraftanläggningar byggs. Eftersom kraftverk är mycket dyra, i storleksordningen 10 miljarder kronor per anläggning, och har en livslängd på 30–60 år så kan det ta lång tid innan CCS är installerat på flertalet anläggningar. Kritik har kommit från bland andra Al Gore som menar att det dels finns en risk att CCS gör att det byggs kolkraftverk som annars inte hade fått byggas, dels att det är riskabelt att förlita sig på en teknik som inte är tillräckligt beprövad än. Därför beskrivs CCS ibland som en dimridå som energiindustrin har skapat för att få fortsätta elda fossila bränslen ungefär som förr.

När koldioxiden har avskilts måste den transporteras. Pipelines eller båttransport är de metoder som är

lämpligast vid transport av stora mängder komprimerad koldioxid. De möjliggör transport av koldioxiden flera tiotals mil, även över nationsgränser för efterföljande lagring. Pipelinetransport av koldioxid har förekommit sedan 1970-talet och ses av de flesta som tekniskt relativt oproblematisk och verkar medföra risker som är acceptabla. Riskerna anses vara jämförbara med de för pipelinetransport av naturgas. Kostnaderna för rimligt långa transporter är små jämfört med kostnaderna för avskiljningen, som är det i särklass mest kostsamma momentet av CCS.

Lager kan läcka

Det finns tre olika geologiska lagringsmetoder: i olje- eller gasreservoarer, djupa grundvattenmagasin, så kallade akvifärer, och obrytbara kolbäddar. Om CCS får det stora genomslag som IPCC har uppskattat kommer någonstans mellan 220 och 2 200 miljarder ton koldioxid att behöva lagras detta århundrade. Om så skulle bli fallet kan koldioxiden som hanteras i CCS-systemen bli världens största handelsvara. Lagringsfrågorna är det område där det råder störst vetenskaplig osäkerhet.

Det globala lagringsutrymmet uppskattas vara större än vad som kommer att behövas, och de potentiella lagringsplatserna är relativt jämnt utspridda över

jorden. Men eftersom varje lagringsplats har unika geologiska förutsättningar är det svårt att avgöra säkerheten i dessa uppgifter, som är just uppskattningar och inte baserade på faktiska mätningar och utprovningar annat än i några enstaka fall. En ytterligare försvårande omständighet är att koldioxiden måste lagras i flera hundra till tusentals år om metoden ska vara verkningsfull. Ett kort räkneexempel visar till exempel att om 1 procent läcker ut varje år så har 63 procent av all koldioxid läckt ut efter hundra år.

Det bedrivs mycket forskning på lagring i dagsläget. På flera platser injekteras koldioxid i marken för att sedan övervakas. Forskningen har kritiserats för att inte vara tillräckligt objektiv eftersom man främst försöker bevisa att koldioxiden stannar genom att göra försöken endast under ideala förutsättningar och under relativt kort tid. I Norge har man dock nyligen beslutat att bedriva studier på sämre lager där man i ett läckande lager i närheten av Drammen ska iaktta vad som händer under själva läckageförloppet. Detta är viktigt ur säkerhetssynpunkt eftersom det inte på förhand går att fastställa med total säkerhet om ett lager kommer att hålla tätt eller inte. Det kan komma att behövas beredskap för att ta upp koldioxiden igen vid eventuella läckage.

Lagringen sker på djup över 800 meter, där trycket och temperaturen gör att gasen övergår till vätskeform eller ett så kallat superkritiskt tillstånd. Väl nere i marken beror gasens beständighet på en kombination av fysiska och geokemiska instängningsmekanismer. I ideala fall finns det täta lock som består av en praktiskt sett ogenomträngig lersten och skiffer ovanför lagringsutrymmet. När det saknas täta lock ökar risken för spridning av koldioxiden. Men det finns ytterligare fysikaliska och kemiska mekanismer som håller kvar koldioxiden. Exempelvis kan koldioxid lösa sig i det vatten som eventuellt förekommer i formationen, vilket gör att densiteten ökar. Det gör i sin tur gör att det koldioxidhaltiga vattnet sjunker till formationens botten.

Andra risker

Utöver risken för ett litet läckage som gör hanteringen meningslös i ett klimatperspektiv finns det risker för närmiljön om kraftigare läckage uppstår. Det kan exempelvis uppstå olyckor vid själva injektionen. Dessa bedöms möjliga att hantera snabbt med beprövad teknik som i dagsläget används av oljeindustrin för så kallade ”blow outs”. Det kan även ske smygläckage som främst påverkar dricksvatten och ekosystem. Marken kan bli försurad eftersom koldioxid i sig är svagt sur. I sumpmarker eller då det är vindstilla kan dessutom människor och djur skadas. Dessa risker

bedömer de flesta experter som mycket små, men frågorna är för den skull inte obetydliga för de människor som bor eller kommer att bo i närheten av lagringsplatser. Många tänkta lagringsplatser ligger dessutom i områden som är tätbefolkade. På vilket sätt allmänheten kommer att reagera på CCS under sådana omständigheter är en fråga som forskare och energiindustrin för tillfället undersöker.

CCS hör till de klimatåtgärder som är minst kända bland allmänheten, och den har inte något stort stöd. I de cirka 20 vetenskapliga attitydundersökningar som har gjorts i Västeuropa, USA, Kanada, Japan och Australien har de flesta medborgare angett att de föredrar förnybar energi då de ställs inför förslaget att CCS kan byggas. Vissa forskare har påvisat något som kan kallas ”motvillig acceptans” för CCS bland allmänheten. Det innebär att tekniken ofta anses vara ett nödvändigt ont om CCS ställs mot en skenande klimatförändring. Det är inte bara riskerna med lagringen som gör att attityderna är relativt negativa utan även risken att CCS kan påverka satsningarna på förnybar energi negativt i och med att CCS medför fortsatt användning av fossila bränslen. Detta är även en av huvudinvändningarna från delar av miljörörelsen.

CCS-teknik en dellösning

CCS-förespråkare betonar ofta att den stora kol-

användningen kommer att bestå och kanske till och med att öka under flera decennier framöver. De senaste årens ökning av elproduktionskapaciteten i Kina har till exempel till 90 procent varit baserad på brun- och stenkol eftersom landet har så stora kolreserver. Om den industriella utbyggnaden fortsätter i samma takt kommer utbyggnaden av kolkraft i Kina att överstiga den samlade elproduktionskapaciteten i USA och EU. Att tillgodose det enorma energibehovet ses av de flesta som svårt eller till och med omöjligt om inte fossila bränslen används. En fortsättning av denna trend är ett mardrömsscenario ur klimatperspektiv samtidigt som det av de flesta ses som en förutsättning om den industriella och ekonomiska utvecklingen ska kunna fortsätta som hittills.

CCS är ett tilltalande alternativ om man anser att tekniken kan utvecklas tillräckligt snabbt, att koldioxiden kan lagras säkert och att det kan ske utan att kostnaderna blir alltför höga. Kritikerna, som är betydligt färre än förespråkarna, menar å andra sidan att CCS inte kommer att vara utvecklad i tid. Vidare att CCS är för tekniskt komplicerat, dyrt och att det inte är etiskt försvarbart att lagra avfall (koldioxid) som kommande generationer får ansvara för. De menar därför att det är bättre att redan nu satsa på beprövad och billigare förnybar teknik och energieffektivisering.

Nu handlar inte CCS nödvändigtvis om ett motsatsförhållande mellan förnybar energi och ett bibehållande av fossila bränslen med CCS. De flesta experter, även inom miljörörelsen, anser att CCS kanske kan vara en dellösning bland flera. Frågan om CCS framtid kan inte ges något säkert svar än eftersom osäkerheterna fortfarande är många och de praktiska erfarenheterna få. Det finns med andra ord goda skäl att ha ett kritiskt förhållningssätt till CCS och idéer om dess framtida betydelse.

Anders Hansson är forskare på Centrum för klimatpolitisk forskning vid Linköpings universitet. Han har skrivit en doktorsavhandling om CCS och forskat om CCS i EU-projekt. Hans inriktning är i första hand samhällsvetenskapliga aspekter av CCS, exempelvis vetenskaplig osäkerhet och CCS-debatten.

Mårten Lind (tidigare Bryngelsson) är doktorand på den kemitekniska institutionen på KTH i Stockholm. Han arbetar på en avhandling om bland annat olika tekniska alternativ för avskiljning av koldioxid. Han är också intresserad av lagar och regler kring CCS och har ansvarat för en delrapport inom EU-projektet STRACO2.

Lästips

- Anders Hansson. *Kolets återkomst – Koldioxidavskiljning och lagring i vetenskap och politik*, Linköpings universitet 2008 (doktorsavhandling).
- *Möjligheter för avskiljning och lagring av koldioxid i Sverige*, Kungliga Ingenjörvetenskapsakademien 2009 (www.iva.se).

Mycket viktigt att vi lyckas lagra koldioxid

Om klimatfrågan ska tas på allvar behöver vi använda alla sätt för att minska koldioxidutsläppen, även avskiljning och lagring av koldioxid (CCS). Med tanke på de stora mängder fossila bränslen som finns kvar att använda vore det ett mardrömsscenario att CCS misslyckades. Just nu ser det dock ljust ut för tekniken. På sikt är det viktiga att vi globalt sätter ett tillräckligt högt pris på koldioxidutsläpp så att både CCS och annan teknik blir lönsamt i stor skala, skriver Filip Johnsson.

Filip Johnsson, Institutionen för Energi och Miljö, Chalmers tekniska högskola.

Avskiljning och geologisk lagring av koldioxid – behövs det? Utan tvekan är svaret ja. Det stora hotet mot klimatet är de stora reserverna av fossila bränslen – en självklarhet, som ofta verkar glömmas bort. Det är knappast troligt att människan inte kommer att vilja utnyttja de stora tillgångarna av fossila bränslen, speciellt inte över de kommande decennierna. Dessutom sker en kraftig ökning av användningen av fossila bränslen i utvecklingsekonomierna i Asien, särskilt i Kina där definns stora reserver av framförallt kol. Detta ger naturligtvis motsvarande ökning i koldioxidutsläpp.

Mot den bakgrunden inser vi att utveckling av teknik som möjliggör fortsatt användning av fossila bränslen som kol, olja och gas utan att det resulterar i några koldioxidutsläpp är en nyckel till att klara klimatmålen. Vi står inför en mycket stor utmaning om vi ska klara att möta det så kallade tvågradersmålet – att jordens medeltemperatur inte får stiga mer än två grader. På ungefär fyra decennier – till år 2050 – innebär detta att den rika delen av världen i princip måste minska sina koldioxidutsläpp till noll. De globala utsläppen ska minska med mellan 50 och 85 procent från dagens nivå, och det är knappast rimligt att utvecklingsekonomierna kan förväntas göra samma åtaganden som den rika delen av världen. Utsläppen i dessa länder är i många fall också

starkt kopplade till vår konsumtion i väst. Ungefär 80 procent av tillförd energi globalt kommer idag från fossila bränslen, och det finns mycket stora reserver av framförallt kol. Därför satsas det nu runt om i världen på forskning och utveckling kring teknik för avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS). Det pågår ett ganska intensivt arbete inom alla de tre stegen (se figur i föregående kapitel).

Pris på utsläpp gör CCS-tekniken lönsam

Att CCS bedöms intressant beror på tre saker: 1) att det finns stora lagringsutrymmen runt om i världen, 2) att mycket lite talar för att koldioxiden kommer att läcka ut, samt 3) att tekniken bedöms kunna bli kostnadseffektiv – det senare naturligtvis under förutsättning att det sätts ett pris på koldioxidutsläpp. Om vi ska få till stånd kraftiga minskningar i utsläppen av växthusgaser måste det kosta att släppa ut koldioxid, men då kommer vi i gengäld att få se alla tekniska lösningar och åtgärder användas: förnybar teknik, energieffektivisering, CCS och en del kärnkraft.

Man kan säga att det positiva är att kostnaden för att komma åt klimatproblemet inte är speciellt hög jämfört med förväntad ekonomisk tillväxt och framförallt inte jämfört med kostnaderna som förväntas uppkomma om vi låter bli att vidta åtgärder.

Utmaningen är framförallt politisk – att komma överrens om ett system för att prissätta utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser. Att utvecklingen av CCS lyckas är viktigt eftersom det kommer att underlätta för fossilberoende regioner att göra kraftfulla åtaganden om utsläppsminskningar.

Infrastrukturen avgörande

Det är nog inte att få tekniken i sig att fungera som är den största utmaningen för CCS, även om betydande forsknings- och utvecklingsinsatser krävs under den närmaste tioårsperioden. Istället ligger utmaningen i att tillräckligt snabbt bygga upp en effektiv infrastruktur för att avskilja, transportera och lagra koldioxid så att kostnaden kan hållas nere och så att samhället därmed verkligen tillämpar CCS i stor skala. Nödvändig infrastruktur är nya kraftverk med koldioxidavskiljning och system av pipelines för transport av den avskilda koldioxiden samt lagringsplatser med injektionssystem för koldioxiden. Det här är stora system som kräver omfattande planering där utbyggnaden kan ta många år. Dessutom behövs utrustning för övervakning så att det kan säkerställas att koldioxiden inte läcker ut. Det behövs också regelverk som anger vilka krav som ställs på lagringen, till exempel renhet på koldioxiden. I Europa finns ett nytt direktiv som tillåter koldioxidlagring samt ställer övergripande krav på koldioxiden som ska

lagras. Nu (2009) pågår arbete för att anpassa direktivet till de olika medlemsländernas miljölagstiftning.

De flesta bedömare tror att CCS kan finnas kommersiellt tillgängligt runt år 2020, alltså om ungefär tio år. Det är alltså efter 2020 som det måste till en kraftfull utbyggnad av en integrerad CCS-infrastruktur. Under de kommande decennierna behövs stora investeringar i elproduktionssektorn, och detta utgör då samtidigt en möjlighet att planera för ett genomförande av CCS. En osäkerhet är dock vad som händer med investeringar som måste göras före 2020. Till exempel är Nordamerikas kolkraftverk (USA och Kanada) ålderstigna och även i Europa finns ett stort antal kolkraftverk som måste bytas ut före 2020, alltså innan CCS bedöms finnas kommersiellt tillgängligt. Självklart kan en del av dessa bytas ut mot förnybar elproduktion, men i många fall är det fråga om baslastkraftverk med stor installerad effekt där alternativet ofta är att byta till kraftverk med naturgas som bränsle. Detta kan ge en inlåsning i ett redan betydande naturgasberoende. Europas elproduktion har under de senaste decennierna blivit allt mer beroende av naturgas som kommer från ett fåtal länder utanför EU, samtidigt som EU:s egna naturgasfyndigheter håller på att ta slut. Kol är både en inhemsk resurs (särskilt i de länder som har

brunkol) och finns att köpa på en global marknad med leverantörer i många länder.

I Asien är det viktigt att så snabbt som möjligt få igång en utveckling av CCS så att de stora inhemska resurserna av kol kan användas i kraftverk med koldioxidavskiljning. Därför är det viktigt att Europa och USA går före och visar att det går att tillämpa CCS till rimlig kostnad. Det första kolkraftverket som byggs ”utan skorsten” kommer att få ett starkt symbolvärde och kommer troligtvis att innebära att det sedan blir mycket svårare att få acceptans att bygga kolkraftverk utan koldioxidavskiljning.

Är CCS någonting för Sverige?

CCS bedöms i första hand bli kostnadseffektivt på stora (uppemot 1000 megawatt) fossileldade kraftverk som går i så kallad baslast och då främst sådana som eldas med kol som bränsle. Några sådana har vi ju inte i Sverige där den övervägande delen av elproduktionen sker med ungefär lika delar vattenkraft och kärnkraft, alltså i princip utan koldioxidutsläpp. Beroende på hur mycket det kommer att kosta att släppa ut koldioxid kan CCS även tillämpas på olika industriella processer (till exempel cement, stål och raffinaderier). Sveriges västkust, Jylland i Danmark och södra Norge utgör sammantaget en region (Skagerrakregionen) med ett antal större

punktutsläpp av koldioxid från både industrier och kraftverk (dansk kolkraft) som tillsammans skulle kunna ”samsas” om en gemensam CCS-infrastruktur. Ett EU-projekt har precis inletts (hösten 2009) för att undersöka förutsättningarna för en sådan infrastruktur.

I övrigt bör Sverige som export- och kunskapsnation delta i arbetet med utveckling och industrialisering av CCS. Allt talar för att CCS blir en stor industri globalt – i alla fall om vi politiskt lyckas få till stånd nödvändiga åtaganden om minskningar i koldioxidutsläpp. Detta ger då upphov till stort behov av tjänster och produkter inom CCS-området. I vissa fall ligger Sverige redan långt fram. Vattenfall satsar betydande summor på att driva utvecklingen och vi på Chalmers är långt framme i utvecklingen av två avskiljningsmetoder (oxyfuelförbränning och tvåstegsförbränning).

Även för svensk bilindustri kan CCS indirekt vara intressant. Ökat oljepris i kombination med oron för leveranssäkerhet och de stora globala tillgångarna på kol gör att drivmedelsframställning från kol utgör ytterligare ett hot mot möjligheten att minska koldioxidutsläppen; anläggningar projekteras och byggs redan i Kina. Alternativet är ökad användning av elbilar med plug-in hybridteknik, där den del av

elen som framställs från kol eller gas kan ske i kraftverk med koldioxidavskiljning. Ett sådant system kan dessutom utnyttjas till att på ett kostnadseffektivt sätt öka andelen vindkraft (och annan så kallad intermittent elproduktion) genom att möta variationerna i vindkraftsproduktion med laddning alternativt urladdning av bilbatterierna. Här finns stora möjligheter för svensk fordonsindustri att ta fram nya tekniska lösningar och fordonssystem för ett klimatsmart transportsystem. Till exempel har Vattenfall och Volvo inlett ett samarbete inom området att utveckla plug-in hybridbilssystem, och i framtiden kan vi nog förvänta oss att gränsen mellan det stationära energisystemet (produktion av el och värme) och transportsektorn luckras upp med fler samarbeten mellan fordonsindustri och elproducenter.

Kommer CCS att accepteras?

Nya tekniska metoder ger ofta problem med acceptansfrågor, och CCS-tekniken utgör säkert inget undantag. Undersökningar av allmänhetens inställning visar hittills egentligen bara att tekniken är dåligt känd, och det är därför svårt att uttala sig om vad vi kan förvänta oss. Däremot har vissa inledande projekt mött motstånd från lokala opinioner.

En gissning är att allmänheten i regioner som är direkt fossilberoende kommer att vara mer positiva

till CCS-tekniken än befolkningen i regioner som inte är beroende eller upplever sig vara beroende av dessa bränslen. I regioner med kolfyndigheter (till exempel brunkol) kan tillämpning av CCS innebära att ett gammalt kraftverk byts mot ett nytt samtidigt som arbetstillfällen behålls. Lagringsdelen kommer säkert i vissa fall att vara kontroversiell, men betydande lagringspotential finns off-shore (alltså under havsbotten) långt från bebodda områden.

Misslyckat CCS ett mardrömsscenario

Om klimatfrågan ska tas på allvar är det viktigt att alla inser att vi behöver alla tekniska lösningar och åtgärder för att minska koldioxidutsläppen. Valet står inte mellan vindkraft och CCS utan vi behöver bägge, precis som vi behöver kraftiga effektiviseringsåtgärder och utbyggnad av solenergi och vågenergi och även en del kärnkraft.

Att utvecklingen av CCS misslyckas är något av ett mardrömsscenario med tanke på de stora resurserna av fossila bränslen – inte minst i de länder som producerar mycket av det vi konsumerar. Just nu pekar utvecklingen på att CCS kommer att lyckas med ett stort antal utvecklingsprojekt på gång. Men på sikt är det viktiga att det kommer till ett tillräckligt högt pris på koldioxidutsläpp så att både CCS och annan teknik införs i stor skala.

Filip Johnsson är professor i Uthålliga energisystem på Chalmers tekniska högskola. Hans forskning behandlar olika aspekter av produktion, distribution och användning av el och värme. Fokus ligger på dels termisk omvandling av olika fasta bränslen för kraft och värmeproduktion, dels energisystemanalys där olika utvecklingsvägar för Europas energisystem studeras. Hans forskning innefattar bland annat förbränning och förgasning av biomassa samt koldioxidavskiljning från kolförbränning med så kallad oxyfuelteknik.

Lästips

- Eftersom utvecklingen är snabb kan det vara bra att söka på internet på till exempel ”koldioxidavskiljning”, och att titta på olika länkar (här finns också inlägg för och emot satsning på CCS).
- Mycket information finns att hämta på IEA:s webbplats (International Energy Agency; www.ieagreen.org.uk) där det finns faktablad att ladda ner.

Global klimatetik – vad är det som står på spel?

Global rättvisa på klimatområdet – är det möjligt? Vad är viktigast – att fördelar och bördor fördelas jämlikt eller att alla får delta i klimatpolitiska beslut? Eller finns det något tredje sätt att se? Ja, det viktigaste är kanske att diskutera vad som står på spel för människor i olika delar av världen, skriver David Kronlid. Den etiska forskningen har en hel del att bidra med till klimatförhandlingarna.

Foto: Peter Jonsson, Sundsvalls Tidning

David Kronlid, Institutionen för didaktik, Uppsala universitet.

Hur hänger klimatförändringar och rättvisa ihop? Varför är det relevant att diskutera moraliska frågor när vi ska ta oss an den stora utmaningen att hantera de frågor som berör global uppvärmning, utsläppsrätter och anpassning till klimatförändringarna? Klimatfrågan betraktas i första hand som en fråga för naturvetare och tekniker. Frågan är vad humanistisk forskning kan bidra med. Jag ska försöka klargöra varför moraliska frågor är relevanta för klimatfrågan, diskutera vilka moraliska utmaningar som har fått mest uppmärksamhet i klimatdebatten och vad etisk forskning kan bidra med till kommande klimatförhandlingar.

Massmediernas bevakning av klimatförändringarnas konsekvenser har ökat rejält. För bara tio år sedan pågick det fortfarande en diskussion bland forskare, politiker, journalister och utbildare huruvida människan orsakar klimatförändringarna. Idag är de flesta överens om att klimatförändringarna i huvudsak beror på våra egna utsläpp av växthusgaser. Dessutom påstår allt fler att klimatförändringarna vid sidan om att vara en naturvetenskaplig, teknisk, medicinsk och ekonomisk fråga även är en moralisk fråga.

Bland dem som vid olika tillfällen poängterat att klimatfrågan i grunden är en moralisk fråga finns professorer vid svenska lärosäten, IPCC:s tidigare

ledare Bert Bolin, USA:s tidigare presidentkandidat Al Gore, Världsbankens förre chefekonom Nicholas Stern och Lena Asking, ledarskribent på Aftonbladet. Deras argument för detta är att klimatförändringarna orsakar stort lidande bland människor och att människor som redan utsätts för stora prövningar, särskilt i fattiga utvecklingsländer, drabbas och kommer att drabbas hårdast av klimatförändringarnas konsekvenser.

Långsamma och snabba effekter

Vilken typ av lidande talar vi om här? För det första handlar det om klimatförändringarnas långsamma effekter på människors liv. På Världsnaturfondens webbplats kan vi läsa Tulsi Kharas berättelse om sin situation. Hon har levt 70 år i Sundarbans delta där Ganges och Brahmaputra möts och leder ut i Bengaliska viken. För henne och hennes familj har klimatförändringarna bland annat inneburit att stadigt stigande vattennivåer har slukat de största delarna av hennes två hektar stora landområde. Det är lätt att förstå att detta kan innebära en katastrof för en familj som är beroende av sin mark för sin överlevnad och är ekonomiskt, ekologisk och socialt sårbar.

En annan långsam eller indirekt klimateffekt är klimatförändringarnas påverkan på traditionella kunskapssystem. Både forskare och representanter från

så kallade naturbefolkningar vittnar om att ett förändrat klimat hotar till exempel förmågan att förutspå väderförändringar.

Vid sidan om den långsamma påverkan handlar det också om snabb eller direkt påverkan av klimatförändringarna, bland annat ökad förekomst av naturkatastrofer som till exempel orkanen Katrina som drabbade invånarna i New Orleans. Bilder av hjälplösa människor som vandrar genom lera och vatten genom sina vardagsrum har fastnat på våra näthinnor. Katrina har allvarligt påverkat i huvudsak fattiga människors möjligheter att gå i skolan, ha tillgång till sjukvård, komma undan översvämningarna, ha ett fungerande boende, och så vidare.

Lidande följer alltså i spåren av klimatförändringarna. Ibland är denna negativa förändring i människors liv långsam och krypande, ibland lyfter den taket från våra hus inom ett par sekunder. Vi känner med människor som drabbas på det här sättet. Men orsaken till att klimat och moral hör ihop är inte bara att människor lider. Naturfenomen som stormar, torka och översvämningar är en del av förutsättningarna med att leva. Det som gör klimatförändringarnas konsekvenser till en moralisk fråga är att det inte är spontana förändringar i naturen som orsakar lidandet utan att människors handlingar ligger bakom. Det

handlar också om att vi som inte drabbas lika mycket av detta lidande har möjlighet att göra något åt saken, till exempel genom att dra ner på våra egna utsläpp, men också genom att hjälpa dem som särskilt drabbas att anpassa sig till de nya utmaningar de ställs inför.

Klimaträttvisa dominerar i klimatetisk forskning

Världssamfundet satsar på två saker för att möta det stora lidande som klimatförändringarna orsakar: att öka kunskapen om klimatet och dess konsekvenser samt att få till stånd internationella överenskommelser. Etisk forskning kan bidra till båda dessa områden. I klimatlitteraturen finns det jämfört med annan klimatforskning mycket lite om klimatetisk forskning. Den forskning som finns domineras av en diskussion om klimaträttvisa. Vad menas då med klimaträttvisa?

Den diskussion som slagit igenom handlar om ”equity”, en engelsk term som vi kan översätta med jämlikhet på svenska. Ofta kombineras jämlikhet med en annan vanlig term inom rättvisediskussioner, nämligen fördelning. Därmed kan den mest framträdande idén inom forskningen om klimat och rättvisa beskrivas som: *Klimatförändringarnas negativa och positiva konsekvenser bör fördelas jämlikt mellan jordens nationer och befolkningar.*

Ett sådant synsätt kallas för distributiv klimaträttvisa. Ingen bör bära fler eller värre bördor än någon annan eller få fler eller större fördelar av klimatförändringarna. En distributiv syn på klimaträttvisa innebär att det är orättvist att Tulsi Khara från Sundarbandeltat förlorar större delen av sin mark medan markägare i Västernorrland i Sverige inte förlorar någonting av sin. Eftersom vi alla mer eller mindre har bidragit och bidrar till klimatförändringarna så är detta orättvist.

Allas deltagande i klimatpolitiska beslut

Men är det verkligen så enkelt att det enda vi behöver göra för att åstadkomma klimaträttvisa är att se till att dela lika på lidande, lycka och ansvar? Svaret är att det finns många sätt att resonera när det gäller vad klimaträttvisa kan vara. Jag kommer att nämna åtminstone två sätt till, varav det ena är ett förslag på hur vi skulle kunna utforma en global teori om klimaträttvisa.

Vid sidan om distributiv rättvisa forskas det också om så kallad procedurell rättvisa. Med det menas att ett samhälle är rättvist först när alla har lika stor möjlighet att delta i politiska beslut och när allas röster räknas som lika viktiga. Om vi för över detta till vår diskussion om klimaträttvisa så innebär det följande: *De beslut som rör hur vi ska hantera*

klimatförändringarnas negativa och positiva konsekvenser bör fattas utifrån en diskussion där alla som berörs av besluten får delta på lika villkor.

Tänk igen på exemplet med orkanen Katrina. Frågan om New Orleans är ett rättvist samhälle eller inte beror på i vilken utsträckning de som drabbades av Katrina får delta i det politiska beslutsfattandet på lika villkor oavsett utbildning, ekonomisk status och politisk makt.

Idén om klimaträttvisa är alltså inte självklar. Olika klimaträttvisemodeller kan leda till olika politiska beslut. Innan jag säger något om vad klimatetisk forskning kan bidra med till kommande klimatförhandlingar ska jag diskutera en idé om klimaträttvisa som kombinerar tanken om jämlik fördelning av klimatförändringarnas bördor och tanken om lika tillgång till klimatpolitiska beslutsfattande.

På väg mot en global klimatetik?

Klimatförändringarna är globala, och konsekvenserna är fördelade över hela jordklotet. Med tanke på detta – och i linje med ambitionen att försöka komma överens om internationella juridiskt bindande avtal om utsläpp – är det naturligt att tala om behovet av en global klimatetik. En sådan skulle innebära en uppsättning moraliska principer eller normer som

alla eller de flesta av oss kan acceptera och som kan hjälpa oss i våra beslut om framtiden.

Ett problem som vi då genast stöter på är att uppfattningen om vad som är moraliskt och omoraliskt skiljer sig åt mellan individer, platser, kulturer och samhällen. Hur ska en etik som alla ska acceptera utformas om våra tankar om moraliskt och omoraliskt skiljer sig åt? Mitt svar på den frågan är att vi behöver en idé om klimaträttvisa som på ett övergripande plan är tillräckligt öppen för att människor i så många kulturer som möjligt kan tänkas acceptera den, samtidigt som den tillåter att den tolkas olika på olika platser utan att dess grundidé går förlorad.

Ett sätt att komma fram till hur ett klimaträttvist samhälle skulle kunna se ut är att försöka förstå vad det är som egentligen står på spel för till exempel Tulsi Khara och invånarna i New Orleans. Vad är det som i grunden hotas i deras liv eller till och med förstörs av klimatförändringarnas konsekvenser? På den frågan kan vi svara att de förlorar sina tillgångar, och det är ett rimligt svar. Men framförallt förlorar de konkreta möjligheter att leva de liv som de önskar leva.

Eftersom Tulsi Khara förlorar sin mark hotas framförallt hennes möjligheter att välja hur hon ska försörja sig, och därmed begränsas hennes *möjligheter* att välja hur hon kan tillbringa sin ålderdom. Det är inte bara sina hus, bilar och andra tillgångar som de fattiga i New Orleans förlorar. Framförallt förlorar de möjligheten att förflytta sig som de önskar, sina möjligheter att arbeta, utbilda sig, möta de människor de vill möta och att delta i de politiska sammanhang de önskar.

Jämlik fördelning av möjligheter

Om vi för över detta till vår diskussion om klimaträttvisa så innebär det: *För att avgöra om klimatförändringarnas negativa och positiva konsekvenser är orättvisa eller inte bör vi titta på hur de hotar eller påverkar människors grundläggande förmågor och möjligheter.* Alltså, istället för att tala om klimaträttvisa i termer av hur lidande och fördelar ska fördelas eller i termer av om vi får delta i politiska beslut på lika villkor, kan vi tala om klimaträttvisa i termer av grundläggande möjligheter.

Det här är ett abstrakt resonemang, och vi måste hålla oss på en abstrakt nivå först för att skapa ett ”klimaträttvisespråk” som går att tillämpa på olika platser, i olika ekonomier och kulturer. I nästa steg gäller det att människor själva får definiera vad som är viktigt för dem i relation till klimatförändringarna, vilka av deras konkreta möjligheter som hotas. Det

är ju inte tillgången till samma eller några specifika möjligheter som bör fördelas lika. Vilka möjligheter som är viktiga ändras från fall till fall, från individ till individ, och ser olika ut beroende på om man lever längs Ångermanälven i Västernorrland, i Sundarbans delta i Indien eller i New Orleans.

När vi drabbas av klimatförändringarna verkar det främst vara våra möjligheter att leva de liv vi önskar leva som hotas och försvagas. Detta är något som alla har gemensamt oavsett *hur* vi drabbas och *var* vi befinner oss. Att ha möjlighet att leva det liv man önskar leva är en grundläggande drivkraft hos alla människor, oavsett var vi bor. Du, jag, Tulsi Khara och Al Gore har rätt till hyfsat lika möjligheter att leva de liv vi tänker oss att vi vill leva. Om detta är en rimlig tanke så har vi en idé om klimaträttvisa som förhoppningsvis många kan acceptera oavsett plats, religion och kultur. Därför anser jag att idén om klimaträttvisa i termer av möjligheter (*Climate Capabilities*) är en bra kandidat i jakten på en global klimatetik.

Klimatetik och klimatförhandlingar

Vad kan då etisk forskning bidra med i kommande klimatförhandlingar? Det uppenbara svaret är att vi behöver klimatforskning som kan hjälpa oss förstå klimatförändringarnas många olika dimensioner.

Speciellt när klimatförändringarna berör våra ekonomiska, ekologiska och sociala möjligheter till värdiga liv. Dessutom innehåller klimatfrågorna en mängd intresse- och värderingskonflikter mellan olika aktörer. Klimatet handlar om mer än siffror och statistik.

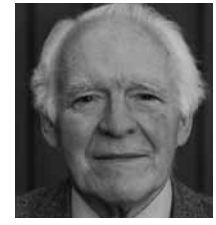
Det är rimligt att de som sätter sig vid förhandlingsbordet har ett så precist beslutsunderlag som möjligt. Etisk forskning kan bidra genom att beskriva klimaträttvisans olika aspekter som jag har gjort här. Men det är också viktigt att den etiska forskningen klargör hur människor vars möjligheter till ett gott liv hotas av klimatförändringarna resonerar och ser på saken. En sådan empirisk etisk forskning kan hjälpa till att utforma en global klimatetik och att ge förhandlarna ökad insikt i den kanske viktigaste frågan av alla: Vad är det som faktiskt står på spel?

David Kronlid är teologie doktor i etik och lektor i didaktik vid Uppsala universitet. Han forskar för närvarande om klimatförändringar och social rättvisa i projektet Climate Capabilities som finansieras av Formas. Han forskar även om klimatundervisning inom utbildning för hållbar utveckling med globalt fokus.

Rio, Kyoto, Bali, Köpenhamn – klimatsamarbete i stöpsleven

Klimatfrågan är het i storpolitik och internationella förhandlingar. Vilka krav på utsläppsminskningar ska ställas? Hur ska bördorna fördelas? Vilka principer ska gälla? Björn-Ola Linnér och Bo Kjellén målar upp bilden av det internationella klimatsamarbetet – från Rio till Köpenhamn. Om resultatet från Köpenhamn i december 2009 blir svagt så får vi troligen en debatt om klimatkonventionen. Är FN-vägen den rätta? Är det för mycket marknad och för lite politisk styrning i dagens klimatarbete?

Björn-Ola Linnér, Centrum för klimatpolitisk forskning och tema Vatten i natur och samhälle, Linköpings universitet.



Bo Kjellén, Stockholm Environment Institute.

Klimatförändringarna utgör globala problem – oavsett var växthusgaser släpps ut hamnar de i vår gemensamma atmosfär och orsakar konsekvenser runt om i världen. Därför har internationellt samarbete blivit ett naturligt svar på utmaningarna. Men ansträngningarna att hitta globala lösningar är inte oomstridda. Här ska vi redogöra för framväxten av globala klimatförhandlingar och diskutera några av de utmaningar som de står inför.

Klimatfrågan, som först bara hanterades av forskare, experter och en del miljökämpar, har på ett par decennier blivit en storpolitisk fråga. Den står idag på dagordningen för toppmöten och diskuteras av presidenter och premiärministrar. Eftersom den också har stora ekonomiska och sociala konsekvenser står den i centrum för vad som kallats en ny diplomati, präglad av hur människan ska kunna möta nya typer av hot som inte entydigt kan knytas till någon enskild nation eller koalition av länder.

Klimatkonventionen

Det var först i slutet av 1980-talet som forskarnas varningar ledde till handling på det diplomatiska planet, och det skedde i anslutning till den stora konferens om miljö och hållbar utveckling som hölls i Rio de Janeiro 1992. Alla globala miljöproblem stod på dagordningen. Det var FN:s andra stora miljökonferens – den första hölls i Stockholm 1972.

FN:s generalförsamling beslöt att förhandlingar skulle hållas om en konvention för att tackla klimathotet, och de inleddes i början av 1991. Det blev en komplicerad och svår förhandling, dessutom under hård tidspress eftersom man ville ha konventionen färdig för undertecknande vid Riokonferensen. Det var hårda tag i förhandlingsrummen. Många delegater var fortfarande rätt främmande för problemen, och eftersom stora ekonomiska och sociala intressen stod på spel var många länder obenägna att gå särskilt långt för att möta hot som ännu tycktes diffusa och svårbedömbara. Men med stora ansträngningar kom man ändå fram till en konvention som kunde undertecknas i Rio av 153 länder, och som trädde i kraft 1994. Nu har konventionen i princip global täckning med 192 länder anslutna.

Konventionens mål är att koncentrationerna av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som förhindrar skadlig mänsklig påverkan på klimatsystemet. Klimatkonventionen täcker alla växthusgaser som inte regleras i Montrealprotokollet för skydd av ozonlagret. Den innehåller bestämmelser om att upptag av växthusgaser genom sänkor också ska beaktas, till exempel upptag av skog. Konventionen innehöll bara begränsade konkreta åtaganden, men den byggde ett ramverk och skapade procedurer för det fortsatta samarbetet.

Kyotoprotokollet

Redan vid det första mötet med konventionens parter konstaterade man att mera preciserade åtaganden behövdes, och man beslöt att ett särskilt kompletterande protokoll skulle förhandlas fram. Den förhandlingen ledde till att Kyotoprotokollet kunde antas på senhösten 1997. Nu kunde man enas om att industriländerna skulle minska sina utsläpp av växthusgaser, främst koldioxid, med i genomsnitt drygt fem procent senast 2012 jämfört med 1990 års nivåer, enligt en skala där olika länder fick olika beting: EU-länderna som grupp skulle minska med 8 procent, USA med 7, Japan med 6, och så vidare. Utvecklingsländerna behövde inte göra några siffermässiga åtaganden av detta slag. Protokollet innehöll också en serie andra föreskrifter, exempelvis om tekniköverföring till utvecklingsländer, anpassningsåtgärder och upprättande av handel med utsläppsrätter. Det var fortfarande rätt blygsamma åtgärder, men det visade sig ändå svårt att få viktiga länder att godkänna avtalet.

USA beslöt våren 2001 att inte ratificera protokollet. Därmed bäddade man för en kris i arbetet eftersom det krävdes att industriländer med minst 55 procent av gruppens utsläpp 1990 skulle vara med. USA hade då 36 procent av utsläppen, så marginalen var knapp. EU antog dock utmaningen och deklarerade att unionen skulle ratificera och på olika sätt verka

för att andra länder skulle komma med. Det blev en ordentlig fördröjning eftersom ett annat nyckelland tvekade länge, nämligen Ryssland med 17 procent av utsläppen. Men på hösten 2004 ratificerade Ryssland protokollet, som därmed kunde träda i kraft i februari 2005. Kyotoprotokollet hade i juli 2009 ratificerats eller på andra sätt godkänts av 186 stater.

Internationellt klimatsamarbete efter Bali

Protokollets åtaganden löper fram till 2012. Sedan några år tillbaka diskuterar förhandlingsgrupper, beslutsfattare och forskare arkitekturen hos nästa klimatavtal. Efter en stundtals hård diskussion vid klimatkonventionens partsmöte på Bali i december 2007 enades parterna också om en färdplan för fortsatta förhandlingar fram till det avgörande mötet i Köpenhamn 2009. En central utmaning för klimatkonventionen är nu att åter få med USA, och att skapa underlag för att också stora utvecklingsländer som Indien, Kina och Brasilien ska kunna göra mätbara åtaganden för att minska utsläppen av växthusgaser.

Vi vill lyfta fram sex punkter som påverkar möjligheterna att komma överens och hur verkningsfullt avtalet blir: 1) minskningstakten, 2) klimatkonventionens byggstenar, 3) anpassningsåtgärder, 4) insatser för hållbar utveckling, 5) omfattningen av marknadsbaserade lösningar, och 6) principer som överenskommelserna vilar på.

Minskningstakten

Det råder en uttalad enighet bland klimatkonventionens parter om att man på sikt måste minska utsläppen av växthusgaser radikalt. Färdplanen från Bali fastslår att den fjärde bedömningsrapporten från FN:s klimatpanel IPCC ska ligga till grund för nästa avtal. För att nå IPCC:s lägsta utsläppsscenario där temperaturökningen begränsas till mellan 2 och 2,4 grader under detta århundrade krävs att utsläppen toppar senast 2015, och därefter minskar med mellan 50 och 80 procent till 2050. Nu är det inte givet att det är detta scenario man kommer att utgå från. Men vid G8-mötet i juli 2009, med åtta av världens ledande industrinationer, kom det en viktig indikation. Tillsammans med fem av de största ekonomierna bland utvecklingsländerna (Brasilien, Folkrepubliken Kina, Indien, Mexiko och Sydafrika) beslöt G8 att utgå från det tvågradersmål som EU förespråkat under flera år. Det vill säga att den globala temperaturökningen i medeltal ska begränsas till två grader Celsius jämfört med situationen före industrialiseringen.

För att nå detta mål beslöt G8 att minska de rika ländernas utsläpp med 80 procent fram till 2050 jämfört med 1990 eller senare. Politiker beskylls allt som oftast för att ha en horisont som bara sträcker sig en mandatperiod. Den internationella klimatpolitiken visar snarast att det är svårast att ta beslut

om hur mycket utsläppen ska minska inom två till tre mandatperioder. Var utsläppen ska ligga 2020 är en av de svåra frågorna inför nästa klimatavtal. EU har sagt att man är beredd att sänka upp till 30 procent till 2020 jämfört med 1990 års nivåer, om det blir en allmän överenskommelse. Annars begränsar sig ambitionen till 20 procents minskning av utsläppen. Ett aktuellt lagförslag i USA som senaten ska rösta om hösten 2009 föreslår en minskning med 17 procent till 2020 och 42 procent till 2030 jämfört med utsläppen år 2005.

Klimatkonventionens byggstenar

Balimötet enades om att nästa avtalsperiod måste bygga på åtminstone fyra centrala element: minskning av växthusgaserna, anpassning till klimatförändringarna, finansiellt stöd till åtgärder i utvecklingsländer och tekniköverföring från industrialiserade länder till utvecklingsländer.

En framtida klimatöverenskommelse måste inkludera en större satsning på anpassning eftersom klimatförändringarnas konsekvenser redan upplevs och fattiga människor får bära en oproportionerligt stor börda. Det behövs mer medel till nationella anpassningsprogram och mycket sårbara länder, till exempel genom en förstärkning av den existerande anpassningsfonden. Ett annat förslag som hittills fått mindre stöd är att fördela ansvar för finansiering av

anpassning i utvecklingsländer genom att beräkna historiskt ansvar för utsläpp av växthusgaser.

Finansiellt stöd och tekniköverföring är två långbänksfrågor i det internationella samarbetet för hållbar utveckling. Det beror bland annat på att det finns en uppenbar konflikt med länders handelsintressen, företags konkurrensfördelar och immaterialrätt. En viktig punkt som utvecklingsländerna fick igenom i färdplanen från Bali var att insatser för de fyra byggstenarna ska kunna mätas, rapporteras och kontrolleras. På så sätt hoppas man att de rika länderna ska gå från välvilliga ord till handling när det gäller resursöverföring.

Till de fyra byggstenarna kommer ytterligare en: minskad avskogning och skogsförstöring. För närvarande pågår förhandlingar om hur ny- och återplantering av skog, skogsskötsel och jordbruksmetoder ska kunna räknas som åtgärder som ökar upptaget av växthusgaser. För vissa utvecklingsländer, som till exempel Indonesien, är detta av stor vikt för att underlätta deras framtida åtaganden att minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären.

Länkar mellan klimat och hållbar utveckling

För att få global uppslutning kring miljöavtal har det alltsedan Riokonferensen 1972 varit centralt att se

hur utvecklingsmål och miljömål kan jämkas ihop. Inom forskningen analyseras i vilken utsträckning dessa mål stödjer varandra, och i vilken utsträckning man måste göra kompromisser mellan miljöhänsyn, ekonomisk och social utveckling. Även om vikten av att samordna klimatinsatser med hållbar utveckling betonades i klimatkonventionen 1992 förblev klimatpolitiken länge i huvudsak en angelägenhet för länders miljödepartement.

Sedan partsmötet i New Delhi 2002 har klimatfrågan allt mer gått från att vara i huvudsak en miljöfråga till en förhandling om insatser för hållbar utveckling. Att klimatkonventionens arkitektur alltmer konstrueras genom ett antal sammanhängande frågor som länkar ihop miljöhänsyn och socioekonomisk utveckling visar på denna inriktning. Till partsförhandlingarna på Bali 2007 slöt även finans-, handels- och biståndsministrar upp tillsammans med kollegorna från miljödepartementen, som en konsekvens av klimatförhandlingarnas betydelse för fler politikområden. Det råder ganska stor samstämmighet om att det är viktigt att ha hållbar utveckling som mål. Däremot råder det stor skillnad mellan till exempel USA och de minst utvecklade länderna om vad hållbar utveckling innebär i praktisk politik.

Marknadsbaserade lösningar

Global kostnadseffektivitet är en av Kyotoprotokollets hörnstenar. I de pågående förhandlingarna är ett av huvudspåren att ryggraden i det internationella klimatsamarbetet ska vara fastslagna utsläppsmål kopplade till handel med utsläppsrätter. Möjligheterna att länka existerande och planerade marknader för handel med koldioxid är en aktuell framtidsfråga för den internationella klimatpolitiken.

En risk som bland annat EU försöker undvika är så kallat koldioxidläckage. Det inträffar när utsläppen ökar i ett land på grund av att ett annat land infört tuffare klimatpolitik, till exempel om nya restriktioner i Sverige får industrier att flytta verksamhet till länder med mindre ambitiös lagstiftning eller generösare tilldelning av utsläppsrätter.

En annan möjlig konflikt mellan handels- och klimatmål finns i hur frågorna om tekniköverföring hanteras. Att behålla teknikförsprång är en grundläggande strategi för många företag. Men utvecklingsländerna har satt ett allt hårdare tryck på att de ska få väsentligt utökad tillgång till ny och renare teknik. Enligt färdplanen från Bali, är en förutsättning i nästa klimatavtal att åtgärder för tekniköverföring från rika till fattiga länder ska rapporteras och kontrolleras. De marknadsbaserade lösningarna behöver

också enligt en del bedömare kompletteras med etiska principer för att fördela bördorna av klimatåtgärder.

Principer för överenskommelser

De globala klimatförhandlingarna har kantats av konflikter mellan industrialiserade länder och utvecklingsländer. Även om det bara är industrialiserade länder som gjort kvantitativa åtaganden att minska sina utsläpp, innebär det inte att utvecklingsländer har underlåtit att ta klimatförändringarna på stort allvar och gjort andra åtaganden inom konventionen. Åren innan klimatkonventionen beslutades hade flera samarbetsorganisationer bland utvecklingsländer pekat på behovet av ett internationellt samarbete för att minska utsläppen. Den springande punkten är hur bördorna för att minska utsläppen ska fördelas. Man kan sammanfatta denna diskussion i tre principer för att fördela åtaganden: a) gemensamt men differentierat ansvar, b) förorenaren betalar och 3) historiskt ansvar. Dessa tre principer har haft olika framgång i förhandlingarna.

Klimatkonventionen utgår från principen om *gemensamt men differentierat ansvar*. Den innebär att världens stater har ett gemensamt ansvar ”för att bevara, skydda och återställa hälsa och okränkbarhet hos jordens ekosystem” (Skr 2002/03:29). Men ansvaret får olika konsekvenser för länderna eftersom

de har lämnat olika bidrag till den globala miljöbelastningen och har olika tekniska och finansiella resurser. Principen kommer till uttryck bland annat i klimatkonventionens indelning i Annex 1-länder och icke-Annex 1-länder. Men det har visat sig svårt att operationalisera global bördefördelning utifrån ett enhetligt kriterium. Principen lämnar utrymme för varje land att själv definiera sin ansvarskapacitet och sitt bidrag till den globala miljöförstöringen. Om man hade valt att ha förorenaren betalar som huvudprincip hade man behövt utveckla kriterier för att fastställa ansvar för skadan, och tidsramarna skulle gälla från det att föroreningens skada uppstår.

Inför Kyotoavtalet föreslog Brasilien att *historiskt ansvar* skulle vara den princip som fördelade åtaganden att minska växthusgasutsläppen. Utgångspunkten är att de industrialiserade länderna i Nord har ett historiskt ansvar att lösa problemet eftersom det är deras utsläpp som orsakat det. Genom att beräkna de historiska utsläppen från varje nation sedan industrialismens början får man fram nyckeltal för hur mycket varje land ska minska sina utsläpp. Exempelvis visar de senaste modellutvecklingarna inom forskningen kring historiskt ansvar att USA står för cirka 23 procent av temperaturökningen efter uppskattad påverkan av de tre stora växthusgaserna koldioxid,

metan och dikväveoxid år 2005 med utgångspunkt från 1750, medan Kina står för 10 procent. Utgår man däremot från 1990 som startår blir siffrorna 18 respektive 14 procent för de båda länderna. Vilket startår man utgår från spelar alltså en väsentlig roll om den historiska påverkan räknas in i det ansvar länder har för att åstadkomma utsläppsminskningar eller finansiera anpassningsåtgärder. Preliminära beräkningar visar att Sveriges historiska påverkan som land ligger mellan två promille (startår 1990) och tre promille (startår 1750). Om det gick att vikta utsläppen mot befolkningsmängd skulle emellertid påverkan per person i Sverige stiga väsentligt. Hur mycket kan vi inte helt fastställa eftersom det råder stora osäkerheter kring många länders historiska befolkningstal.

Brasiliens förslag vann inget gehör eftersom klimatkonventionens sekretariat och många industrialiserade länder menade att det var för komplicerat att räkna ut historisk påverkan. Men principen lever vidare. Vid Balimötet talade bland andra FN:s generalsekreterare Ban Ki-moon om vikten av att utgå från det historiska ansvaret. Idag handlar förslagen snarast om att använda principen för att fördela storlek på åtaganden för att betala fattiga länders anpassning till klimatförändringarna.

En annan princip som alltmer poängteras av stora utvecklingsländer, som Indien, är att utgå från utsläpp per person. Om man utgår från koldioxid, metan och dikväveoxid (lustgas) från enbart energisektorn så låg USA:s bidrag (2005) på knappt 23 ton koldioxidekvivalenter per person och år, Sveriges på drygt 7, Kinas på 5,5 och Indiens på knappt 2. Tabellen visar också (siffror från 2000) att avskogning och markanvändning spelar stor roll i vissa länder, som Brasilien, Mali och Tanzania.

Utsläpp från några av världens länder i ton koldioxidekvivalenter per person och år (koldioxid, metan och lustgas). (Källa: World Resource Institute, The Climate Analysis Indicators Tool 6.0)

	År 2000 (inklusive skogs- och markanvänding)	**År 2005 (exklusive skogs- och markanvänding)**
Australien	26,3	26,6
USA	22,4	22,9
Ryssland	13,3	13,6
Brasilien	13,2	5,4
EU (27)	10,1	10,2
Japan	10,1	10,2
Sydafrika	8,6	8,9
Sverige	7,8	7,3
Kina	3,7	5,5
Mali	3,4	0
Tanzania	2,4	0,1
Indien	1,5	1,7

Efter Köpenhamn

Även om principen *gemensamt men differentierat ansvar* fortfarande utgör en hörnsten menar bland andra EU och USA att åtminstone de stora ekonomierna i Syd måste göra åtaganden för att minska sina utsläpp. Balimötet placerade USA samt G-77 och Kina, som representerar de flesta utvecklingsländerna, på ruta ett i förhandlingarna om framtida åtaganden att minska utsläppen av växthusgaser. Eftersom de förut befunnit sig utanför spelplanen är det ett stort framsteg.

Att USA behöver göra långtgående åtaganden är en självklarhet med tanke på landets stora utsläpp av växthusgaser. Många forskare och beslutsfattare hävdar att USA:s medverkan är helt avgörande för nästa avtal. Visserligen kunde Kyotoavtalet ros i land utan USA, men det innebar ett litet första steg. Globalt substantiella minskningar blir mycket svåra att åstadkomma om USA inte deltar. Stora utvecklingsekonomier som Kina riskerar dessutom att bli mindre benägna att fastslå sina utsläppsminskningar. Ett avtal utan USA:s medverkan skulle också skicka en osäker signal till marknaden.

Obamaadministrationen har klart deklarerat en höjd ambitionsnivå i klimatpolitiken, men kongressen måste också ge sitt godkännande för att USA ska

kunna ratificera ett internationellt avtal. Landet kommer att gå in i ett internationellt avtal först när dess ledare bedömer att man kan uppfylla åtagandena, eftersom de blir legalt bindande i amerikansk lagstiftning. Vissa bedömare menar dock att det inte är avgörande med USA:s deltagande i ett internationellt avtal, utan att det lokalt och i vissa delstater sker stora steg mot minskad klimatpåverkan ändå.

Även om FN är central arena för klimatarbetet avgörs framgångarna där till stor del av vad som händer utanför klimatkonventionen. Den nuvarande arkitekturen försöker utnyttja marknadskrafterna för att styra mot minskad energianvändning. Hur långtgående minskningarna blir inom de närmaste decennierna kommer därmed att bero på marknadernas reaktioner och prioriteringar. Ett annat avgörande område är vad som händer inom energisektorn när det gäller utveckling och tillgång på koldioxidfria energislag och effektivisering.

Om det blir ett svagt resultat av Köpenhamnöverenskommelsen får vi troligen en debatt om klimatkonventionen. Då ställs sannolikt frågor som: Är FN-vägen rätt väg? Ska marknaden få lösa klimatfrågan utan politisk styrning? Ska etiska principer få större tyngd? Är minskad konsumtion den grundläggande lösningen? Är hårdare politisk styrning med förbud snarare än lockande morötter vägen framåt?

Men än så länge innebär trots allt färdplanen från Bali med ökat engagemang från USA och Kina en indikation på att klimatkonventionen har möjlighet att ta ett viktigt steg mot sitt mål de närmaste åren, trots den ekonomiska krisen. I den internationella politiken uppmärksammas det alltmer att krav på nya energi- och transportlösningar som leder till radikalt minskade globala utsläpp av växthusgaser också kan skapa nya möjligheter för ekonomisk effektivitet och tekniska genombrott.

Björn-Ola Linnér är föreståndare för Centrum för klimatpolitisk forskning och professor i Vatten i natur och samhälle, Linköpings universitet. Han forskar om internationell politik och debatt om klimatförändringar, hållbar utveckling och matsäkerhet, och leder forskning inom de Formasfinansierade projekten ”Vem får vad, när och hur?: fallstudier av historisk skuld och handel med utsläppsrätter inom klimatpolitiken” samt ”Politiken kring bioenergi: en jämförelse mellan EU, FAO och IEA”.

Bo Kjellén var Sveriges chefsförhandlare i klimatfrågor 1990–2001. Han var styrelseordförande för Formas åren 2001–2004. Numera är han forskare vid Stockholm Environment Institute.

Vi måste få ett globalt pris på koldioxid

Kan Kyotoprotokollets flexibla mekanismer rädda klimatet? Nej, inte i sig själva, skriver Lars Zetterberg. Det krävs att världens ledande nationer först gör konkreta åtaganden om utsläppsminskningar. Sedan kan de flexibla mekanismerna hjälpa oss att uppnå målen till lägsta möjliga kostnad. De kan vara verktygen som introducerar ett globalt koldioxidpris som gör klimatfrågan till en fråga för företagsstyrelserna. Det får inte finnas några klimatskattebefriade paradis där smutsig industri kan gömma sig.

Lars Zetterberg,
IVL Svenska Miljöinstitutet.

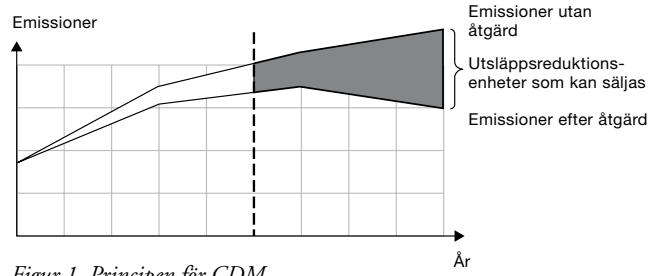
Kyotoprotokollet definierar tre flexibla mekanismer: 1) Clean Development Mechanism, CDM (mekanismen för ren utveckling), 2) Joint Implementation, JI (gemensamt genomförande), samt 3) International Emissions Trading, IET (Internationell handel med utsläppsrätter). De flexibla mekanismerna innebär att ett land som enligt Kyotoprotokollet har utsläppsreducerande åtaganden kan välja att antingen minska sina egna utsläpp eller att köpa reduktioner av ett annat land. Syftet är att hjälpa deltagande länder att minska sina kostnader och att skörda billiga åtgärder i andra länder.

FN:s klimatpanel IPCC understryker att de globala utsläppen måsta minska senast 2015–2020 om inte allvarliga klimatförändringar ska inträffa. Därefter måste utsläppen minska i snabb takt fram till 2050. Samtidigt är det politiska arbetet med att ta fram ett nytt internationellt klimatavtal inne i ett intensivt skede. Vid klimatmötet i Köpenhamn i december 2009 behöver världens länder komma överens om hur utsläppen ska minska. Med den erfarenhet som vi idag har om de flexibla mekanismerna frågar sig många om de verkligen kan hjälpa oss att uppnå klimatmålen.

Flexibla mekanismer – vad innebär de?

Mekanismen för ren utveckling innebär att ett land

med åtaganden om utsläppsbegränsningar (till exempel Japan) kan genomföra projekt i länder som inte har åtaganden (till exempel Indien) och att projektet leder till utsläppsbegränsningar där. Låt oss anta att Japan investerar i effektiviseringsåtgärder i ett kolkraftverk i Indien. Figur 1 visar hur emissionerna vid kraftverket utvecklas över tiden. Den övre kurvan visar hur emissionerna skulle utvecklas utan investeringen och den nedre kurvan visar hur de förväntas utvecklas efter åtgärden. Efter godkänd granskning utfärdas utsläppsreduktionsenheter som kallas *Certified Emission Reduction Units (CER)*. CER kan sedan användas av investerarlandet (Japan) för att uppnå en del av sitt emissionsåtagande istället för att minska utsläppen i det egna landet.



Figur 1. Principen för CDM.

Syftet med CDM är framförallt att ge länder med åtaganden möjligheten att minska sina kostnader genom att mot betalning ”skörda” billiga åtgärder

i utvecklingsländer. Med CDM vill man också öka utvecklingsländernas deltagande i klimatpolitiken och bidra till hållbar utveckling i dessa länder. Den kritik som framförts mot CDM handlar ofta om att det är byråkratiskt, att volymerna är för små och att det är osäkert om det leder till verkliga reduktioner. Därför pågår flera initiativ för att reformera CDM-mekanismen.

Gemensamt genomförande är mycket likt CDM, men gäller mellan länder som båda har åtaganden om utsläppsbegränsningar enligt Kyotoprotokollet (till exempel EU, Norge, Japan, Ryssland). Ett land med åtaganden om utsläppsbegränsningar kan genom investering i utsläppsminskande projektverksamhet i ett annat land med åtaganden tillgodoräkna sig utsläppsreduktionsenheter *(Emission Reduction Units, ERU).*

Internationell handel med utsläppsrätter möjliggör för parter med kvantitativa åtaganden enligt protokollet att köpa och sälja utsläppsrätter till varandra. Kyotoprotokollet talar bara om handel mellan länder. I EU:s utsläppshandelssystem sker däremot handeln mellan deltagande industrier.

EU:s system för handel med utsläppsrätter

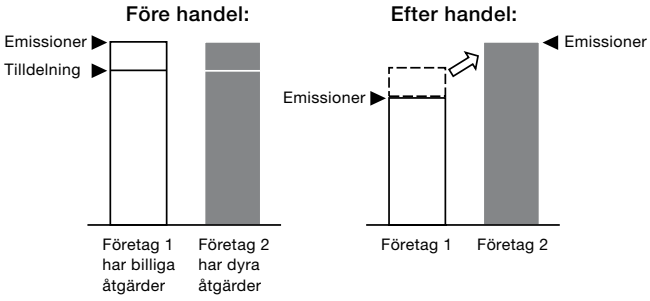
EU:s utsläppshandelssystem startade år 2005. Syftet

med systemet är att på ett kostnadseffektivt sätt bidra till att uppnå EU:s klimatpolitiska mål att minska utsläppen med minst 20 procent till 2020. Den första handelsperioden (2005–2007) var en försöksperiod. Handelssystemets andra period (fas 2) sammanfaller med Kyotoprotokollets första åtagandeperiod (2008–2012).

Handelssystemet omfattar för närvarande bara koldioxid men kommer under fas 3 (2013–2020) att utvidgas till att omfatta även andra växthusgaser. De verksamheter som omfattas är energisektorn, produktion och bearbetning av järnmetaller, mineralindustrin samt vissa industriella anläggningar för framställning av pappersmassa, papper och papp. Under fas 3 utökas systemet till att omfatta bland andra aluminiumindustrin, viss kemisk industri, konstgödseltillverkning samt flyget.

Handel med utsläppsrätter innebär att en myndighet i förväg bestämmer hur många utsläppsrätter som ska delas ut och därmed vad utsläppen maximalt får bli. För att minska de totala emissionerna behöver myndigheten dela ut mindre utsläppsrätter än vad emissionerna skulle ha blivit annars. Därmed skapas en brist på rätter. Utsläppsrätterna fördelas sedan till deltagarna, antingen gratis via någon tilldelningsmetod eller genom försäljning eller

auktion. Efter varje år måste sedan deltagarna uppvisa exakt så många utsläppsrätter som motsvarar deras emissioner.



Figur 2. Principen för handel med utsläppsrätter. Företag som har höga kostnader för utsläppsminskningar köper utsläppsrätter av företag med billiga åtgärder.

Figur 2 visar schematiskt hur det kan gå till. Vi antar att vi har två företag, det vita med billiga utsläppsminskningar och det grå med dyra. Vi antar vidare att staten fördelar utsläppsrätter motsvarande 90 procent av företagens behov. Utan handel skulle båda företagen behöva sänka sina utsläpp med 10 procent. Men med handel kan det vita företaget reducera sina utsläpp ytterligare och sälja sitt överskott till det grå företaget. Det vita företaget kan få mer betalt för rätterna än vad reduktionerna kostade, medan det grå företaget kan köpa till ett lägre pris än vad deras egna åtgärder hade kostat. Denna handel

tjänar båda företagen på. Metoden är uppskattad av både myndigheter och industri. Myndigheterna vet på förhand vad utsläppen kommer att bli och företagen ges flexibiliteten att antingen sänka sina emissioner eller köpa utsläppsrätter. Ekonomisk teori säger att om marknaden fungerar perfekt minimeras samhällets totala kostnader för att uppnå ett givet reduktionsmål.

Kritik leder till att systemet förändras

EU:s system är nu inne i sin andra fas (2008–2012) och det finns många lärdomar att dra sedan starten. Under första fasen kritiserades systemet för att det fanns ett överskott på utsläppsrätter i slutet av perioden vilket ledde till ett prisfall på utsläppsrätterna. Sannolikt berodde överskottet på en alltför generös tilldelning. Men överskottet kan även till viss del ha berott på faktiska utsläppsminskningar. Systemet kritiserades även för att utsläppsrätterna delades ut gratis. Kritiken var särskilt hård mot kraftbolagen som höjde priset på el trots att de fått utsläppsrätterna gratis. Den kritiken var befogad och har lett till att elbolagen kommer att få betala för sina utsläppsrätter.

Inför tredje fasen som startar 2013 gör man om systemet på ett antal viktiga punkter. För att säkerställa att det inte blir överskott på utsläppsrätter har EU

redan nu fastställt den totala mängden utsläppsrätter för varje år. Mängden kommer att minska så att utsläppen år 2020 är 21 procent lägre än 2005. Varje medlemsstat kommer att tilldelas en viss mängd utsläppsrätter som sedan delas ut till den egna industrin. Tilldelningen ska huvudsakligen ske genom auktionering av rätterna. Det innebär att de deltagande industrierna måste köpa rätter för att täcka sina behov. I undantagsfall kommer utsläppsrätter att delas ut gratis till industrier som är utsatta för påtaglig internationell konkurrens och har höga koldioxidrelaterade kostnader. Tilldelningsprinciperna för denna fria tilldelning kommer att ske på ett enhetligt sätt inom EU. Men den fria tilldelningen kommer bara att täcka en del av behovet och kommer successivt att fasas ut till år 2020.

EU har satt ett pris på koldioxid

Ur ett globalt perspektiv är reduktionerna som sker inom EU:s handelssystem visserligen inte stora, men de utgör ett viktigt internationellt exempel för hur ett marknadsbaserat klimatpolitiskt styrmedel kan fungera i stor skala. Detta experiment har gett oss många lärdomar som nu används i de internationella klimatförhandlingarna.

Det viktigaste resultatet av EU-systemet är kanske ändå att man har lyckats skapa ett pris på koldioxid

inom hela EU. Detta pris är något som alla koldioxidemitterande företag måste ta hänsyn till vid inköp och investeringar eftersom det kan utgöra en påtaglig kostnad. Klimatfrågan har från att tidigare ha varit en fråga för miljöavdelningarna blivit en ekonomisk fråga för företagsstyrelserna. Priset på koldioxid hjälper nu koldioxideffektiv produktion att bli konkurrenskraftig, som exempelvis vindkraft och bioenergi.

Sektorsöverenskommelser
– ett steg mot ett globalt system

Ett av de intressantaste förslagen för den globala skalan är skapandet av ”sektorsöverenskommelser”. Det innebär att man försöker omsluta alla anläggningar inom en viss sektor i ett avtal, exempelvis all elproduktion i Indien. Efter att ha kommit överens om en referensnivå för emissionerna kan sektorn minska sina emissioner under den nivån och därigenom få utsläppsreduktionsenheter som kan säljas internationellt. Fördelarna är flera: reduktionsvolymerna kan bli betydligt större än vid enskilda anläggningar och metoden kräver mindre administration. Om man väljer sektorer som verkar på den internationella marknaden kan man även minska konkurrenssnedvridningen mellan länder.

Man kan tänka sig en utveckling där sektorsöverenskommelser införs i en rad länder och sektorer och

sedan kopplas ihop med utsläppshandelssystemen i EU, USA eller andra länder. Sektorsöverenskommelser ses därför av vissa som ett steg från dagens fragmenterade kreditmarknader mot en framtida global koldioxidmarknad som innefattar flertalet länder och sektorer.

Hur borde ett effektivt globalt styrsystem se ut?

Klimathotet kräver genomgripande förändringar i alla länder och sektorer när det gäller hur vi använder energi, hur vi producerar varor, tar hand om vårt avfall och sköter våra skogar och jordbruk. Förändringarna kommer att innebära stora kostnader för samhället, men dessa kostnader är ändå små jämfört med vad kostnaderna blir om vi inget gör. Hur ska då ett effektivt globalt styrsystem se ut? Kan de flexibla mekanismerna rädda klimatet? Nej, inte i sig. Vad som krävs är konkreta åtaganden av de ledande staterna i världen som kan kopplas till specifika utsläppsminskningar. Utifrån dessa reduktionsmål tror jag att de flexibla mekanismerna kan hjälpa oss att uppnå dessa mål till lägsta möjliga kostnad. De flexibla mekanismerna kan vara verktygen som introducerar ett globalt pris på koldioxid och därmed skapar incitament för utsläppsminskningar över hela världen.

Sammanfattningsvis tror jag att ett globalt styrsystem bör baseras på följande punkter:

- *Större reduktioner.* Utsläppsreduktionerna måste sättas utifrån vad miljön kräver. Det innebär uppemot 80- till 90-procentiga reduktioner i industriländer fram till 2050. I förlängningen (2100) ska naturligtvis målet vara nära nollutsläpp.
- *Brett deltagande – ett globalt pris på koldioxid.* Alla ledande ekonomier i världen behöver delta med konkreta emissionsreducerande åtaganden. Utifrån överenskomna emissionsnivåer kan marknadsbaserade styrmedel, som de flexibla mekanismerna, skapa ett globalt pris på koldioxid och andra växthusgaser. Med ett globalt pris på koldioxid skapas incitamenten för klimateffektiv produktion. Inga klimatskattebefriade ”paradis” ska finnas där ”smutsig” industri kan gömma sig. Om man lyckas med detta behöver svensk industrin inte flytta ut på grund av höga koldioxidrelaterade kostnader eller bli utkonkurrerad av utländsk industri som inte betalar för sina koldioxidutsläpp.
- *Långsiktighet.* Industrin är ofta beredd att minska sina emissioner men vill att spelreglerna ska vara långsiktiga och att samma förutsättningar ska gälla för alla. Deras investeringshorisont kan sträcka sig upp till 10, 20 och ibland 30 år beroende på vilken sektor det gäller. Ett internationellt avtal

behöver därför vara långsiktigt och tydligt beträffande de principer som ska gälla.

- *Rättvisa.* Vi som lever i industriländerna släpper ut och har släppt ut påtagligt mycket mer växthusgaser per capita än utvecklingsländerna. Vi måste därför ta ett större ansvar när det gäller att minska klimathotet. Det innebär att vi behöver minska våra utsläpp mer än utvecklingsländerna, men även bidra med ekonomiskt stöd och teknisk utveckling. Idag står utvecklingsländerna tillsammans för ungefär lika stora utsläpp av växthusgaser som industriländerna. Däför måste de också bidra med egna åtaganden. Det gäller i synnerhet länder som Kina och Indien med stora utsläpp och en stark ekonomisk utveckling. Utan deras deltagande kan vi heller inte räkna med att få med USA i ett klimatavtal.
- *Minskad avskogning.* Enorma mängder kol finns bundna i jordens skogar. Nästan en tredjedel av de globala utsläppen beror på avskogning. Ett internationellt styrsystem måste skapa incitament för att stoppa denna avskogning. Men skogen ska även ses som en resurs. Skogarna erbjuder stora möjligheter att minska utsläppen av koldioxid genom att leverera bioenergi, byggmaterial, cellulosabaserade produkter – och genom att skapa kolsänkor.

Lars Zetterberg är chef på klimatavdelningen vid IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Han arbetar även som forskare inom klimatpolitik och energisystem med särskild inriktning mot utsläppshandel och Kyotoprotokollets flexibla mekanismer.

EU:s klimat- och energipolitik – en tandlös tiger

Inom EU ser man klimat- och energipolitiken som ett instrument som både ska lösa klimathotet och minska beroendet av energi från instabila regioner i världen. Men hur ska EU kunna gå från retorik till praktik? I retoriken kring EU:s klimat- och energipolitik syns inte de målkonflikter som finns i samhället, skriver Karin Bäckstrand. I dagsläget saknar EU regelverk och demokratiskt mandat för att göra en större samhällsomställning av energisystem, transporter och konsumtionsmönster till en kolsnål framtid. Makten över energiförsörjningen ligger fortfarande i medlemsstaternas händer.

Karin Bäckstrand, Statsvetenskapliga institutionen, Lunds universitet.

Energisäkerhet och klimatsäkerhet är två strategiska mål för EU som blir alltmer sammankopplade och står högt på den globala politiska dagordningen. En rad olika problem som tidigare hanterats som separata politiska sakområden har under de senaste åren kopplats samman: en fördubbling av oljepriset sedan 2000, glaciärernas avsmältning med drygt 30 procent, fluktuationerna på de globala energimarknaderna, instabilitet i Mellanöstern, ökningen av extrema väderfenomen, samt forskarvärldens bedömningar att samhällskostnaderna av klimatförändringarna kan uppgå till mer än 20 procent av BNP. Importberoende av olja och naturgas från politiska instabila regioner som Mellanöstern utgör grunden för EU:s sårbarhet.

EU kan sägas stå inför ett klimatpolitiskt och energipolitiskt säkerhetsdilemma. Det finns fog för argumentet att de accelererande klimatförändringarna kombinerat med EU:s energisårbarhet sammantaget utgör en kris som kan jämföras med oljekrisen under 1970-talet. Precis som oljekrisen framtvingade strukturella förändringar som energibesparingar, energieffektiviseringar och utbyggnad av kärnkraft kommer klimathotet och energiosäkerheten att kräva en radikal omstöpning av EU:s politik. Klimat- och energipolitiken kläs alltmer i en säkerhetspolitisk språkdräkt där Europas dubbla sårbarhet är en framträdande

tematik, dels genom EU:s energiberoende av Ryssland som regional energisupermakt, dels genom klimatförändringarnas hot mot Europas ekosystem, samhälle och ekonomi.

EU står inför utmaningen att förena målen om ökad tillväxt, mindre externt energiberoende och begränsningar av klimathotet. Unionen kommer sannolikt knappt att klara målet i Kyotoprotokollet om 8 procent minskning av koldioxidutsläppen fram till 2012, än mindre kunna reducera sitt externa importberoende av energi. Unionen har ännu inte utvecklat de rättsliga, politiska och institutionella mekanismerna för att realisera de långtgående åtgärder som krävs för att bromsa klimatförändringarna och samtidigt säkra en trygg energiförsörjning utan importberoende av fossila bränslen.

Åtgärdspaket för svagt för visionen

EU betonar starkt harmonin mellan unionens klimat- och energipolitik. Klimatförändringarna och energisäkerheten i EU är intimt sammankopplade eftersom energisektorn ger upphov till 80 procent av växthusgasutsläppen. En diversifiering av energikällor, övergång till förnybar energi, energieffektivisering och ökad energibesparing bidrar både till att begränsa storskaliga klimatförändringar och minska EU:s importberoende av gas och olja från Ryssland och Mellanöstern.

Centralt inom EU är föreställningen att samma åtgärder i ett trollslag kan bromsa klimatförändringarna och samtidigt stärka unionens energisäkerhet. Det antas att unionens energipolitik (som syftar till att minska importberoendet av fossila bränslen) och dess klimatpolitik (vars hörnsten är en övergång till förnybara energisystem) ömsesidigt förstärker varandra. Men i sin nuvarande form är EU:s åtgärdspaket på klimat- och energiområdet inte tillräckligt kraftfullt för att leva upp till visionen om en koldioxidfri union. För att effektivt tackla både klimatförändringarna och EU:s sårbarhet på energiområdet krävs en strukturomvandling till en energieffektiv ekonomi. Klimat- och energifrågorna berör många andra politikområden som transporter, säkerhet, skattepolitik och sociala frågor, något som försvårar den nödvändiga samordningen. För att främja energisäkerhet och begränsning av växthuseffekten enligt unionens mål krävs det en mycket starkare samordning av EU:s interna och externa klimat- och energipolitik samt utökad makt för unionen att driva energipolitik.

Medlemsstaterna bestämmer sin energipolitik

I EU hanteras miljöfrågor inom ramen för den första pelaren (det vill säga EG) med överstatlig kompetens. Formellt gäller dock att det råder så kallad delad kompetens (beslutsmakt) på klimat- och miljöområdet. Det innebär att den lagstiftande makten på området

är delad mellan medlemsstaterna och gemenskapen, till skillnad från exempelvis handelsområdet där gemenskapen har beslutsmakt.

Klimat- och energipolitiken är i högsta grad ett tvärsektoriellt område som kräver samordning mellan olika sektorer som transport, handel och jordbruk. EU:s klimatpolitik innebär ett intressant experimenterande med en rad nya policyinstrument, mekanismer och styrmedel. EU:s utsläppshandel representerar den mest utvecklade regionala koldioxidmarknaden i världen. Sammantaget är EU ett fascinerande supranationellt experiment som försöker hantera de komplexa relationerna mellan globalisering, handel och miljö genom att utveckla en omfattande miljö- och hälsoskyddslagstiftning.

Kompetensen för klimatpolitiken är delad mellan gemenskapen och medlemsstaterna, men makten över energipolitiken ligger främst hos medlemsstaterna som bestämmer över sin energimix och har överhöghet över energikällorna. Att medlemsstaterna har frihet att utforma sin energipolitik och energiförsörjning innebär starka rättsliga begränsningar för möjligheten att genomföra förändringar av den gemensamma energipolitiken mot förnybar energi.

Ambitiösa EU-mål för 2020 och 2050

Under 2007 och 2008 intensifierades ansträngningarna i EU för att skapa en integrerad klimat- och energipolitik. Unionens klimatsäkerhet handlar om att begränsa ökningen av världens medeltemperatur till högst två grader i förhållande till den förindustriella perioden. Unionens energisäkerhet bygger på ökad försörjningstrygghet genom diversifiering av både energiportföljen och energileverantörerna samt utveckling av en konkurrensutsatt inre energimarknad.

I december 2008 antog EU ett förstärkt åtgärdspaket på klimat- och energiområdet. Unionen ska minska utsläppen av växthusgaser med 30 procent till 2020 jämfört med 1990 förutsatt att andra industriländer förbinder sig att göra jämförbara utsläppsminskningar inom ramen för en global klimatöverenskommelse. Oberoende av de rika ländernas ambitionsnivå med avseende på åtagande inom ramen för ett framtida klimatavtal efter 2012 kommer EU att åta sig att minska växthusgaserna med 20 procent fram till 2020. Det långsiktiga målet är att EU ska minska utsläppen med 60–80 procent till 2050 i enlighet med rekommendationerna från FN:s klimatpanel.

EU har i ett internationellt perspektiv satt relativt långtgående mål för att minska växthusgasutsläppen

för andra åtagandeperioden, det vill säga efter 2012. Givet att majoriteten av medlemsstaterna har haft svårt redan nu att nå de modesta (och ur klimatsynpunkt otillräckliga) Kyotomålen för första åtagandeperioden finns det skäl att betrakta de ambitiösa målen bortom 2012 som aspirationer snarare än som realistiska och genomförbara mål. Unionens trovärdighet står på spel om inte dessa mål efterlevs.

EU som global klimatledare

Hur är då EU:s efterlevnad av Kyotoprotokollet? För EU-länderna innebär Kyotoprotokollet att de ska minska utsläppen av växthusgaser med 8 procent till 2010 jämfört med 1990 års nivå. Medlemsländerna har enats om att genomföra åtagandet gemensamt enligt EU:s ”bördefördelning” som anger varje stats bidrag. Sammantaget har EU-länderna svårt att klara sina åtagande inom ramen för Kyotoprotokollets första åtagandeperiod. Endast Sverige, Tyskland, Frankrike och Storbritannien beräknas minska sina utsläpp enligt planen. Spaniens utsläpp har däremot ökat med 40 procent mellan 1990 och 2003, det vill säga långt mer än den tillåtna ökningen om 15 procent enligt EU:s fördelning. Men utsläppsutvecklingen tyder på att unionen kan vara på väg att klara sina åtaganden till 2010 – förutsatt att de beslutade och planerade åtgärderna verkligen ger minskade utsläpp.

Sedan Bushadministrationen förkastade Kyotoprotokollet 2001 har EU intagit rollen som global ledare i ansträngningen att rädda Kyotoprotokollet. Med hopp om en ny och mer klimatvänlig Obamaadministration lägger EU ner stora politiska ansträngningar för att till FN:s klimattoppmöte i december 2009 i Köpenhamn säkra ett globalt klimatavtal som ska efterträda Kyotoprotokollet. Detta avtal ska bygga vidare på Kyotoprotokollets struktur med bindande utsläppsbegränsningar samt en rättvis ram som bygger på att länder ska delta alltefter olika ansvar och förmåga.

Målkonflikter syns inte i retoriken

EU:s klimat- och energipolitik präglas av ambitiösa mål och visioner om en ny industriell revolution mot en koldioxidsnål union som kan begränsa de globala klimatförändringarna. Unionen har under de senaste åren betonat vikten av att transformera Europas klimat- och energipolitik för att på ett mer enhetligt sätt kunna möta intimt sammankopplade utmaningar som klimatförändringar, energisäkerhet och hållbar utveckling. EU har varit ett internationellt föredöme genom att sätta långtgående mål för minskningen av växthusgaserna fram till 2020 och 2050. Kyotoprotokollets mål är ett första steg, men ur klimatsynpunkt otillräckligt enligt det aktuella vetenskapliga underlaget. EU:s klimat- och

energisäkerhet kommer bortom det retoriska planet att kräva en storskalig och långsiktig samhällsomställning av energi- och transportsystem.

Det finns ett antal målkonflikter på klimat- och energiområdet. Ett exempel är transportsektorn. Den fria rörligheten inom EU innebär ökade transporter som tillsammans med energiproduktionen är den huvudsakliga källan till koldioxidutsläpp. Det finns en konflikt mellan EU:s ökade transportflöden (en naturlig följd av den europeiska integrationen) och åtgärder för att minska klimatförändringarnas negativa effekter på samhälle och ekosystem. För att detta ska lösas krävs därför en radikal omställning av energiförsörjningen till förnybara energikällor och strukturella investeringar i transportsystemen. En sådan övergång till förnybara energisystem i Europa kan komma att kräva långtgående ingrepp i medborgarnas vardag, såsom höjning av bensinpriset, höjda energipriser och begränsningar av privatbilismen.

Detta illustrerar demokratins begränsningar när det gäller att möta det globala klimathotet med långtgående åtgärder. Om åtgärderna inte kan motiveras med att det finns ett överordnat hot mot samhällets kärna så kommer det inte att finnas politisk acceptans bland samhällets intressegrupper och medborgare att drastiskt förändra livsstil och konsumtionsmönster.

I EU:s retorik synliggörs inte grundläggande målkonflikter mellan ekonomisk tillväxt, ökad energianvändning och bekämpningen av klimathotet.

Saknas mandat för samhällsomställning

Nödvändigheten av ett demokratiskt mandat för att genomföra genomgripande och långsiktiga reformer av samhällets kärnsektorer som exempelvis energisystemen är en återkommande problematik och målkonflikt. Klimathotet representerar en beslutssituation präglad av stor osäkerhet om den framtida utvecklingen av energianvändning, tillväxt, befolkningsutveckling och transportmönster. Utifrån det nuvarande kunskapsläget kan man emellertid argumentera för att det inte finns några inneboende motsättningar och olösliga målkonflikter mellan klimatmålet och energianvändningen i ett längre tidsperspektiv. Den uppmärksammade brittiska Sternrapporten från 2006 gör en kostnadsuppskattning av klimathotet och beskriver med önskvärd tydlighet att det inte finns en målkonflikt mellan att begränsa klimatförändringar och garantera makroekonomisk stabilitet. I rapporten sägs att de ekonomiska förlusterna till följd av de accelererande klimatförändringarna i värsta fall kan motsvara 20 procent av BNP om inte åtgärder för att motverka förändringarna vidtas redan idag.

Rapporterna har, trots mycket oroväckande scenarier, inte genererat ett krismedvetande i det allmänna opinionsläget, vilket är förutsättningen för ett demokratiskt mandat att genomföra en långtgående samhällsomställning. Klimatförändringarnas uppmärksammade koppling till extrema väderfenomen har inte heller mobiliserat medborgarna till att kräva eller acceptera mer genomgripande reformer i samhällets kärnsektorer eller livsstilsanpassning. Exempel på extrema väderhändelser är återkommande stormar, regnkaos i Nordeuropa och ihållande torka i Sydeuropa med efterföljande problem som minskad produktivitet i jord- och skogsbruk. Dessutom har hoten mot mänsklig hälsa kopplats till de globala klimatförändringarna.

Katastrof i krigsklass motiverar mobilisering

Så länge klimatförändringarna inte upplevs som ett överordnat säkerhetshot bland EU:s medborgare är det svårt att i demokratiska samhällen genomföra storskaliga ingrepp i livsstil och konsumtionsmönster. Historiskt sett är det framförallt krig som har kunnat motivera begränsningar i demokratin och möjliggjort radikala ingrepp i medborgarnas vardag via införandet av ransonering och begränsad rörelsefrihet. Endast om de globala klimatförändringarna i framtiden skulle betraktas som ett överordnat samhälleligt hot som kräver en mobilisering på alla nivåer skulle

politiska åtgärder vara acceptabla, till exempel ransonering av transatlantiska flygresor och begränsningar i flygturism.

Emellertid har den moderna demokratin visat prov på både uthållighet och anpassningsförmåga i tider av externa kriser. Demokratiska samhällen är helt enkelt de mest effektiva politiska systemen för kollektiv problemlösning av storskaliga problem vare sig det handlar om naturkatastrofer, terroristhot eller gränsöverskridande miljörisker. Om det globala klimathotets värsta scenarier inträder finns det därför trots allt mycket som talar för att EU och dess medborgare kommer att mobilisera för en transformering av samhället.

Karin Bäckstrand är docent i statsvetenskap och verksam vid Statsvetenskapliga institutionen, Lunds universitet. Hennes forskningsområde är internationell miljöpolitik, där hon bland annat studerar den globala klimatpolitiken. Hon leder ett ämnesövergripande Formasprojekt: Legitimitet och effektivitet i styrning för hållbar utveckling.

Lästips

- *Sternrapporten – en genomgripande analys av klimatförändringens ekonomi*, Rapport 5711, Naturvårdsverket 2007 (www.naturvardsverket.se).

EU:s energipolitik bidrar till fattigdom

När Europa sätter upp mål för ökad användning av biobränslen så påverkar det människor i fattiga länder, bland annat i Indonesien där oljepalmsplantagerna breder ut sig. Även om EU:s avsikt är att utvecklingsländer ska få möjlighet att bekämpa fattigdom genom att sälja biobränslen till Europa är det inte säkert att det fungerar så i praktiken. Idag är det våra europeiska tekniska lösningar som styr, men vi måste börja ta hänsyn till den miljömässiga och sociala helheten i de länder som producerar vårt biobränsle, skriver Maria Osbeck och Neil Powell.

Maria Osbeck, Stockholm Environment Institute.

Neil Powell, Stockholm Environment Institute och SLU.

Klimatförändringar i kombination med stigande oljepriser har lett till ökad fokusering på förnybara energikällor, och biobränslen presenteras som ett alternativ till fossila bränslen. I samband med EG-direktivet för förnybar energi förespråkas att utvecklingsländerna ska få hjälp att utnyttja de möjligheter till fattigdomsbekämpning som de växande marknaderna för biobränsle medför. Senast 2020 ska 10 procent av Europas bränslen för transporter utgöras av biodrivmedel. Frågan är vilka konsekvenser detta får i andra delar av världen.

Med ett exempel från Indonesien illustreras här några av de miljömässiga och sociala effekter som är direkta eller indirekta resultat av EU:s energipolitik. Vi tar inte ställning för eller emot biobränsle, men understryker vikten av en holistisk ansats som tar hänsyn till hur biobränsleproduktionen påverkar och samverkar med matproduktion, miljö och sociala förhållanden i olika sammanhang.

Europa beroende av biobränsleimport

I mars 2007 kom EU:s stats- och regeringschefer överens om en energipolitik för Europa. Den innehåller krav på ökad energieffektivitet, minskade växthusgasutsläpp samt ökad användning av förnybar energi. Den nya energipolitiken ska stärka Europas konkurrenskraft, skydda miljön och säkra framtida energireserver.

För att kunna nå målet om 10 procent biobränslen i transportsektorn kommer det att behövas stora volymer biodrivmedel, minst 17–18 miljoner ton oljeekvivalenter kring 2010. I den handlingsplan som kommissionen tagit fram tydliggörs vikten av ökad handel med biodrivmedel för att kunna tillgodose den växande efterfrågan i Europa. EU:s egen biodrivmedelsproduktion var 2004 omkring 2 miljoner ton. Det motsvarar 0,7 procent av den totala konsumtionen av drivmedel och ligger därmed långt under de 5,75 procent som är målet för 2010. På EU-nivå beräknas de totala investeringarna i framställning av biodrivmedel ligga kring 30 miljarder euro. Den ökade efterfrågan kommer delvis att täckas genom import. Enligt EU:s forskningscentrum JRC (Joint Research Centre) beräknas importen av biobränsle öka med 32–64 procent för att Europa ska kunna leva upp till 10 procent biodrivmedel till 2020. Vidare säger JRC att den indirekta importen kan öka till 80 procent beroende på hur mycket som kan tillgodoses inom EU genom andra generationens biobränslen för framställning av biodiesel.

En omfattande debatt för och emot biobränsle har lett till att EU:s miljöutskott föreslagit ett mål om 4 procent biobränsle i transportsektorn för 2015, och ett preliminärt mål om 8 till 10 procent för 2020. Det slutliga målet för 2020 ska fastställas vid en

kontrollstation år 2015 då hela politiken ska utvärderas.

Koldioxidkrav med tanke på etanolproduktion

Etanol är det alternativa drivmedel vars produktionsvolym växer snabbast i förhållande till andra råvaror för biodrivmedel. De största producenterna och användarna är Brasilien (sockerrör) och USA (majs). Enligt beräkningar som sträcker sig till 2010 kommer den totala etanolframställningen i världen nätt och jämnt att täcka efterfrågan, som förväntas mer eller mindre fördubblas jämfört med idag. EU och USA är nettoimportörer medan Brasilien är den största exportören.

De relativt höga koldioxidutsläppen i samband med etanolproduktion har diskuterats och analyserats. EG-direktivet för förnybar energi har fastställt att produktionen av biobränsle måste reducera koldioxidutsläppen med minst 35 procent jämfört med fossilt bränsle. Detta har ifrågasatts av kritiker som menar att EU bör ställa högre krav på minskade växthusgaser vid framställning av biobränsle. Men eftersom etanolproduktion inte skulle klara högre krav än 35 procent så har EU hållit fast vid detta.

Palmoljeproduktionen ökar kraftigt

På grund av de låga världsmarknadspriserna har europeiska biodrivmedel haft svårt i konkurrensen med

biobränslen från utvecklingsländer. En råvara som expanderar snabbt är palmolja, framförallt från Indonesien men även från länder som Colombia och Demokratiska Republiken Kongo. Växande efterfrågan på biodrivmedel och matolja för livsmedelsindustrin i Europa är starka drivkrafter. Palmolja har presenterats som ekonomiskt överlägsen andra råvaror för framställning av biodiesel tack vare bland annat oljepalmens höga avkastning och långa livslängd.

Importen av palmolja till Europa fördubblades under perioden 2000 till 2006. Enligt FN:s jordbruksorgan FAO importeras palmolja främst till livsmedelsindustrin för att ersätta rapsolja som nu i allt större utsträckning används för att framställa biodiesel. Malaysia och Indonesien är världens största producenter av palmolja och står för 90 procent av världens palmoljeproduktion. Den växande globala efterfrågan förväntas leda till en produktionsökning med 50 procent till 2017.

Effekter i Indonesien

Indonesien planerar att öka arealen oljepalmsplantager från dagens 7 miljoner till 24 miljoner hektar. Nästan 30 procent av den tilltänkta marken är torvmark som har rika lager av kol, vilket ur klimatsynpunkt är oerhört problematiskt. I en uppmärksammad studie publicerad i tidskriften Science

presenteras koldioxidutsläpp från olika marktyper. Konvertering av tropisk skog till oljepalmsplantager för dieselframställning skulle enligt rapporten leda till koldioxidutsläpp på 610 ton koldioxid per hektar, vilket skulle ta 86 år för den planerade oljepalmsplantagen att återbetala. Omvandling av skog på torvmark skulle leda till 6 000 ton koldioxid per hektar, vilket skulle ta 840 år för oljepalmsplantagen att återbetala.

De sociala effekterna av ökad export av palmolja från Indonesien är kopplade till markrättigheter, matproduktion, tryggad inkomst samt kvinnors och etniska gruppers rättigheter. I Indonesien är 30–40 procent av befolkningen beroende av resurser från skogen för mat och inkomst. En utarmning av lokala ekosystem kommer därmed att påverka lokabefolkningarnas möjlighet att utnyttja och leva av naturresurserna. Försök att minska negativ påverkan på lokalbefolkningar har gjorts genom stöd till en expansion av småskalig palmoljeproduktion.

I Indonesien är cirka en tredjedel av palmoljeproduktionen småskalig. Under småskalig produktion ingår jordägare som själva investerar i omvandling av skog och jord till oljepalmsplantager, kontraktsodlare som använder sin egen mark samt lokala bönder som tilldelas andelar i redan etablerade plantager. Medan jordägarna i den första gruppen

själva kan välja vilket företag de vill sälja till så är de andra två grupperna tvungna att sälja till det kontrakterande företaget. Eftersom frukterna från oljepalmen måste processas snabbt efter skörd binder detta ofta bonden till den fabrik som ligger närmast (till skillnad från exempelvis växten Jatropha vars frön kan lagras och därför är mer lämpad för småskaligt bruk). Vinsten för de två sista grupperna är ofta minimal. De som inte är kontraktsodlare är beroende av maskiner för att omvandla skog eller mark till plantager; det gör att de ofta skuldsätts till de stora skogsbolagen.

Sammantaget visar erfarenheterna från Indonesien att småskalig palmoljeproduktion kan generera inkomster till lokala jordägare, men att påverkan på ekosystemen hotar en långsiktigt hållbar utveckling av den småskaliga palmoljeproduktionen.

Ökade konflikter

I den indonesiska delen av Borneo, Kalimantan, på gränsen till Malaysia planerar den indonesiska regeringen för en storskalig utökning av oljepalmsplantager som beräknas täcka 5 till 8 miljoner hektar. FN:s permanenta forum för ursprungsbefolkningar hävdar att 5 miljoner människor därmed hotas av tvångsförflyttning i västra Kalimantan. En decentraliseringsprocess inom förvaltningen har öppnat

för ökat inflytande av lokala aktörer i naturresurshanteringen. Trots det kännetecknas systemet i Kalimantan av otydliga rutiner kring beslutsfattande och ansvarsfördelning. Privata intressen har haft stort inflytande i beslutsprocesserna kring landrättigheter, samtidigt som lokala aktörer och ursprungsbefolkningar har haft begränsad möjlighet att påverka. Det här har lett till konflikter i samband med expansion av oljepalmsplantager.

Konflikter mellan plantageägare och bybor har ökat dramatiskt. Enligt Consortium for Agrarian Reform i Indonesien rapporterades mellan 1998 och 2002 att 936 människor hade arresterats, 479 människor torterats, 284 hus demolerats, 134 människor skjutits och 20 dödats i strider om markägande. Även om dessa incidenter inte kan kopplas direkt till oljepalmsplantager så ger det en inblick i det komplexa institutionella ramverk som reglerar markägande. För att säkerhetsställa en hållbar produktion av palmolja krävs det att internationella lagar och konventioner följs, att skog med hög biodiversitet inte omvandlas till plantager, att det görs åtaganden om öppenhet och iakttagande av lokala styrelsesätt, och att fall som inbegriper minoritetsgrupper prioriteras.

Hållbarhetskriterier missar den sociala delen

Kritiken av etanol- och biodieselproduktion har

präglat energidebatten i Europa. Europaparlamentet konstaterar i sin handlingsplan att utbudet av inhemska energigrödor är begränsat, och uppmanar kommissionen att ta fram nya kriterier för importen av de råvaror som används vid framställning av biobränsle. De efterlyser världsomfattande hållbarhetskriterier för produktion och användning av biobränsle. Enligt kommissionens förslag till hållbarhetskriterier för biobränsle ställs tydliga krav på att motverka negativ påverkan på biodiversitet.

Kriterier för en socialt ansvarsfull utveckling saknas dock helt. Ramverket för hur hållbarhetskriterierna ska implementeras och följas upp är dessutom otydligt. En central fråga är vilka landtyper som är mest lämpade för etablering av plantager för biodrivmedelsproduktion. Direktivet hänvisar till *”marginalised land”*, men vilken typ av mark som refereras till tydliggörs inte. Erfarenheter från både Brasilien och Indonesien visar att vad som ofta klassificeras som ”marginalised land” redan utnyttjas av lokalbefolkningen för till exempel bete eller jakt.

En annan oklarhet är hur man ska se på importen av palmolja för att ersätta rapsolja i livsmedelsindustrin i Europa. Palmolja som importeras för livsmedelsindustrin kommer inte att omfattas av hållbarhetskriterierna för biobränsle. Dessutom baseras kriterierna

på markklassificering från och med januari 2008. I Indonesien har tillstånd för oljepalmsplantager utfärdats före januari 2008, och 18 miljoner hektar har redan skövlats för framtida plantager.

Svag global politik

Europas energipolitik står inför ett systemskifte, där en omställning från fossila bränslen till bioenergi har visat sig nödvändig för energisäkerheten och för att minska koldioxidutsläppen. Om det är rationellt att använda skogs- och jordbruksresurser för att framställa biobränsle för transportsektorn beror dock mycket på avvägningen mellan olika mål och på valet mellan nationellt och globalt synsätt. Nationellt sett kan användning av biobränslen i transportsektorn ge en markant minskning av koldioxidutsläpp och importberoende. Globalt eller regionalt sett är detta däremot knappast den bästa politiken i relation till det globala klimathotet. Direktivet för förnybar energi har otydliga mål och syften. De mest lönsamma biobränslesystemen idag är inte de mest rättvisa eller resurs- och klimateffektiva på lång sikt. Tekniska lösningar har legat till grund för utformningen av direktivet i avsaknad av social analys när det gäller Europas ansvar för matproduktion, fattigdomsbekämpning och mänskliga rättigheter i världen.

I dessa resonemang bör förhållandet mellan process och resultat beaktas. Processer är komplexa, icke-linjära och självorganiserande vilket innebär att ett resultat i mycket hög grad är unikt utifrån den föregående processen. En komplex verklighet utmärker biobränslets produktionskedja. Tekniska innovationer som utvecklats utifrån en linjär ansats mellan problem (beroende av fossilt bränsle) och resultat (energisäkerhet genom förnybar energi) har legat till grund för utformningen av målen i direktivet, vilket nu har visat sig leda till oförutsägbara resultat när det gäller miljö och social påverkan i fattiga länder. Alltså, processen kan vi säga något generellt om medan resultatet i princip karaktäriseras främst av att vara unikt och bundet till platsen.

Indonesien i startgroparna

Policyarbetet som föranledde direktivet har i stor utsträckning drivits av näringsliv och politiker i Europa. När två av EU:s ledande forsknings- och miljöinstitutioner (JRC och EEA, European Environment Agency) gått ut och offentligt protesterat mot tioprocentmålet i transportsektorn har frågan tagits upp på nytt. Detta tydliggör vikten av en policyprocess som möjliggör större deltagande av olika sektorer och som respekterar lokalbefolkningars odlingssystem, försörjning och rättssystem. Trots de oklarheter som idag utmärker biobränslefrågan i

Europa har Indonesien sedan beslutet togs om målet att 10 procent av Europas drivmedel ska utgöras av biodrivmedel senast 2020, vidtagit åtgärder för att möjliggöra en kraftig höjning av palmoljeexporten till Europa. Medan Europa diskuterar och debatterar hållbarhetskriterier har således utvecklingsländer redan börjat förbereda för ökad export av bioråvaror till Europa.

Biobränsleproduktionens påverkan och samverkan med matproduktion, miljö och sociala förhållanden belyser det faktum att energifrågan inte kan ses som en linjär process, där tekniska lösningar ska ligga till grund för en framtida hållbar energiförsörjning. Åtgärder för att minska negativ påverkan i fattiga länder som producerar biobränsle är nödvändiga, vilket i sin tur kräver större insikt om de effekter den europeiska biobränslepolitiken kan leda till i fattiga länder.

Maria Osbeck är forskare på Stockholm Environment Institute (SEI) och baserad i Bangkok. Hon har arbetat med miljöfrågor i Asien sedan 2003 med inriktning på vatten- och skogsfrågor samt kustmiljö. Hon är involverad i ett forskningsprojekt om kustmiljö och mangroverehabilitering.

Neil Powell är också forskare på SEI där han bland annat leder en Stockholmsbaserad forskningsgrupp som arbetar med frågor kring risker, försörjning och sårbarhet. Han är också universitetslektor på Sveriges lantbruksuniversitet. Hans forskning kretsar bland annat kring integrerad och gränsöverskridande vattenhantering samt social inlärning.

Klimatförändringens orsaker – vad säger samhällsvetenskapen?

Varför har klimatproblematiken överhuvudtaget uppstått? Samhällsvetenskapen ger många och mycket olika svar, skriver Johan Hedrén. Skillnaderna beror delvis på vilka faktorer som uppfattas som mest styrande: idéer, ekonomi, teknik eller politik. Det finns ingen vetenskaplig enighet om vilken samhällsteoretiker som har rätt. Varje människa måste bilda sig en egen uppfattning. Då räcker det inte att ta del av moderna medier som förenklar alltför mycket. För den som vill förstå det komplexa har samhällsteorin en viktig roll att spela.

Johan Hedrén, Institutionen för Tema, Linköpings universitet.

Enigheten blir allt större kring att mänskliga verksamheter är huvudorsak till klimatförändringarna, och med anledning av det är det många frågor som tornar upp sig. Hur kommer det sig att det så långt utvecklade, moderna samhället kan försätta sig i en så svår situation? Var hittar vi de viktigaste drivkrafterna? Vilka bär skulden? Är det världspolitiken som misslyckats? Eller står sig politiken slätt mot de ekonomiska maktstrukturerna? Bottnar problemen i den västerländska livsstilen? Varför ser den i så fall ut som den gör?

Frågorna är naturligtvis många fler än så och berör i stort sett alla verksamheter i våra samhällen. För att hitta svar på dem måste vi söka oss till den samhällsteori som har som målsättning att förstå och förklara de stora sammanhangen, och som utgår från den mycket svåra frågan om hur samhället som helhet fungerar och utvecklas. Denna slags samhällsteori, ofta kallad makroteori, har att brottas med oerhört komplexa sammanhang. I dess utmaning ligger att bilda sig en välgrundad uppfattning om hur samhällets olika sfärer fungerar – politik, teknik, ekonomi, vetenskap, vardagsliv, medier, med mera. Men dessutom krävs en analys av hur alla sfärer samspelar och bildar en helhet: *samhället*. Därför är det inte särskilt förvånande att tolkningarna av hur helheten är ordnad och vilka de viktigaste drivkrafterna till

förändring är, är många och tämligen olika. Genom åren har därför en mängd samhällsteorier utvecklats, och samhällsvetenskapen är både splittrad och konfliktfylld.

Vad styr mest?

Den stora variationsrikedomen i förklaringsansatser kring historieutvecklingen kan nog till stor del förklaras av vilken eller vilka faktorer som uppfattas som mest styrande: idéer, teknikutveckling, ekonomi, politik, och så vidare. Det är till och med omstritt om det överhuvudtaget är lönt att försöka förstå samhället som en helhet, vare sig det handlar om nationalstater eller världssamhället.

Mest tydligt polariserad är kanske denna konflikt mellan å ena sidan samtida neomarxistiska teoretiker, som Fredric Jameson och David Harvey, och å andra sidan liberala och konservativa postmodernister. För neomarxisterna är det oerhört viktigt att på ett grundligt och systematiskt sätt hela tiden utveckla och förfina den teoretiska förståelsen av samhället som helhet. Utan en sådan förståelse, menar man, är det politiska arbetet på alla nivåer en blind och fåfäng verksamhet. För de liberala och konservativa postmodernisterna å andra sidan framstår både målsättningen att förstå samhället som helhet och den politik som förlitar sig på förnuft och långsiktig

planering som både utsiktslös och farlig. Mellan dessa positioner återfinns sedan en rad teoretiker som varierar temat på en mängd olika sätt.

Samspel mellan en rad faktorer

Oavsett hur man förhåller sig till stridsfrågan om samhällsutvecklingens orsaker kan man konstatera att uppgiften att förstå och teoretiskt beskriva samhället knappast har blivit lättare genom åren. En av de mest radikala förändringarna inträffade 1989 då Berlinmuren föll, och då den förhållandevis tydliga världsmaktsordningen baserad på det kalla kriget mellan två supermakter upplöstes. Fram till östblockets sammanbrott var åtminstone den världspolitiska situationen någorlunda begriplig, och det var också tydligt att denna maktbalans hade stor inverkan på samhällsutvecklingen överlag. I dagsläget har vi istället en situation där det framstår som allt rimligare att söka orsakerna till storskaliga förändringar i samspelet mellan en rad olika faktorer, såsom snabb teknisk utveckling, ett snabbt flöde av alarmerande vetenskapliga rön och slutsatser, ett ständigt ökande informationsflöde samt en svårtydd ekonomi och politik på en global skala. Men frågan hanteras på synnerligen olika sätt inom olika samhällsvetenskapliga teorier.

På frågan om varför vi hamnat där vi är finns det alltså en mängd olika svar. Jag ska mycket kort beskriva och kommentera några av de många teorier som står till buds. Dels berör jag några teorier som har haft starkt genomslag i den samhällsvetenskap och humaniora som speciellt intresserat sig för miljöfrågor, dels tar jag upp idéer från analytiker som tagit sig an tolkningen av de globala sammanhangen.

Urbanisering, befolkningstillväxt och tillväxttänkande

En av de mest uppmärksammade miljöhistoriska framställningarna under senare år är J. R. McNeills *Någonting är nytt under solen*. Den ger en bred översikt över både naturens och det mänskliga samhällets utveckling, och i de avslutande kapitlen ägnar sig författaren just åt frågan om förändringens drivkrafter. Han är djupt skeptisk till teorier som lyfter fram någon eller några enskilda drivkrafter som överordnade andra: ”Storartade teorier som erbjuder ett enkelt svar (entropi, kapitalism, överbefolkning, patriarkat, marknadsmisslyckanden, välstånd, fattigdom) båtar föga”, menar han. Istället erbjuds läsaren något som närmast kan beskrivas som en exempelsamling över hur en mängd faktorer vid olika tidpunkter, på olika platser och i olika samhällssystem på olika sätt inneburit att miljön kraftigt förändrats.

McNeill skriver bland annat om olika energiregimer, det vill säga kombinationer av viss teknik, vissa energikällor samt lagar och idéer. Men energiregimernas miljöpåverkan är i sin tur beroende av andra faktorer, till exempel hur den industriella produktionen går till, hur långt urbaniseringen har kommit, hur stor befolkningen har blivit, vilket ekonomiskt system som råder, och så vidare. McNeills historieskrivning ger ofta en bild av ett mycket komplext och svåröverskådligt flöde av händelser som utvecklas utan någon som helst grundläggande princip. Men likväl kan han inte motstå frestelsen att just lyfta fram några enskilda faktorer som särskilt viktiga, men utan att belägga eller argumentera för varför just dessa. Han hävdar exempelvis att de mäktigaste ”motorerna” som drev miljöns förändring under 1900-talet var urbanisering, befolkningstillväxt och folkomflyttningar. Dessutom lyfter han fram tillväxttänkandet som en slags överordnad ideologi.

Ekologisk modernisering – variation på gammalt tema

McNeill menar alltså trots en något vacklande hållning att antalet faktorer som påverkar utvecklingen är för många för att kunna fångas i en generell teori. En annan av de samtida teorierna är betydligt mer optimistisk på den punkten, nämligen teorin om ekologisk modernisering, väsentligen formulerad av

de holländska forskarna Arthur Mol och Maarten Hajer. Deras teori är en av dem som fått i särklass störst genomslag i den samtida samhällsvetenskapliga miljöforskningen.

Teorin om ekologisk modernisering ansluter främst till en humanistisk tanketradition som undersöker olika aspekter av *modernitet*, eller det *moderna samhället*. Denna tradition gör ofta gällande att en historiskt unik samhällsform skapades från och med 1600-talet, ursprungligen i Europa. I denna samhällsform hänger vissa grundläggande idéer samman med industrialisering, urbanisering och internationalisering. Idéerna härrör till stor del från upplysningsfilosofin: stark tillit till det mänskliga förnuftet, framstegstro och en övertygelse om att vetenskaplig kunskap är överlägsen annan kunskap och därför ska ligga till grund för utveckling och reformer på alla samhällsområden. Man föreställer sig att det moderna samhällets olika egenskaper hänger samman som ett slags paket, och att därmed drivkraften till ständig utveckling och förnyelse, både andligt och materiellt, ligger i denna helhet.

Makthavarna gjorde ekologin till sin

I teorin om ekologisk modernisering konstaterar man att miljöproblemen ursprungligen kom att uppfattas som en kris och ett misslyckande för just det

framrusande moderna samhället. Här tar man bland annat fasta på 1960- och 1970-talens debattlitteratur, aktivism och opinionsrörelser som ofta förespråkade ett helt annat slags samhälle. Många gånger handlade det om en strävan efter småskalighet, nolltillväxt och decentralisering. Ofta kritiserades just vetenskapen för att vara baserad på felaktiga grundföreställningar om kunskapens gränser och tillvarons grundläggande beskaffenhet. Mol och Hajer med flera menar dock att samhällets makthavare lyckades ta udden av kritiken genom att göra de ekologiska utmaningarna till en huvudfråga för samhällsutvecklingen. Idéer växte sig starka om att tillväxt och miljöhänsyn är förenliga, att ökad välfärd och framsteg nås genom särskilda satsningar på ”grön” teknik och samverkan i samförstånd mellan staten och näringslivet.

De ekologiska utmaningarna blev därmed inte bara införlivade med, utan snarare själva drivkraften i det moderna projektet: ekologisk modernisering. Åtminstone var det den bilden som ofta förmedlades. I Sverige, liksom i många andra länder, argumenterade politiker för att det handlade om att skaffa sig en världsledande position i utvecklingen av grön teknik för att på så vis vinna ekonomiska fördelar och bevara eller stärka sin ställning i den internationella ekonomiska konkurrensen. I denna politik har inte strävan efter ökad materiell standard ifrågasatts, och

inte heller nivån på energianvändning eller volymen av resande och transporter. I den mån orsakerna till klimatförändringarna kan sökas inom de här områdena är alltså den ekologiska moderniseringens politik en föreställningsvärld väl värd att kritiskt pröva.

Världsrisksamhället

En annan teoretiker som fått starkt genomslag i den samhällsvetenskapliga miljöforskningen är Ulrich Beck. Även han anknyter till den humanistiska tanketraditionen om det moderna samhället. Han ägnar frågorna om globalisering och globala relationer stor uppmärksamhet. En stor del av hans analys kan beskrivas inom ramen för vad han kallar teorin om världsrisksamhället. Enligt Beck är en av de senaste decenniernas viktigaste drivkrafter för utveckling och förändring just de globala och enorma hot som tornat upp sig under efterkrigstiden. Beck tänker då bland annat på just miljöfrågorna och särskilt de som har global utbredning, som klimatproblemen.

En särskilt viktig händelse enligt Beck var haveriet i kärnreaktorn i Tjernobyl 1986. Denna katastrof fungerade både som en enorm chock och som en väckarklocka som triggade till nya sätt att förhålla sig till samhällsutvecklingen. Det nya med den typ av hot som Tjernobyl representerar är enligt Beck att de

riktas mot alla samhällsgrupper, att de inte går att försäkra sig emot och att konsekvenserna av de katastrofer de kan leda till är av en storleksordning som är historiskt unik; livsbetingelserna globalt sett kan drastiskt försämras. Denna nya situation, menar Beck, innebär att alla har ett intresse av att ändra på rutiner och organisationer inom både ekonomin och politiken. Detta kan inte förväntas kullkasta det moderna projektet, men väl påverka det till att förändra systemet på ett antal centrala områden.

Modernisering med reflektion

Beck menar att vi i linje med detta nu kan iaktta en rad förändringstendenser som kan sammanfattas i begreppet *reflexiv modernisering*. Exempelvis förändras politiken så att den blir mindre centralstyrd och så att vetenskaplig kunskap oftare kompletteras med kunskap från personer med gedigen erfarenhet från yrkesliv eller långvarig kännedom om miljöer. Det innebär en mer kritisk och prövande inställning till anspråken på säker kunskap överhuvudtaget. Mer politik utvecklas utanför de traditionella politiska institutionerna genom att enskilda, ideella organisationer, företag och nätverk arbetar systematiskt och långsiktigt med frågor som uppfattas som centrala. Även inom näringslivet finns det goda skäl att söka efter teknik, produktionsprocesser och produkter med minimal miljöpåverkan eftersom det annars

kan innebära en oerhört negativ påverkan på varumärken.

För Beck framstår således de traditionellt moderna värderingarna om vikten av ökad välfärd, framsteg och en utveckling vägledd av förnuft och demokratisk politik alltjämt som centrala drivkrafter i samhällsutvecklingen. Men de håller på att förankras i en ny och annorlunda organisatorisk ram och med en något förändrad, om man så vill mer decentraliserad och demokratisk definition av rationalitet och framsteg.

Strävan efter allt större vinster

Ytterligare en teoretiker som analyserar globala relationer och dessutom fokuserar på hanteringen av miljöfrågorna är den neomarxistiske teoretikern David Harvey. I likhet med andra neomarxister menar han att utvecklingen och historien bara kan förstås om man undersöker samhället som en helhet, med all den komplexitet det innebär. Ett huvudskäl till detta är uppfattningen att de skikt som brukar betecknas kultur, ekonomi, politik, sociala relationer med flera i grunden är starkt kopplade till varandra och påverkar varandra starkt. Därför är det oerhört viktigt att förstå sambanden mellan dessa skikt.

De ekonomiska relationerna uppfattas som särskilt viktiga när det gäller att förstå samhällsutvecklingen.

Och i alla samhällen utmärks dessa av konflikter mellan besuttna och fattiga. Mycket av det som sker i samhället, menar Harvey, syftar till att hantera dessa konflikter. Mycket som sker handlar i grunden om att legitimera skillnaderna eller göra dem osynliga. För detta ändamål skapas ideologi, det vill säga en verklighetsbeskrivning som just får klyftorna att bli dunkla och mindre kontroversiella. Ideologi utgör av den anledningen en viktig drivkraft både till att bevara och att förändra, inom ramen för en ordning med stora skillnader mellan dem som har och dem som inte har.

Den viktigaste drivkraften inom det rådande ekonomiska systemet, det kapitalistiska, är en strävan efter ständigt större vinster. Harvey och övriga neomarxister menar att just denna strävan är oundviklig inom detta system, och att den sedan länge ligger till grund för ekonomins utveckling på global nivå. Lika viktig är enligt Harvey den förhärskande idén om vad pengar är, liksom den oerhört viktiga funktion som just pengar har kommit att få i alla delar av samhället. Genom pengar kan numera allting bytas mot allt. Pengar, som egentligen inte är något mer än ett slags kontrakt, blir därmed alltings mått. Det blir därmed allt svårare att försvara något för att man anser att det har ett värde i sig.

Vikten av reflexivitet

Det är uppenbart att den samhällsvetenskapliga teorin ger en mängd och sinsemellan mycket olika svar på de frågor som ställdes i inledningen. Mina exempel har givit väldigt korta och lösryckta inblickar i dessa omfattande teorier, i syfte att visa på mångfalden.

Så vem har då rätt? Ja, naturligtvis kan ingen ställa sig ”över” denna litteratur och fälla det slutliga avgörandet. Var och en måste istället noggrant begrunda argumenten och bilda sig en egen uppfattning. Min övertygelse är att det vore oerhört värdefullt om fler gjorde just detta. Det skulle innebära ökad reflexivitet, något som både Ulrich Beck och David Harvey varmt skulle välkomna. I den mån Harvey har rätt skulle det också motverka den fördunkling och förvanskning av världen som ideologierna alstrar. Slutligen finns det skäl att anknyta till de moderna mediernas tendens att förenkla, ofta till oigenkännlighet. Att förstå komplexa sammanhang kräver tid och utrymme, något som det är oerhört ont om i vår starkt kommersialiserade medievärld. Men just i utmaningen att tolka och förstå det komplexa har samhällsteorin en viktig roll att spela.

Johan Hedrén är lärare och forskare vid Tema vatten i natur och samhälle vid Linköpings universitet. Hans

forskning har bland annat handlat om miljöpolitikens idéinnehåll, dess ideologier och maktrelationer. De senaste publikationerna behandlar utopiska ideal inom fältet hållbar utveckling.

Är hotet mot klimatet en chans för företagen?

För att svenska företag ska vara konkurrenskraftiga i länder som Indien och Kina måste de snarast utveckla teknik med miljöprestanda som går längre än vad den nuvarande svenska och europeiska lagstiftningen kräver. De stora tillväxtländerna i Asien kommer att ställa allt högre miljökrav på grund av sin svåra miljösituation och växande medelklass. Självklart ska företag följa lagar och regler. Men bör de också ta ett frivilligt ansvar för klimat och miljö? Får de, kan de, bör de och gör de? Frågorna reds ut av Pontus Cerin och Tommy Lundgren.

Pontus Cerin,
Handelshögskolan i Umeå.

Tommy Lundgren, Handelshögskolan i Umeå samt Institutionen för skogsekonomi, SLU.

Klimathotet ställer krav på nya tekniska lösningar som ger mindre utsläpp av växthusgaser. Den globala utvecklingen skapar flera tillväxtområden för miljöteknik. Gigantiska befolkningstal i tillväxtekonomier som Indien och Kina omvandlas successivt till välbeställda konsumenter. Dessa länders nya medelklass kommer att ställa stora krav på miljöinfrastruktur för rening av luft, vatten och avlopp, och även på energiteknik. Den materiella konsumtionen kommer att öka explosionsartat. Exempelvis förväntas den globala fordonsproduktionen öka till det dubbla till år 2030. Morgondagens fordon måste göras lättare på grund av resursknappheten och för att de ska kräva mindre bränsle.

EU försöker minska utsläppen av växthusgaser inom energiproduktion och transporter genom att uppmuntra användningen av förnybara bränslen. Förutom att utveckla ett gemensamt system som sätter tak för utsläpp av koldioxid och därunder regler för handel med utsläppsrätter har EU satt upp mål för ökad användning av förnybar el, biobränslen och biodrivmedel. Energieffektivisering av byggnader är också ett utpekat område där miljöteknik kan minska utsläppen av växthusgaser.

Problematiken med människans bidrag till växthuseffekten kommer att bli ännu större framöver bland

annat därför att Kina beräknas ha koltillgångar som räcker i ytterligare 200 år. Med tanke på landets raska utbyggnad av kolkraftverk och utveckling av kolförgasning för elproduktion och kolförvätskning till fordonens förbränningsmotorer kommer miljöteknikbehoven för att minska utsläppen av koldioxid att vara omfattande.

För att människor i byar utan miljöinfrastruktur som vatten- och avloppsrening ska få tillgång till dessa hjälpmedel måste samhällena få tillgång till energi. Många byar i till exempel Bangladesh och Afrika ligger dock så till att kostnaderna blir för höga att koppla dem till befintliga energisystem. Det blir därför viktigt att skapa lokal fristående energiproduktion som baseras på förnybar energi som solceller, vind och bioenergi. Här spås en starkt växande marknad framöver och en möjlighet för företag som specialiserar sig på ny och miljövänlig teknik.

Allt hårdare krav från tillväxtekonomier

För att kunna utveckla ny teknik för klimatets skull blir det viktigt att ha en mycket god bild av omvärlden. Det gäller inte bara för företagare utan även för lagstiftare, speciellt i en liten öppen ekonomi som den svenska. För att svenska företag ska vara konkurrenskraftiga i de stora och starkt tillväxande ekonomierna framöver krävs det att företagen inom

en snar framtid utvecklar miljöprestanda som går längre än vad den nuvarande svenska och europeiska lagstiftningen kräver, eftersom miljöproblematiken kommer att vara så mycket allvarligare på dessa tillväxtmarknader.

Den kinesiska kemikalielagstiftningen går redan idag längre än den europeiska lagstiftningen på vissa områden. Högt satta miljökrav och standarder kan fungera som barriärer mot västerländska produkter. Det här kan ses som handelshinder, och amerikanska myndigheter har reagerat emot vissa indiska och kinesiska miljökrav. Även företagen i dessa snabbt växande jätteekonomier kommer att gå i bräschen med allt mer långtgående krav på miljöprestanda. Världens största mobiloperatör China Mobile ställer redan hårda energieffektiviseringskrav på 40 procent minskad energiåtgång per samtal 2010 jämfört med 2005. Det här sätter press på både inhemska och utländska mobilsystemleverantörer, till exempel Ericsson.

Teknikneutrala och långsiktiga regler

Den amerikanska miljölagstiftningstraditionen har kritiserats starkt av Harvardprofessorn Michael E. Porter som anser att jurister har en för framträdande roll och dessutom ofta bristande industrikännedom. Han menar att Tyskland och de skandinaviska länderna har innovationsvänlig lagstiftning, men

ändå med strikta mål för vad man vill uppnå. Porter pekar också på att samarbetsviljan mellan företag och lagstiftare i dessa länder många gånger resulterar i att miljöförbättringarna når längre än i USA och dessutom till lägre kostnad för företagen, bland annat därför att regleringarna är bättre anpassade till företagens investeringscykler.

Enligt Porter borde lagstiftningen fokusera på resultat och inte låsa reglerna till viss teknik. Ett exempel på resultatfokuserade regler är de som EU-parlamentet röstade ja för i december 2008 med hårt ställda emissionskrav på de fordon som säljs. År 2012 ska de bilar som registreras i genomsnitt högst släppa ut 130 gram koldioxid per kilometer; det är en nedskärning med nästan 20 procent jämfört med dagens nyregistrerade fordon inom unionen. År 2015 ska alla nyregistrerade bilar per bilproducent nå det målet, och år 2020 ska koldioxidemissionerna i genomsnitt vara nere i 95 gram per kilometer. På det här sättet får bilproducenterna långsiktiga mål för teknikutveckling som de kan ta hänsyn till när de tar fram nya modeller och motorer. EU skapar nu alltså en tävlan mellan tekniker i att uppnå ett långtgående resultatmål!

Regleringar enligt Porter bör också använda sig av infasningsperioder som tar hänsyn till företagens investeringscykler så att det blir möjligt för företagen

att genomföra större förändringar när man ändå investerar i ny teknik. Lagstiftningen bör dessutom vara strikt utan diverse undantag för vissa aktörer och ligga lite före andra länders lagstiftning för att ge de inhemska företagen en konkurrensfördel att kunna anpassa sig tidigare än utländska konkurrenter. Mycket viktigt är att de regler som tas fram är långsiktiga och förutsägbara för aktörerna – och anpassade till industrins cykler istället för att förändras efter nästkommande politiska val.

Synen på företagen handlar ofta om hur de bemöter kommande lagstiftning som mer eller mindre tas för given, medan professor Peter Dobers vid Mälardalens högskola beskriver hur företag och andra aktörer agerar redan i lagstiftningsprocessen för att vinna fördelar för sin egen teknik. Framgångsrika aktörer har då möjlighet att få fram regler som gynnar den egna tekniska lösningen och låser ute konkurrenternas teknik.

Volvostrategier olika i Kalifornien och Sverige

När Kalifornien 1976 ville ta fram en katalysatorlagstiftning för att rena bilavgaserna motsatte sig de tre stora biltillverkarna från Detroit dessa försök och hävdade att en sådan teknik skulle vara mycket kostsam. Volvo däremot som på den kaliforniska bilmarknaden var en liten nischspelare med lyxbilsambitioner

såg möjligheten att utöka sin särprägel och sociala ansvarstagande genom att inte enbart erbjuda säkra bilar utan även miljöriktiga bilar åt medvetna välbärgade konsumenter. Volvo, tillsammans med det tyska företaget Bosch, visade då amerikanska lagstiftare att det mycket väl gick att producera bilar industriellt med katalytisk avgasrening. För Volvo innebar inte denna extra produktionskostnad något problem eftersom man kunde skapa högre lyxkänsla i varumärket, högre betalningsvilja och med råge skjuta över kostnaderna för katalysatorn till slutkonsumenten.

Ett decennium senare i Sverige däremot var Volvo den dominanta spelaren med en femtedel av landets totala bilförsäljning och kunde inte föra över extra produktionskostnader för katalysatorer till den stora inhemska kundgruppen. I Sverige tävlade Volvo i massegmentet där priset generellt sätt är lägre och endast en liten del av kunderna består av konsumenter som är beredda att betala mer för bra miljö. I Sverige lyckades de dominanta biltillverkarna förhala introduktionen av regler med katalysatorkrav under en längre tid. När sedan katalysatorlagstiftning blev oundvikligt 1989 i Sverige – drygt tio år efter Volvos motsatta agerande i Kalifornien – lyckades bland annat Volvo skapa ett par års övergångsregler där svenska staten gav några tusen kronor i skattelättnader till varje bilköpare som köpte ett fordon med katalysator.

Ett företag kan alltså mycket väl ha helt olika strategier för sitt miljöarbete och sin samverkan med myndigheter beroende på marknadspositionen och vilka möjligheter företaget har att skjuta över produktions- och teknikutvecklingskostnader på kunderna. Miljöstrategin behöver alltså inte vara gemensam för hela företaget utan kan bero på vad som är gynnsamt för företagets vinstgenerering, marknad för marknad.

Frivilligt socialt ansvar – är det hållbart?

En del av klimat- och miljödiskussionen har ägnats åt vad företag frivilligt kan göra (och faktiskt gör) för att bidra till en hållbar utveckling. Enligt konventionell ekonomisk teori maximerar företag vinsten under tekniska och andra restriktioner. Utan incitament som skatter eller subventioner (piska eller morot) finns det risk att företag släpper ut mer än vad som är samhällsekonomiskt optimalt. Denna traditionella syn på företagande måste revideras eftersom vi idag ser många exempel på företag som gör mer på miljöområdet och även andra områden än vad de är ålagda att göra enligt lagar och förordningar. Detta fenomen kallas för *Corporate Social Responsibility* (CSR). Vi skulle kunna översätta det till socialt ansvarstagande företagande, men för enkelhetens skull använder vi ofta den engelska förkortningen CSR. Här ska vi nu diskutera denna företeelse utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

Vilken är företagens roll när det gäller miljön? Vi kan alla vara överens om att företagen ska följa lagen. Men utöver regler och förordningar, har företag ytterligare något ansvar att avsätta resurser som är ämnade för vinstgenerering och överföra dem till miljöarbete? Hur ska vi förhålla oss till att företag frivilligt ”offrar” vinst till förmån för miljön? Mycket av det som skrivits inom området är både förvirrat och förvirrande. Men det finns fyra huvudfrågor man bör ställa sig när det gäller socialt ansvarstagande företag: *får de, kan de, bör de* och *gör de?* Vi ska nu titta på de här frågorna i tur och ordning.

Får de?

Är det tillåtet att använda företagets resurser till miljöarbete som går utöver lagar och regler? Svaret kan först tyckas uppenbart. I de fall då frivilligt miljöarbete påverkar vinsten positivt eller är vinstneutralt är det naturligtvis inga problem; företaget maximerar ju vinsten (strategisk CSR). Det kan till exempel handla om att bygga goodwill som attraherar kunder eller ökar kundlojaliteten. Men i de fall då företagsledningen ”offrar” vinst (altruistisk CSR) blir svaret inte lika uppenbart. Detta betyder att de som äger företaget (aktieägarna) blir ”snuvade” på sin rättmätiga kompensation som risktagande investerare, och somliga skulle till och med kalla det för stöld.

I USA finns det exempel på aktieägare som har dragit företagsledningen inför rätta för att den överträtt sina befogenheter, men det har aldrig lett till någon fällande dom. Det har varit svårt att visa att specifika frivilliga miljöåtgärder varit direkt vinsthämmande. Enligt Einer Elhauge, professor vid Harvard law school, kan och ska företagsledare leda företaget enligt principen ”affärsmässiga överväganden”, och det ger dem ett relativt brett svängrum när det gäller att använda företagets resurser. Det innebär att bara i extrema fall kan CSR anses vara otillåtet.

Kan de?

Är det en uthållig strategi för ett företag att offra vinst för miljön, eller kommer konkurrens på marknaden att leda till att sådana företag på lång sikt försvinner? Paul Portney, dekanus på Eller College of Management, Universitetet i Arizona, menar att företag som har någon form av monopolsituation eller producerar produkter för väldefinierade nischmarknader (väldigt speciella produkter som till exempel ny miljövänlig teknik) lättare kan föra över kostnader för CSR på sina kunder.

Men för majoriteten av företag som verkar på konkurrensutsatta marknader med likartade (homogena) produkter kan det vara väldigt svårt att välta över kostnader för frivilligt miljöarbete på sina kunder

utan att påverka konkurrenskraften negativt. Sådana företag måste då absorbera dessa kostnader själva och det leder till lägre vinster, lägre aktieutdelningar och lägre kompensation till företagsledningen. Det betyder att på konkurrensutsatta marknader är CSR inte hållbart ur företagets perspektiv.

Det kan också finnas CSR som motiveras av att man vill förekomma framtida regler. Genom att uppvisa ”gott uppförande” kan kostsamma regler undvikas. Detta fenomen studeras i forskningslitteraturen med hjälp av modeller där företag och reglerare spelar ett strategiskt spel.

Bör de?

Detta tar oss till nästa frågeställning. Även om företag är i den positionen att de av något skäl finner det fördelaktigt att vara socialt hänsynstagande så är frågan: *bör de* vara det? Är det samhällsekonomiskt lönsamt? Leder ett sådant beteende till effektiv användning av våra gemensamma resurser? För att vara mer specifik, under vilka villkor är CSR välfärdsökande? Enligt professor Portney är det mest troligt att det sker när företag idkar strategisk CSR, det vill säga när det är företagsekonomiskt lönsamt (*good business*). Alternativet, altruistisk CSR, är uppenbart mer kostsamt eftersom det inte skapar något mervärde hos kunderna, det vill säga man är inte

beredd att betala ett högre pris (eller köpa mer till samma pris) för till exempel grönare produkter. Från ett välfärdsperspektiv kan man säga att företag ska investera i sådana projekt som genererar den högsta möjliga samhälleliga välfärden. Det betyder att CSR är önskvärt om den totala välfärden är högre med CSR än om det inte var tillåtet.

Frågan är då om företag frivilligt ska reglera sig själva, eller om en central planerare är bättre på den uppgiften. Det finns anledning att misstänka att många företag är oförmögna att alltid göra investeringar som är samhällsekonomiskt välfärdsmaximerande. Det beror på att företags CSR-beslut bestäms av en rad faktorer, varav många inte är relaterade till samhällelig nytta. Enskilda företag har förmodligen goda kunskaper om de privatekonomiska kostnaderna för CSR, men nyttan är svårare att uppskatta. Denna asymmetri kan leda till att företaget väljer en ineffektiv nivå på sitt miljöskydd, det vill säga för mycket eller för lite.

Men det finns också fall där företaget är mer välinformerat än en reglerare. Det gäller till exempel information om företagets utsläppsaktiviteter samt kostnader för att kontrollera dessa. Sådan information kan leda till att företag kan genomföra mer välinformerade och optimala beslut än en central

reglerare. Vidare kan CSR-investeringar vara välfärdsökande i de fall när nivån på en centralt bestämd miljöreglering är satt ”för lågt”, det vill säga om den sociala nyttan överstiger den sociala kostnaden. Det kan också finnas välfärdshöjande CSR som är riktad mot att mildra miljöproblem som är helt eller delvis oreglerade men av stor mänsklig, vetenskaplig eller politisk vikt, till exempel klimatförändringarna.

Gör de?

Kan vi se att företag frivilligt och framgångsrikt går utöver lagen och investerar i CSR? Det fattas inte exempel på frivilliga åtaganden. Ett exempel är olika typer av miljöavtal som sluts mellan företag och regeringar, branschorganisationer eller andra samhällsgrupperingar. Andra exempel är olika typer av certifieringar, till exempel av skogsprodukter, eller andra miljömärkningar av konsumtionsvaror som Svanen eller Bra Miljöval. Att ingå i dessa avtal är helt frivilligt och kan bara förklaras med att företagen ser att nettonyttan är positiv, det vill säga kostnaden för att förändra produkten är mindre än de intäkter som förändringen genererar.

Forest Reinhardt från Harvard Business School har nyligen gått igenom ett stort antal studier och finner att det i de flesta fall inte lönar sig att vara frivilligt ”grönare” än vad som bestäms av lagen. Men i vissa fall

kan det vara lönsamt med CSR, nämligen då företaget kan öka kundernas betalningsvilja, minska sina kostnader, minska risker eller förekomma kostsam reglering i framtiden. Reinhardt erkänner att det finns företag som mycket framgångsrikt har utnyttjat CSR i sin affärsmodell, till exempel Patagonia och DuPont, men på det stora hela är det svårt att finna stöd för att CSR generellt innebär affärsmässiga möjligheter och ökad lönsamhet.

Företagsklimat för miljöteknik och socialt ansvarstagande

För att kunna utveckla miljöregler som gynnar svensk miljöteknik gäller det att ha en god bild av behoven i de stora växande ekonomierna. Dessutom bör lagstiftare som utvecklar regler inom miljöteknikområdet förstå sig på industrin och tänka på industrins investeringscykler. För att den bästa möjliga tekniken ska utvecklas bör lagstiftaren fokusera på miljöprestanda och inte på vilka tekniska lösningar som ska användas. Det gäller att skapa ett klimat som gör att svensk teknikutveckling och svenska företag kan ta in vilka de stora renings-, energi- och klimatbehoven blir framöver.

Hur ska vi då förhålla oss till socialt ansvarstagande företag? Ska företag engagera sig i CSR utöver lagstadgade miljömål? Är det företagsekonomiskt och

samhällsekonomiskt hållbart att göra det? Om företaget inte opererar på en monopol- eller nischmarknad är svaret sannolikt negativt. Ska företag offra vinst för miljön när alternativet är effektiv miljöpolicy utförd av en central reglerare? Nej, rimligtvis inte.

Det är frestande att se det växande intresset för CSR som ett nytt etiskt tänkande eller ökande engagemang för hållbar utveckling. Men CSR är konsistent med en annan förklaring också. Företag och individer ändrar sina beteenden med förändrade priser och högre inkomster, som de alltid har gjort. Det är rimligt att anta att preferenserna (”smaken”) också har förändrats. Det finns empiriska studier som visar att ju rikare vi blir, desto mer bryr vi oss om miljön. Till stor del kan vi förklara den CSR som finns som en konventionell ekonomisk anpassning till nya marknadsförhållanden. CSR kan också vara välfärdshöjande med positiv nettonytta när det är riktat mot sådana miljöproblem som är helt eller delvis oreglerade. Ett exempel på ett sådant miljöproblem är ökande utsläpp av växthusgaser och uppvärmningen av jordens klimat.

Pontus Cerin är docent i företagsekonomi vid Handelshögskolan i Umeå och teknologie doktor i Industriell dynamik från KTH. Hans forskning kretsar kring

industriella strukturförändringar och reglering av aktörer. Han är forskningsledare i Mistraprojektet Sustainable Investments där han studerar bland annat sambanden mellan företags miljöarbete och vinster.

Tommy Lundgren är docent i nationalekonomi och forskar på miljöekonomi och naturresurser vid Handelshögskolan i Umeå och Institutionen för skogsekonomi vid SLU. Inom Mistraprojektet Sustainable Investments analyserar han de mekanismer som styr företags frivilliga åtaganden inom miljöområdet. Han är projektledare för Formasprojektet Bioenergi, Klimat och Ekonomi (2008–2011).

Klimat och affärsklimat – kollision mellan världar

Den globala klimatfrågan och det globala affärsklimatet har stora likheter, men också stora olikheter. Klimatfrågan är kollektiv till sin natur och affärsvärlden drivs av egennytta och tillväxttänkande, skriver Johan Sandström. Tillväxt i ekonomin betyder ”tillväxt” i klimatpåverkan. Utmaningen är att hitta lösningar som gynnar både klimat och företag. I brist på globala institutioner som med kraft kan förmå globala företag att ta mer ansvar för klimatfrågan behövs det tydliga signaler från starka globala medborgare och konsumenter.

Johan Sandström, Handelshögskolan, Örebro universitet.

Den globala uppvärmningen är diffus och abstrakt, fylld av osäkerhet (forskarna är eniga, eller?), riskfylld och långsiktig (det jag gör nu kommer inte att märkas än på ett tag). Den handlar också om solidaritet med andra människor, nu levande och kommande generationer, och om det gemensammas bästa. Klimatfrågan är mindre en fråga om mig och just mitt liv, även om vi som enskilda individer kan göra skillnad. Vi kan agera mer ansvarsfullt.

Att göra affärer på en global marknad, att tänka som en ledare för ett globalt företag, är att premiera snäva kalkyler (lönar det sig eller inte?), konkurrens och ständiga förbättringar och förflyttningar, tillväxt, kortsiktighet och egoism (vad tjänar egentligen jag, våra affärspartner, ägare och investerare på det här?). Det handlar mest om mig och några få utvalda inom företagssfären.

I fablernas värld

Jag skulle vilja skriva en framgångssaga om globala företag och global uppvärmning. Om hur resursstarka, innovativa och globala företag driver kampen mot en tilltagande uppvärmning av jordens klimat. Det skulle vara en saga som skänker tröst åt dem som tror att det är för sent, som inspirerar dem som ännu funderar, och som strör lovord över dem som redan gått till handling. Men den sagan förblir, om inget mer radikalt tar vid, något för fablernas värld.

Verkligheten, som jag ser den, visar att företagen och det globala *affärs*klimat de lever i, i grunden har väldigt svårt att hantera sin relation till global uppvärmning. Ta bara ett företag som Volvo personvagnar. Företaget har ett mycket omfattande miljöarbete, men deras produkter är i grunden miljödestruktiva när de produceras, distribueras och konsumeras. Vad innebär det egentligen när de efter att ha ”räddat människor från bilolyckor i 80 år” i sin reklamkampanj talar om att de ”har en utmaning till”, det vill säga att rädda jorden?

Globala företag dikterar villkoren

Den förre chefekonomen för Världsbanken (och Nobelpristagaren i ekonomi) Joseph Stiglitz menar att svårigheten med att lösa frågan om global uppvärmning till stor del beror på ett alltför utbrett och ensidigt ekonomiskt tänkande. Dagens globalisering drivs enligt honom med de ekonomiska affärernas förtecken, där globala företag och marknadsliberala politiker tillsammans dikterar villkoren.

Jag delar den övergripande bilden. Vi bevittnar en globalisering vars framsteg ensidigt relateras till ökande produktion och konsumtion av grejer och därmed till ökande miljöförstöring. På det stora hela betyder en växande global ekonomi, som är beroende av en tilltagande ström av nya prylar, att klimatpåverkan ökar. Växer den ena så växer den andra. Volvo

personvagnar vill sälja mer, inte mindre, och till och med deras ”miljöbilar” smutsar i grunden ner miljön mer än de gör miljön mer ”hållbar”.

Framgångsmyten

Nu finns det förstås de som vill övertyga oss om att så inte är fallet. De säger att ekonomisk tillväxt (det vill säga större omsättning av resurser i samhället, i pengar räknat) och en välmående planet visst går hand i hand, och att mer konkurrens, friare marknader och handel leder till minskad miljöpåverkan. De menar att en växande ekonomi leder till nya och mindre miljöbelastande tekniska innovationer och högre levnadsstandard, vilket de också menar krävs för att du och jag överhuvudtaget ska orka bry oss om miljön.

Enligt detta resonemang bör vi alltså konsumera oss ur problemet genom att till exempel köpa en miljöbil istället för en fossilbil och ekologisk mjölk istället för vanlig mjölk. Detta ifrågasätter nämligen inte vikten av god omsättning på marknaden. Tvärtom – vi kan fortsätta shoppa. Det ger i sin tur mer välfärd till alla och leder även till att grejerna vi köper i längden blir mer ”miljövänliga”. En vinna/vinna-relation helt enkelt. Enligt detta resonemang följer också följande samband: Ju rikare vi blir, desto bättre blir miljön.

Utgångspunkten för denna framgångsberättelse är *effektivitet*, och det räknas det en hel del på. Det talas högt och gärna om exempelvis hur mycket koldioxidutsläppen per enhet (mil, ton, kubikmeter) minskar i vissa fall. Kurvan som inte gärna tas med i dessa sammanhang är den som visar att utsläppen i det stora hela ökar dramatiskt. Tar vi med den kurvan ändrar berättelsen karaktär, från en framgångsberättelse till en framgångsmyt.

När plånboken sväller

Generellt sett gäller att ju rikare vi blir, desto mer belastar vi miljön med vår kraftigt ökande produktion och konsumtion av prylar. Detta saluförs dock inte ofta av framstegsoptimisterna, det vill säga de som gör affärer (till exempel företagsledare) och de som försöker förstå affärerna (till exempel ekonomerna). De pratar istället gott om det som vanligtvis händer när folk får lite mer i plånboken och kan öka antalet kvadratmeter de bor på (från en etta till en tvåa, till en trea, till en fyra, till en villa plus sommarstuga), när en (extra) utlandssemester blir möjlig, när de har råd att ta bilen lite oftare, när de skaffar sig en ny mobiltelefon, en espressomaskin, en ny iPod, lite modernare kläder, och så vidare.

Det är också lätt att vänja sig vid lite högre materiell levnadsstandard. I Sverige köper vi mer än 3 miljoner

nya mobiltelefoner och 300 000 nya bilar varje år, och vi är bäst i världen när det kommer till flest antal kvadratmeter köpcentrum per invånare. Världsbäst! De två sistnämnda, bil och köpcentrum, hänger förresten ofta ihop. Att gå eller cykla till köpcentrum kan nämligen vara svårt idag. De är ofta designade för bilister och inte för fotgängare och cyklister. Knepigt blir det också när bilen ger ett sådant överlägset ekonomiskt fotavtryck jämfört med om vi tar cykeln. Tar vi bilen så ökar omsättningen i plånboken, i diverse företag (oljebolaget, bensinmacken, verkstaden, försäkringsbolaget, kanske i Volvo) och i samhället i stort (BNP tar in alla ekonomiska aktiviteter som värdeskapande, även de som förstör miljön). Om vi då tror på att en växande ekonomi ger bättre miljö, då ska vi ju ta bilen. Men att använda bilen istället för cykeln betyder, utan omskrivningar, att vi ger bränsle åt den globala uppvärmningen.

Kollektiva krav kontra egennytta

Tillväxt i ekonomin betyder fortfarande ”tillväxt” i klimatpåverkan. Det blir därför svårt att komma runt behovet av att vi bör tänka om relationen mellan ekonomi och ekologi, något som också har ockuperat flertalet filosofer, samhällsvetare, aktivister, politiker och, faktiskt, ekonomer sedan lång tid tillbaka. Men dessa aktörer har inte fått så starkt gehör. Den ekonomiska globaliseringen verkar istället vinna mark över en mer hållbar utveckling. Att mer och mer

tänka i ekonomiska banor har blivit snudd på taget för givet. Det är få politiker och företagsledare som idag skulle vinna bred support genom att säga att vi behöver mindre ekonomi, lägre tillväxt, producera färre produkter och konsumera mindre. Även om det är just detta som till viss del behövs så är det, för många, ungefär som att säga att ”vi borde alla bli lite fattigare”. Det låter nästan lika dumt som att säga att användningen av bil ger en bättre miljö.

Vi har med andra ord en kollision mellan två världar; i grunden mellan klimatfrågans kollektiva krav och affärsvärldens egennytta. Det är två olika tankefigurer, två olika sätt att möta världen, och då uppstår det också spänningar. Lösningar som gynnar båda blir en utmaning man inte bör underskatta. Det är också omfattningen av denna utmaning som gör att jag inte känner mig mer än försiktigt positiv, men det är också utmaningen i sig som gör det så givande att jobba med dessa frågor. Och visst går det att välja att fokusera på intressanta exempel där ute som ifrågasätter min enkla indelning. Även om de stora dragen jag penslat med hittills gäller för mig så är vanligtvis verkligheten lite mer komplex, grötig, grå och ibland rosa. Kanske finns det tillräckligt med material där ute så att ett frö till en framgångssaga kan sås och som sedan kanske kan utvecklas till något större (god tillväxt alltså).

Kraftfulla institutioner saknas

Som lite hjälp på vägen – det finns till en början klara likheter mellan den globala uppvärmningen och att göra affärer i ett globalt affärsklimat. Uppvärmningen av klimatet är global, känner inga gränser och kräver enorma resurser. Dagens affärsklimat präglas mer än någonsin av globala företag med enorma resurser och som ofta inte känner några gränser. På något sätt, som FN:s före detta generalsekreterare Kofi Annan också insåg, vinner vi mycket om vi får de globala företagen att intressera sig för klimatfrågans ”värld”. Bestämmer sig till exempel ett globalt storföretag för att verkligen satsa på någonting (att avstå från att borra efter olja i en konfliktzon, att ta fram nästa generations miljöbil, eller att uppmana sina kunder att inte konsumera så mycket) så finns det få organisationer som kan matcha den resursmobilisering som då tar vid.

Just nu saknas det dock globala och ibland även nationella institutioner som med kraft kan förmå globala företag att ta mer ansvar för att reducera den globala uppvärmningen. Många företag ligger före demokratiska organisationer när det gäller globalisering och företagen ser förstås till att deras ekonomiska intressen tillgodoses i denna utveckling. Företagen drar nytta av olikheter mellan nationer som själva är ganska fast förankrade i nationell lagstiftning och

nationella institutioner. Idag ser vi också ett hoppande från en så kallad exportzon till en annan, där även politiker är starkt medskyldiga då de marknadsför ”sina” regioner och länder som de med den minst krävande regleringen.

FN satsade på självreglering, på att företagen självmant skulle följa nationell och internationell miljölagstiftning, antikorruptionslagar, arbetares rättigheter, mänskliga rättigheter och så vidare. Det är ett sätt att få upp intresset hos företagen. Men varken FN eller någon annan politisk institution har några möjligheter att koppla på ett legalt sanktionerat bestraffningssystem som får effekt när företagen inte följer dessa riktlinjer. I det affärsklimat som dessa företag lever bör vi heller kanske inte förvänta oss att de har lust att ta ett utökat miljö- och samhällsansvar.

Starka konsumenter och medborgare

Andra former att väcka intresse behövs därför, till exempel i de påtryckningar som du i kraft av både konsument och medborgare kan utöva. Hur agerar du när du går in i en affär? Vad ser du, vad väljer du, vad frågar du? Hur gör dina vänner? Var tycker du att ”dina” politiker på lokal, nationell och europeisk nivå står när det kommer till relationen mellan ekonomi och ekologi?

Det finns idag en hel del exempel på att små påtryckningar leder till större förändringar. Det finns exempel på hur en del västerländska företag trätt in i regioner där grundläggande rättigheter inte tillfredsställs och som efter påtryckningar hemifrån ”frivilligt” har axlat en roll som landets offentliga sektor egentligen borde ha spelat. Dessa företag har satsat resurser på att ordna till exempel skola, vård och omsorg för sina anställda med familjer samt investerat i viss miljöteknik på plats. Detta behöver förstås inte vara uteslutande positivt, men det är i alla fall initiativ som kan utvecklas och som gör att vi kan diskutera vad som händer när dessa världar möts.

Företag behöver din hjälp och support i att kunna agera mer ansvarsfullt. De behöver inte bara vägledas av starka institutioner som reglerar deras beteende på en global marknad, utan behöver också tydliga signaler från starka globala medborgare.

Johan Sandström är docent i företagsekonomi vid Örebro universitet. Han forskar om hur företag och forskare förhåller sig till etik och hållbar utveckling.

Lästips

- Karl Johan Bonnedahl, Tommy Jensen och Johan Sandström. *Ekonomi och moral: vägar mot ökat ansvarstagande*, Liber 2007.

Ordlista

Aerosoler
Luftburna småpartiklar.

Albedo
Den del av solstrålningen som reflekteras från en yta. Snö och is har högt albedo. Hav och vegetationsklädd mark har lågt albedo.

Antropogen
Skapad av människan.

Atmosfären
Det tunna lager av gaser som finns runt jorden.

Avskogning
Omvandling av skogsområde till annan markanvändning.

Biosfären
Jordens alla ekosystem, organismer och nedbrutet organiskt material – i atmosfären, på land och i haven.

Fotosyntes
Den process där växter, alger och vissa bakterier med hjälp av solenergi tillverkar socker av koldioxid och vatten, med syre som restprodukt.

Glaciär
En landis som rör sig nedåt i till exempel en dalgång. Isen rinner ut till havet eller smälter vid lägre höjd, och vidmakthålls genom snöfall på högre höjd.

Havsis
All is på havet som härstammar från frysning av havsvatten.

Klimatmodell
En datormodell av klimatsystemet baserad på fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper hos systemets olika komponenter, deras processer och växelverkan inklusive återkopplingar.

Klimatkänslighet
Den långsiktigt stabila höjning av jordens medeltemperatur som sker till följd av en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären jämfört med den förindustriella nivån.

Koldioxidekvivalenter
Växthusgaser som koldioxid, metan, lustgas och fluorerade gaser har olika kraftig växthuseffekt. Genom att räkna om utsläpp eller atmosfärshalter till koldioxidekvivalenter (koldioxid = 1) blir de lättare att jämföra.

Kolets kretslopp
Flödet av kol i olika former (till exempel koldioxid) genom atmosfären, havet, landbiosfären och jordskorpan.

Kondensationskärna
Luftburen partikel som tjänar som en första plats för kondensation av vattenånga till vatten, som sedan kan utvecklas till moln.

Paleoklimat
Klimatet under perioder innan det fanns mätinstrument, både historiska och geologiska tidsåldrar. För dessa finns bara proxydata (se nedan).

Permafrost
Permanent frusen mark; finns där temperaturen är lägre än 0 grader Celsius under flera års tid.

Proxydata
Data om äldre tiders klimat som man får fram genom att undersöka till exempel iskärnor eller trädringar, det vill säga klimatrelaterade egenskaper som kan tolkas om till klimatdata.

Resiliens
Förmågan hos ekologiska och sociala system att absorbera störningar utan att förlora struktur och funktion; förmågan att anpassa sig till stress och förändring.

Respiration
Den syrekrävande process där organismer omvandlar organiska ämnen till koldioxid, medan de avger energi.

Scenario
En sannolik och ofta förenklad beskrivning av hur framtiden kan utvecklas utifrån antaganden om drivkrafter och processer.

Stratosfären
Den del av atmosfären som ligger mellan cirka 10 och 50 kilometers höjd (ovanför troposfären).

Strålningsbalans
Balansen mellan inkommande strålning från solen till jorden och utgående värmestrålning från jorden mot världsrymden.

Strålningsdrivning
Förändring i jordens strålningsbalans (i watt per kvadratmeter) på grund av faktorer som påverkar klimatsystemet, till exempel koldioxidhalt eller påverkan från solen.

Sänka
En process eller mekanism som tar bort en växthusgas eller en aerosol från atmosfären. Fotosyntes är ett exempel på en kolsänka när den leder till uppbyggnad av biomassa.

Troposfären
De lägre delarna av atmosfären (nedanför stratosfären) från jordytan till ungefär 10 kilometers höjd.

Tipping point
Se tröskel!

Tröskel
En nivå där det sker en snabb förändring av en process eller respons hos ett system (ekologiskt, ekonomiskt eller annat system). När en tröskel passeras har en fortsatt påverkan en väsentligt annorlunda effekt på processen än tidigare. Ett system som tippar över vid en tröskel kan helt förändras (tipping point).

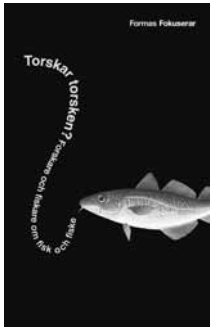
Återkoppling
Samspel mellan olika processer; en initial process triggar förändringar i en annan process som i sin tur påverkar den första processen. En positiv återkoppling förstärker den första processen, medan en negativ försvagar den.

Tidigare utkomna Formas Fokuserar

Är eko reko?

Om ekologiskt lantbruk i Sverige

Är det någon idé att köpa KRAV-märkt mat och betala lite mer? Är ekomaten verkligen bättre för hälsa och miljö? Vilka är egentligen skillnaderna mellan ekologiskt och konventionellt lantbruk? Ekologiskt lantbruk står högt på den politiska agendan. Som konsument har du rätt att få veta vad forskarna i dagsläget faktiskt vet – och varför de inte är överens.



Torskar torsken?

Forskare och fiskare om fisk och fiske

Kommer vi att kunna äta torsk i framtiden? Kan fiskodling lösa problemen? Hur ser det ut för andra arter i vattnet, som lax och kräftor? Sedan lång tid tillbaka har beslutsfattarna fått signaler från forskarna om att torskbestånden minskar. Men de har inte följt forskarnas råd. Framtidens fiske hänger på de beslut vi fattar idag. Frågan är hur stora risker vi är villiga att ta. Här finns det stora skillnader mellan olika intressegrupper. Vad säger forskarna – och vad säger fiskarna?

Genklippet?

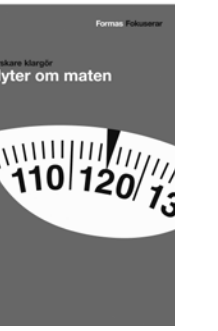
Maten, miljön och den nya biologin

Idag kan vi förändra växter, djur och bakterier på ett nytt sätt – genom att klippa ut gener och föra över dem från en art till en annan. Är det farligt för människa och miljö när genmodifierade organismer börjar odlas och blir mat på våra fat? Eller blir gentekniken klippet som kommer att rädda världen från svält och miljöproblem? Gentekniken påverkar det levandes urgamla spelregler. Därför har den stött på hårt motstånd från europeiska konsumenter och miljöorganisationer. Men vad säger forskarna om möjligheter och risker med den nya biologin?

Forskare klargör

Myter om maten

Gräver vi vår grav med kniv och gaffel? Vad ska vi äta för att inte bli feta och sjuka? Hur hållbara är egentligen myndigheternas kostråd? Går vi vilse i pannkakan? Blir vi feta av fett, eller blir vi feta av socker? Är det bättre med stenåldersmat? Tål våra gamla gener den nya maten? Frågor som de här diskuteras intensivt i medierna. I Myter om maten är det forskare som presenterar och tolkar vetenskapliga rön. De är överens om det mesta – men långtifrån allt.



Sopor hit och dit – på vinst och förlust

Är det vettigt att vi sorterar och fraktar våra sopor hit och dit som vi gör idag? Leder det till någon verklig miljönytta - eller har vi sopsortering mera som terapi för vårt dåliga miljösamvete? Redan 1910-talets sopsorterande människa klagade på att det var bökigt att sortera. Det och mycket annat finns att läsa i en pocketbok som belyser sopsortering ur en rad olika synvinklar.

Bevara arter – till vilket pris?

Balansgång mellan ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter

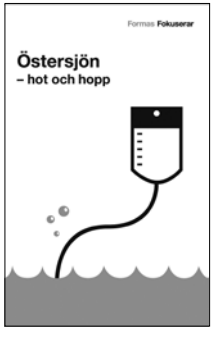
Sverige har undertecknat FN-konventionen om biologisk mångfald. Den säger att vi ska bevara den biologiska mångfalden, och använda den på ett hållbart och rättvist sätt. Riksdagen har bestämt att arter som har funnits länge i Sverige ska bevaras i livskraftiga bestånd. Risken är annars att vi utrotar arter som är viktiga för ekosystemen och för människan. Men hur ska vi göra – och vad får det kosta? Vad tycker forskarna – och vad tycker andra intressenter i samhället?

Spelet om staden

Vem bestämmer över våra städers utveckling? Staden kan ses som en spelplan med ett stort antal aktörer med olika åsikter, lojaliteter och intressen. Hur ser spelplanen ut? Vilka spelregler gäller? Och vilka är spelarna? Är städerna i första hand tillväxtmaskiner, snärjda i global konkurrens och styrda av multinationella företag? Eller kan vi uppnå hållbara städer som erbjuder alla sina invånare en hög livskvalitet utan att äventyra för framtidens människor? Forskarna har inga färdiga svar, men belyser från olika utgångspunkter de drivkrafter som formar och förändrar staden.

Djuren – i människans klor

Hur mår våra djur - i hagar, stall, lagårdar och hemma hos oss? Vad betyder de för oss? Vi både äter och älskar dem. Vad har vi rätt att använda dem till? Kan vi förstå vad de känner? Hade djuren det bättre förr? Behövs det körkort på sällskapsdjur? Hur mycket är nog när det gäller avel? Ska katter behandlas mot cancer? Är Sverige världsbäst på djurskydd? Alla de här frågorna och många till får du svar på av forskare som skriver i boken, forskare med lite olika syn på saken.



Östersjön – hot och hopp

Larmrapporterna om Östersjön har duggat tätt de senaste åren. Men är Östersjön ”sjukare” idag än för hundra år sedan? Går det att ”rädda” Östersjön? Vilka åtgärder är vettigast? Är det bra med kväverening, eller ska vi kanske kvävegödsla? Går det att få bort fosforn från sedimenten? Kan vi syresätta bottnarna? Måste vi kanske äta mindre kött för att rädda havet? Men måste vi samtidigt också äta mindre fisk? Vad är forskarna överens om och varför kommer de till olika slutsatser?

Giftfri miljö – utopi eller verklig chans?

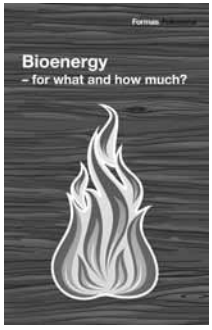
Kadmium i mat och kvicksilver i fisk. Nya metaller i tänder och bilar. Klorerat, bromerat, fluorerat. Nanopartiklar invaderar kroppen. Akrylamid bildas när vi tillagar maten. Läkemedelsrester dyker upp i dricksvatten. Mannens spermier skadas. Hur mycket ska vi stå ut med av gamla problem och nya hot? Varför slår vi så ofta dövörat till när larmet går? Kan vi få en giftfri miljö som riksdagens miljömål talar om? Eller är det bara en önskedröm?

Konsumera mera – dyrköpt lycka

Konsumtionen har ökat kraftigt de senaste hundra åren. Men lyckligare har vi inte blivit. Varför fortsätter vi ändå att konsumera allt mera? Hur ska vi tillräckligt snabbt lära oss att leva med den enda planet vi har? Borde politikerna se till att avskaffa alla stöd till ohållbar konsumtion? Hur stor makt har vi som konsumenter? Kan man vara både rik och miljövänlig? Eller behövs det kanske nya samhällssystem för att rädda världen? Hur ser olika forskare på saken?

Bioenergi – till vad och hur mycket?

Hur långt räcker bioenergin i framtidens energisystem? Hur mycket går det att få ut från skogar och åkermark – och vad ska vi använda den till? Är det klokt att satsa på biodrivmedel, eller ska bioenergin användas till värme och el? Vilka styrmedel behövs för att öka användningen av biobränslen? Hur går det med livsmedelsförsörjningen globalt? Och hur bra är biobränslena egentligen på att förhindra klimatförändringar? Hur ser forskarna på saken?



Bioenergy – for what and how much?

How long will bioenergy last for the energy systems of the future? How much can we get out of forests and agricultural land – and what should we use it for? Is it wise to use it for conversion into automotive fuel, or should it be used for generating heat and electricity? What regulatory instruments are needed for increasing the use of bioenergy? What conflicts will there be between increased biofuel production and various environmental targets? How is the supply of food doing out in the world? And how good is bioenergy in actually preventing climate change? How do Swedish researchers view the issue?

Биоэнергетика – сколько и зачем?

Какую роль будет играть биоэнергетика в будущих энергосистемах и насколько ее хватит? Сколько биомассы можно взять из леса и с пахотных земель – и как это использовать? Разумно ли делать ставку на транспортные биотоплива, или лучше использовать биомассу для производства тепла и электроэнергии? Какие политические рычаги необходимы для увеличения использования биомассы? Не входит ли увеличение использования биомассы в противоречие с другими экологическими задачами? Как обстоит дело с производством питания в мире? И насколько биотоплива помогут сохранить климат?

Ska hela Sverige leva?

Ska hela Sverige leva – och vad innebär i så fall det? Landsbygdsutveckling är ett värdeladdat ord. Men vad betyder det – och vad menas med landsbygd? Hur viktigt är jordbruk och skogsbruk för en levande landsbygd? Vilka nya landsbygdsnäringar dyker upp? Och vad betyder landsbygden för stadsborna? Kan Sverige leva utan öppna landskap? Behövs det kvinnor för att en bygd ska leva? Och vart är byarörelsen på väg?

KliMATfrågan på bordet

Mat åt nio miljarder – hur ska vi fixa det i ett nytt klimat? Och hur påverkar maten i sin tur klimatet? Hur ska vi äta klimatvänligt? Är det moraliskt fel att äta nötkött? Ska vi producera kött utan djur för klimatets skull? Hur mycket betyder transporterna och spillet i livsmedelskedjan? I Sverige får vi nya grödor, men också nya ogräs och skadegörare. Och djuren kan bli sjukare. Vad innebär ett nytt klimat för olika delar av vårt avlånga land?

Beställ böcker på: www.formasfokuserar.se